

# **Über die Entstehung der migmatitischen Gesteine.**

Einige kritische Bemerkungen.

Von **J. J. Sederholm.**

(Mit Tafel VI—IX.)

Das jetzt erschienene *Compte rendu* des letzten Geologenkongresses in Stockholm bringt so zahlreiche, die Granitisationsfrage betreffende Äußerungen, daß es fast die Bedeutung einer Enquête erhält. Auch sonst sind während der letzten Zeit viele Arbeiten über die migmatitischen Gesteine erschienen, welche zeigen, daß die Injektionslehre immer mehr Anhänger gewinnt.

Ich möchte hier zu diesen Veröffentlichungen einige kritische Bemerkungen machen, sowie auch meine eigenen Angaben auf Grund nachträglicher Untersuchungen ergänzen.

KÖNIGSBERGER hat sowohl auf dem Kongreß<sup>1)</sup>, wie in einem Artikel in dieser Rundschau<sup>2)</sup> die Granitisationsfragen erörtert und dabei auch meine diesbezüglichen Ansichten in einer Form erwähnt, die klar macht, daß er letztere nicht richtig verstanden hat. Er stellt meine Theorie der regionalen Anatexe den französischen und canadischen Injektions- und Wiederaufschmelzungslehren gegenüber und schließt sich selbst besonders den Theorien J. LEHMANN'S und MICHEL-LÉVY'S an. Ich sehe, offen gestanden, nicht ein, worin meine Theorien sich von denen der erwähnten Forscher und LAWSON'S prinzipiell unterscheiden. Besonders MICHEL-LÉVY und LAWSON glauben ja, ganz wie ich, an eine Wiederaufschmelzung in der Tiefe. Lange stand ich sogar, obgleich ein eifriger Anhänger der Injektionslehre, der Wiederaufschmelzungstheorie LAWSON'S zweifelnd gegenüber, bis ich selbst in der Natur Fälle kennen lernte, die, wie es mir vorkam, nur auf diese Weise erklärt werden konnten. Daß ich die Bildung der Gangspalten, die der Injektion vorhergeht, in direktem Zusammenhang mit dem Hervordringen des Granites, z. T. auch mit Zerschmelzungsvorgängen<sup>3)</sup>, bringen will, ist keineswegs eine Abweichung von der Grundanschauung MICHEL-LÉVY'S, sondern vielmehr eine logische

---

<sup>1)</sup> JOH. KÖNIGSBERGER, Die kristallinen Schiefer der zentralschweizerischen Massive und Versuch einer Einteilung der kristallinen Schiefer. *Compte rendu XI. Congres Géol. Intern.* 1910. S. 639.

<sup>2)</sup> Über Gneisbildung und Aufschmelzungszonen der Erdkruste in Europa. *Geologische Rundschau*, Bd. III. S. 297. 1912.

<sup>3)</sup> Da einige meiner früheren Äußerungen vielleicht mißverstanden werden können, will ich ausdrücklich hervorheben, daß ich natürlich niemals die Spaltenbildung, die ja oft ganz augenfällig ist, habe leugnen wollen, sondern nur eine Spaltenbildung, die ohne irgend welchen ursächlichen Zusammenhang mit dem Hervordringen des Granites und den Schmelzungs- und Assimilationsvorgängen stattgefunden hätte.

Konsequenz derselben. Wie von SALOMON auf der Kongreßexkursion hervorgehoben wurde, kann man die Bildung der größeren Granitmassive überhaupt nur durch Verdrängung oder Aufdrängung erklären, und in vielen Fällen gibt wohl das, was er die Platz austauschhypothese nennt, die einzig mögliche Erklärung.

Mit meinem Namen Anatexe beabsichtige ich nur, den Prozeß, der in so vielen verschiedenen Formen auftritt, in einem Wort zusammenzufassen und der regionalen Metamorphose gegenüberzustellen, sowie seine Bedeutung hervorzuheben. Anatexe bezeichnet eine höhere Potenz der Umwandlung als die Metamorphose, entspricht also gewissermaßen dem Begriff Ultrametamorphose, welches letztere Wort aber meistens in mehr neptunistischem Sinne angewandt wird. Die Anatexe umfaßt alle diejenigen Prozesse, durch welche migmatitische Gesteine gebildet werden, also solche, die von einer wirklichen Verquickung zwischen früher existierenden festen Gesteinen und später eingedrungenen Magmen charakterisiert werden.

Ich beanspruche also keine Originalität bezüglich der theoretischen Grundanschauung, die man ja übrigens schon bei HUTTON antrifft. Wohl aber bin ich seit Jahrzehnten bestrebt gewesen, die Einzelheiten der Prozesse näher kennen zu lernen und die Methoden auszubilden, durch welche man die migmatitischen Gesteine im Felde studieren kann. Anfangs wurde ich im Norden als Vertreter der Injektionslehren fast nur von meinen hiesigen Kollegen unterstützt, während jetzt diese Lehren sich allmählich mehr Bahn brechen.

Wenn nun KÖNIGSBERGER behauptet, daß ich eigentlich nur eine neue besondere Bezeichnung für diese Prozesse eingeführt habe, so beweist es nur, daß er die einschlägige Literatur nicht genauer kennt. Ich bin wohl sogar für mehrere neue Bezeichnungen auf diesem Gebiete verantwortlich, wie z. B. Adergneis, Arterit, Migmatit usw., welches letztere Wort auch KÖNIGSBERGER selbst anwendet. Diejenigen, welche meine Arbeiten kennen, oder welche unter meiner Führung die finnländischen Migmatitgebiete gesehen haben, mögen aber urteilen, ob es sich hier nur um neue Ausdrücke oder auch um neue Begriffe handelt.

KÖNIGSBERGER demonstriert in seinem gedruckten Vortrage den Unterschied zwischen seiner Ansicht und der meinigen dadurch, daß er zu dem Bild einer Felswand, die er an der Straße am »Eidswand« bei Eidsfjord in Hardanger, Norwegen (wie ich glaube erst nach dem Kongreß) gesehen hat<sup>1)</sup>, zuerst meine supponierte Ansicht und dann

---

<sup>1)</sup> Dasselbe Vorkommen hat KÖNIGSBERGER nach dem Kongreß das eine Mal (im Zentralblatt für Min. Geol. u. Pal. 1912, Nr. 19, S. 577), infolge einer Verwechslung mit einem Gestein aus »Eidsfjord« in Ofoten, als einen Injektionsgneis mit Anorthositadern, das andere Mal (Ibid. 1913, Nr. 1, S. 25), wiederum als einen Gneis mit mikroklinreichen Adern beschrieben, was die Antedatierung seiner angeblich früheren Mitteilung darüber im Comptes rendu noch auffälliger macht.

die seinige anführt. Da ich die betreffende Lokalität nicht selbst gesehen habe, kann ich darüber keine bestimmte Ansicht äußern. Sicher hätte ich jedoch das nicht gesagt, was KÖNIGSBERGER in meinen Mund legt. Wie weiß er, daß ich das von dem basischen Gang durchdrungene Gestein als einen grauen Gneisgranit deuten würde? Ich habe zahlreiche Fälle beobachtet und z. T. schon beschrieben, wo sedimentäre Gesteine (Leptite, sogar Konglomeratschiefer), sowie auch ältere Migmatite von solchen basischen Gängen durchsetzt werden und später zusammen mit ihnen der Anatexe oder Granitisation anheimgefallen sind. Als ich zuerst (1891) den Begriff Adergneis aufstellte, glaubte ich sogar, daß diese Gesteine stets aus sedimentärem Schiefer und Granit bestünden. Weiter wäre nach KÖNIGSBERGERS Ausspruch meiner Ansicht nach der Granit der Adern »stets plastisch, aber nicht ganz geschmolzen« gewesen. In meinem von KÖNIGSBERGER zitierten Artikel<sup>1)</sup> habe ich gesagt, daß der Granit in einigen Fällen (dans certains cas) plastisch werden kann, ohne vollständig geschmolzen zu werden, und die Worte im folgenden Satze, »Cette granitisation régionale, ou anatexe«, beziehen sich nicht auf diese Spezialfälle. Im Gegenteil habe ich weiter oben ausdrücklich von »fusion« gesprochen. Ich verweise übrigens auf meine früheren Schriften<sup>2)</sup>, wo ich seit 1890 Migmatite von z. T. festem oder plastischem, z. T. geschmolzenem Material beschrieben habe, sowie auf meinen Vortrag auf dem Kongreß<sup>3)</sup>. Übrigens finde ich, daß KÖNIGSBERGER und ich in den meisten der von ihm erwähnten petrographischen Fragen prinzipiell auf demselben Boden stehen<sup>4)</sup>. Darum verstehe ich nicht, warum er mich angreift.

Die Frage der Permeabilität des Nebengesteins an Granitkontakten, welche ja lange das Punctum crucis im Granitisationsstreit war, kann wohl jetzt als endgültig beantwortet betrachtet werden. Ohne Zweifel gibt es Fälle, wie ja ROSENBUSCHS klassische Arbeit über die Steiger Schiefer uns belehrt hat, wo am Kontakt gar keine oder nur eine sehr unbedeutende Penetration durch das Magma stattgefunden hat. Obgleich sie meistens den hypabyssischen Granitmassiven eigen sind, habe ich doch auch im Grundgebirge ähnliche Fälle beobachtet, so z. B. an gewissen Rapakiwikontakten, an Kontakten

1) J. J. SEDERHOLM, Les roches préquaternaires de la Fennoscandia. Bull. Comm. géol. de Finl. No. 24. 1910. S. 31.

2) Vgl. das Referat in J. J. SEDERHOLM, Einige Probleme der präcambrischen Geologie von Fennoskandia. Geologische Rundschau Bd. I. H. 3. 1910. S. 126. Weiter: Om palingenesen i den sydfinska skärårgden usw. Geol. Förel. i Stockholm Förel. Mars 1912.

3) Die regionale Umschmelzung (Anatexis) erläutert an typischen Beispielen. Comptes rendus du XI. Congrès Géol. Intern. Stockholm 1910. S. 573.

4) Dagegen ist die Darstellung der Entstehung des Archäicums, die KÖNIGSBERGER, wohl im Anschluß an HOLMQUIST, mit einigen kurzen Worten gibt, mit meiner aktualistischen Auffassung nicht übereinstimmend.

zwischen dem postbottnischen Granit in Messukylä, im NO. von Tammerfors, und dem dortigen Phyllit, welche oft messerscharf sind, und wo auch keine Kontaktminerale vorkommen. Es ist aber gewiß unrichtig, wenn man solche Beobachtungen so weit verallgemeinern will, daß sie als Kanon für die Granitkontakte der ganzen Erde dienen sollten. Es sind ja schon unzählige Fälle bekannt, welche das Gegenteil beweisen. Ich erinnere nur an das von BARROIS geschilderte klassische Beispiel, welches der Granit von Rostrenen gibt. Im letzten Sommer habe ich auch an der Ostgrenze des Wiborgischen Rapakiwigebietes ein neues Beispiel kennen gelernt, welches, wie mir scheint, noch mehr unwiderlegliche Beweise für eine innige Durchtränkung mit aplitischem Magma als die von mir früher beobachteten Fälle liefern, und das ich im folgenden näher erörtern werde.

Von besonderem Interesse sind auch die zahlreichen Fälle einer Granitisation der Quarzite (Westervik, Sudbury in Canada; Lapp-land usw.), die bekannt sind, weil hier das Sedimentgestein früher fast gar keine Feldspatsubstanz enthielt, und dennoch jetzt sowohl Adern als isolierte Flecken von granitischem Material auch weit von den Kontakten mit den Granitmassiven auftreten können. Hier ist ja jedenfalls eine Zufuhr von Substanz ganz unzweifelhaft.

Die Frage nach der Entstehung der pegmatitischen und aplitischen Adern in arteritischen Gesteinen war überhaupt einer der Gegenstände, die beim Stockholmer Kongreß und während der folgenden Exkursion im Grundgebirge am eifrigsten diskutiert wurden, und sie ist schon seit Jahrzehnten besonders zwischen schwedischen und finnländischen Petrographen erörtert worden. In Schweden hat man diese Adern seit älterer Zeit mit Vorliebe als Sekrete aus dem Nebengestein, und zwar besonders früher in mehr oder weniger ausgeprägt neptunistischem Sinne gedeutet. HOLMQUIST, dessen Ansicht sich bei den Diskussionen z. T. auch HÖGBOM und MILCH anschlossen, will sie noch so erklären<sup>1)</sup>, indem er annimmt, daß sie bei der Ultramorphose, die nur eine Steigerung der gewöhnlichen Regionalmetamorphose bezeichnet, also ohne notwendigen Zusammenhang mit einem eruptiven Granitmagma, gebildet wurden. Er ist weiter geneigt, anzunehmen, daß der Hauptteil der Pegmatitisation in Schweden in einer gewissen Periode am Schlusse der archaischen Ära stattfand.

<sup>1)</sup> Diskussion anlässlich der Schärenfahrt der Exkursion C. I. Comptes rendus XI. Congrès Géol. Intern. 1910. S. 1324.

Discussion sur la géologie des systèmes précambriens. Ibid. S. 734.

P. J. HOLMQUIST, Ådernes bildning och magmatisk assimilation. Geol. Förh. i Stockholm Förh. Bd. 29. 1907. S. 313.

P. J. HOLMQUIST, Gneisfrågan och urbergsteorierna. Ibid. Bd. 30. 1908. S. 415.

P. J. HOLMQUIST, The Archean Geology of the Coast-Regions of Stockholm. Geol. Fören. i Stockholm. Förh. 1910. Bd. 32. S. 806 und Guides des Excursions en Suède. 15. XI. Congrès. Géol. Intern. Stockholm. 1910.

Ich will die Möglichkeit, daß pegmatitartige Gesteine auch als wässerige Sekrete entstehen können, nicht gänzlich in Abrede stellen. Jedoch habe ich keine solchen Fälle in meinen eigenen Studiengebieten kennen gelernt. Von einer Exkursion im Simplon, an welcher ich im Jahre 1909 unter der Führung SCHARDTs teilnahm, habe ich Handstücke arteritischer Gneise mitgebracht, in welchen die gefalteten Adern aus albitreichem Aplit bestanden, und welche dermaßen von den von mir beobachteten Arteriten abwichen, daß ich eine verschiedene Deutung nicht gänzlich in Abrede stellen möchte. Bezüglich der Pegmatit- und Aplitadern Finnlands, die ich genau studiert habe, wage ich aber die bestimmte Behauptung auszusprechen, daß sie immer in nachweislichem Zusammenhang mit dem Hervordringen irgendeiner Formation von in größeren Mengen auftretenden Graniten vorkommen. Dasselbe dürfte meiner Ansicht nach auch wenigstens vom größten Teil von Schweden gelten. Wenn also, wie VAN HISE bei der Kongreßdiskussion in Westervik richtig hervorhob, der Pegmatit als ein »granitischer Saft« zu betrachten ist (derselbe Ausdruck ist von mir und anderen öfters angewandt worden), so muß man das erste Wort granitisch besonders betonen. Wenn der Pegmatit z. B., wie es in den finnischen Schären oft der Fall ist, als ein Netz von anastomosierenden breiten Adern auftritt, die an Menge die Einschlüsse überwiegen, mit echtem Granit vikariieren und dieselbe chemische Beschaffenheit wie dieser besitzen, und die vielerlei fluidale Erscheinungen zeigen, so kann wohl kein Zweifel an seiner echten Magmagesteinsnatur existieren.

Was nun besonders die Adergneise von Trollhättan in Schweden angeht, deren Entstehungsweise auf der Kongreßexkursion so lebhaft diskutiert wurde, so bin ich überzeugt, daß die Untersuchungen GAVELINS, der in den meisten dieser Fragen eine von HOLMQUIST etwas abweichende Stellung einnimmt, im westschwedischen Gneisgebiet noch mit voller Evidenz zeigen werden, daß die Bildung der Adergneise in vielen Fällen in beweislichem Zusammenhang mit dem Hervordringen relativ junger archaischer Granite gestanden hat. Bezüglich der sehr analogen Gneisgebiete im östlichen Finnland, die wir früher als möglicherweise »azoisch« im strengen Sinne des Wortes (also präsedimentär) betrachteten, haben die Untersuchungen der letzten Jahre zu dem Ergebnis geführt, daß sie z. T. viel jünger sind, d. h. daß unter ihnen, ganz besonders unter den gang- und aderartig vorkommenden Gesteinen, sogar postbottische Granite vorkommen dürften.

Bezüglich der strengen Unterscheidung, die HOLMQUIST zwischen Adergneisen und Intrusionsgneisen macht, welche letzteren durch die innige Verschweißung der Materialien gekennzeichnet sein sollen, kann ich ihm nicht beipflichten. Meiner Erfahrung nach treten beide Erscheinungen oft in engster Beziehung mit echten Eruptivgraniten auf.

Nun ist es auffallend, daß die Bildung der pegmatitischen und aplitischen Adern bei unseren jüngsten Graniten, dem Rapakiwi und dem etwas älteren Onasgranit von Borgå, welche wohl beide hypabyssisch erstarrten, auf die unmittelbare Umgebung der Massive beschränkt ist. Weiter als ein oder zwei Kilometer von der Hauptgrenze findet man keine ihnen zugehörige Pegmatite und Aplite, und letztere treten vorwiegend in den schon erwähnten geäderten oder breccienartigen Kontaktzonen auf. Die Aderbildung ist also hier nicht als regional, sondern als eine Kontaktnatexe zu bezeichnen. Am entferntesten von der Hauptgrenze des Rapakiwis treten vereinzelte Spaltengänge von Quarz und Pegmatit auf, worin die Mineralien die charakteristische Beschaffenheit der Rapakiwigemengteile besitzen. Näher zum Kontakt ist das Gestein in dem früher erwähnten Fall von z. T. gut getrennten, z. T. mit dem Nebengestein gleichsam zusammenfließenden Adern von Pegmatit und Aplit durchschwärmt, und Aplit durchtränkt auch das ganze Nebengestein (einen schiefrigen Plagioklasporphyr), wobei Gesteine entstehen, welche mit den Hornfelsen gewisse Analogien zeigen. Übergänge zwischen Eruptivbreccien und adergneisartigen Gesteinen, z. T. mit schönen fluidalen (ptygmatischen) Faltungen, kommen vor, und mitten im schieferartigen Gestein kann man verschwommen begrenzte Partien von Rapakiwi mit der charakteristischen Oligoklasumrandung beobachten. Innerhalb der Hauptgrenze tritt auf einmal ganz reiner Rapakiwi, fast frei von Einschlüssen, auf. An den Grenzen des Onasgranites treten besonders äußerst typische Eruptivbreccien, z. T. aber auch adergneisartige Gesteine auf.

In diesen und ähnlichen Kontaktarteriten und Kontaktbreccien sehe ich Fälle derjenigen Prozesse, welche DALY *overhead stoping* genannt hat. Die Breccienbildung hat offenbar in Verbindung mit dem Hervordringen des Granits gestanden. Also nicht passiv in fertig gebildeten Klüften, sondern aktiv, sich selbst seinen Weg bahnd, ist er aus der Tiefe hervorgezungen.

Die Erscheinungen der regionalen Granitisation oder Anatexe sind eigentlich nur als Variationen und Steigerungen der Prozesse anzusehen, deren Resultate man in den räumlich begrenzten Kontaktanatexezonen beobachtet. Sie sind aber in ihrem Auftreten noch mehr mannigfaltig.

Auch hier erkennt man eine Zerspaltung und Breccienbildung, die man an der finnischen Südküste besonders großartig sowohl in den präbottnischen wie in den postbottnischen Graniten beobachten kann. Die Frage, wie diese Zerspaltung in so überaus großem Maßstab geschah, ist ja wieder eine von denen, welche am wichtigsten und am eifrigsten diskutiert worden sind.

Ich habe mich wiederholt gegen die Ansicht gewandt, daß alle Eruptivbreccien mit granitischem Zement in der Regel so entstünden,

daß die Felsmassen erst tektonisch bei erdbebenartigen Bewegungen zersplittert und später mit granitischem Magma injiziert, gleichsam durchspritzt würden. Diese Erklärung ist wohl bei den vulkanischen Eruptivbreccien zutreffend, und sie dürfte auch für gewisse in relativ hohen Niveaus erstarrte kleinere Eruptivmassive gelten. Auch will ich nicht verneinen, daß in gewissen Ausnahmefällen auch bei den bathylitischen Granitgebieten lokal bei dem Einsinken der überliegenden Gesteine in das Magma eine Zersprengung jener stattfinden kann, welche eine gewisse Analogie zu der Breccienbildung durch tektonische Bewegungen in den oberen Teilen der Erdrinde zeigt. Jedoch hat in den meisten Fällen bei der regionalen Anatexe, gleichwie bei den schon erwähnten Fällen der Kontaktanatexe, die Zertrümmerung nachweislich im Zusammenhang mit dem Eindringen des Granites stattgefunden.

Es ist sehr häufig, fast in der Regel der Fall, daß die Spalten der einzelnen Einschlüsse in den Breccien sich nicht durch das ganze Fragment erstrecken. Oft beobachtet man, daß einzelne Einschlüsse sich in eine Unzahl, bis Tausende von kleineren Fragmenten zerteilen, welche noch nahe aneinander liegen. Zusammen mit der Spaltenbildung treten auch typische Resorptions- und Assimilationserscheinungen auf (vgl. Fig. 4).

Sowohl Temperaturschwankungen wie Bewegungen im Magma, von welchen die starren Einschlüsse anders als das umgebende, leichter bewegliche Magma betroffen wurden, konnten eine Zerberstung der einschlußartigen Gesteinspartien verursachen, aber, wie schon gesagt, konnte wohl auch ein passives Einsinken in die Magmamassen dazu beitragen.

Bezüglich des Verhältnisses zwischen Faltung und Aderung gehen auch die Ansichten noch sehr weit auseinander. HOLMQUIST meint, daß die Falten die Adern veranlassen, indem die Sekrete sich vorwiegend an den am stärksten gefalteten Teilen ansammeln. Ähnliche Äußerungen trifft man mehrorts in TÖRNEBOHMS Schriften. Ich habe auch schon 1893 die Ansicht ausgesprochen, daß »das Eindringen des Granits offenbar im Zusammenhang mit der Faltung stattgefunden hat«. Wie ich später hervorgehoben habe, ist jedoch in vielen Fällen, und zwar besonders bei der eigentümlichen »ptygmatischen« Faltung, das Eindringen des Granits die Ursache der Faltung gewesen. Zu dieser Frage werde ich bald an anderer Stelle zurückkehren.

Es entsteht also bei dieser Durchdringung eine Menge verschiedenartiger Migmatite, erstens peripherisch, rings um die Gebiete von reinerem Granit, z. T. auch auf weite Entfernungen von diesen, geäderte Gesteine, Arterite (Fig. 1 und 5). Bei vollständigerer Zersplitterung des älteren Gesteines werden Eruptivbreccien (Fig. 3 und 4) gebildet. Wenn wieder das granitische Material und die injizierten Adern bandartig miteinander umwechseln, entstehen ge-

bänderte Gneise (Fig. 2). Wenn die Arterite bei weiterem Verlauf der Durchträngung und Aufschmelzung fluidal (ptygmatisch) gefaltet werden, entstehen die charakteristischen ptygmatischen Migmatite (Fig. 5). Wenn die Adern netzartig auftreten, werden Gesteine gebildet, welche in der Mitte zwischen Arteriten und Eruptivbreccien stehen, und die ich Diktyonite (Netzgesteine, Fig. 6) genannt habe. Wenn in diesen Gesteinen oder in Eruptivbreccien die Einschlüsse so stark aufgeschmolzen werden, daß sie nur gleichsam in spukhaften Umrissen oder so zu sagen wolkenartig hervortreten, entstehen Nebulite (Fig. 7), für welche z. B. die Granite von Hangö und Helsingfors charakteristische Beispiele liefern.

Es können aber auch die Penetrations- und Wiederaufschmelzungsvorgänge mehr allmählich vor sich gehen, wobei keine ausgeprägte Aderung auftritt, sondern das ganze Gestein allmählich in einen neuen, »palingenen« Granit umgewandelt wird. In diesem Falle ist die Beweisführung oft schwieriger zu geben, es dürfte aber auch hier ganz überzeugende Beispiele geben. In den Schären geben die noch erhaltenen Teile der »Metabasitgänge«, welche der Anatexe oft lange Widerstand leisten, Zeugnis dafür ab, was früher hier vorhanden gewesen. In noch anderen Fällen scheint die »Palingenese« oder die Verwandlung in ein neues Eruptivgestein mehr sprungweise vor sich gegangen zu sein. Ich habe schon den charakteristischen Fall von Páfskär geschildert. Im letzten Sommer habe ich in Perno, östlich von Helsingfors ein noch besseres Beispiel von solcher »Palingenese« gefunden.

Ein Konglomeratschiefer von sehr hohem, archaischem Alter wird von Metabasitgängen durchsetzt und tritt im Westen mit Quarzit in Berührung, der wahrscheinlich ihn früher diskordant überlagerte. Im Zusammenhang mit dem Eindringen jüngerer Granitadern wird nun der Konglomeratschiefer plastisch, teilweise umgeschmolzen und tritt, z. T. noch mit erhaltener Fleckigkeit, pseudoeruptiv auf. Er durchdringt dann den Metabasitgang, der früher jünger war, und durchsetzt auch an der Grenze den jüngeren Quarzit.

Sowohl in diesem, wie in allen anderen von mir beobachteten Fällen steht jedoch die Anatexe, beziehungsweise die Bildung eines palingenen Eruptivgesteins, im Zusammenhang mit dem Eindringen eines neuen Magmas. Ich halte es wohl für theoretisch sehr plausibel, daß, wie u. a. TERMIER annimmt<sup>1)</sup>, isolierte Magmaherde auch auf weitere Entfernung von den aus der Tiefe hervordringenden Magmamassen als Vorläufer derselben durch lokal begrenzte Wiederaufschmelzungsprozesse entstehen können. Bei meinen Feldstudien habe ich jedoch bis jetzt keine Fälle beobachtet, für welche eine solche Deutung wahr-

<sup>1)</sup> P. TERMIER, Sur la genèse des terrains cristallophylliens. Compte rendu du XI. Congrès Géol. Intern. Stockholm 1910. S. 593.

scheinlich wäre. In jeder Granitisationsperiode zeigt der Granit in den verschiedenen Massiven im großen ganzen eine besondere, individuelle Beschaffenheit, durch welche er sich von jeder anderen unterscheidet; auch kann man oft zeigen, daß die verschiedenen Massive miteinander anastomosieren. Im einzelnen zeigt es sich, daß das granitische Magma und in dessen nächster Nachbarschaft daraus emanierende Säfte und Gase als Lösungsmittel gedient haben, und daß hauptsächlich nur diejenigen Teile, welche mit dem hervordringenden Magma imprägniert worden sind oder in der unmittelbaren Nähe der Granitmassen liegen, palingen eruptiv werden. Es ist ja immerhin möglich, daß eine Wiederaufschmelzung unter anderen Umständen auch in größerem Maßstab und auf längere Entfernung von den Granitmassen, die aus der Tiefe hervordringen, geschehen kann.

Die Beweglichkeit des Magmas ist bei diesen Prozessen ein Umstand von äußerstem Gewicht, denn ohne diese würde man die starken chemischen Veränderungen nicht erklären können.

Es wird von der Seite der Chemiker, so z. B. auf dem Kongreß von VOGT, der Einwand gemacht<sup>1)</sup>, daß die Umwandlung nur dann bewiesen ist, wenn gezeigt werden kann, »daß das umgeschmolzene Gestein das arithmetische Mittel der zwei Ursprungsgesteine« darstellt.

Dies ist aber nur dann richtig, wenn es wahrscheinlich ist, daß die Umschmelzungsprodukte wirklich in situ bleiben, was meines Erachtens gar nicht immer zutrifft. In gewissen Reibungsbreccien können wir ja beobachten, daß einzelne, von Quarz oder Kalkspat umgebene Gesteinsfragmente fast gänzlich verändert worden sind, ohne daß der umgebende Zement Variationen zeigt. Zum Beispiel in der pfahlartigen Reibungsbreccie von Sattula, im NW. von Tavastehus in Finnland, sind einige Fragmente von Uralitporphyr so stark ausgelaugt worden, daß nur ihre spukhaften Umrisse von braunen Eisenoxydhydraten angedeutet werden. Der umgebende Quarz kann dabei ebenso rein wie sonst sein und zeigt keinen höheren Gehalt an Epidot usw. als sonst. Beweist das also, daß keine Auslaugung der Fragmente hier stattgefunden hat, obgleich man den allmählichen Übergang zwischen wohl erhaltenen und immer mehr veränderten Gesteinsbrocken verfolgen kann? Nein, es zeigt nur, daß die Auslaugungsprodukte weiter gewandert sind. Warum könnte dasselbe nicht in einer von granitischem Magma oder »granitischen Säften« durchdrungenen Gesteinsmasse geschehen? Oder ist jenes heiße Magma oder sind jene Säfte weniger reaktionsfähig, weniger beweglich als die vadosen Wässer, welche eine Reibungsbreccie ausgelaugt und verkittet haben?

Auch wenn die einzelnen Mineralien in einem Magmagestein resorbiert werden, findet man ja keineswegs immer die Lösungspro-

<sup>1)</sup> Discussion sur la géologie des systèmes précambriens. Compte rendu XI. Congrès Géol. Intern. Stockholm 1910. S. 736.

dukte kranzartig in ihrer nächsten Nachbarschaft. Dies ist auch nicht in dem in Fig. 4 abgebildeten Gestein der Fall, und doch beweisen schon die Formen der Einschlüsse, daß eine Resorption stattgefunden hat.

Übrigens haben die aplitischen Adern und Gänge, welche die basischen Gesteine an der finnischen Südküste durchweben, oft eine eigentümliche Zusammensetzung, indem Plagioklas den Kalifeldspat ersetzt, und sogar Pyroxen in ihnen vorkommen kann. Offenbar hat das Nebengestein auf ihre Zusammensetzung influert.

Es ist weiter bemerkenswert, daß um die teilweise resorbierten basischen Einschlüsse sowohl in den Rapakiwigesteinen (z. T. bei Simola in der Provinz Wiborg) als auch in den sehr alten, präbottischen Graniten von Pellinge und Perno das Gestein eine quarzdioritische Beschaffenheit mit bis in die Einzelheiten entsprechenden Strukturzügen annimmt. Besonders das Studium der halbanatektischen, d. h. nicht vollständig in Schmelzung geratenen Migmatite gibt uns auch viel Aufklärung über die Einzelheiten des Vorganges der Anatexe, die zu verfolgen aber uns hier zu weit führen würde.

Gerade die chemischen Gesetze von eutektischen Lösungen usw., an deren Formulierung VOGT selbst so großes Verdienst hat, kommen, wie sowohl von TERMIER wie auch von mir schon mehrmals hervorgehoben wurde, hier in Anwendung. Das jüngere Magma wirkt als ein Lösungsmittel auf die älteren Gesteine. Einige widerstehen besser als andere seinem Angriff. Selbst strebt es einer eutektischen Beschaffenheit zu. Einige Gemengteile, die seiner Zusammensetzung gleichsam fremd sind, werden dabei durch Differentiation entfernt oder durch zirkulierende Lösungen fortgeführt.

Noch ist man weit davon entfernt, die Gesetze der chemischen Prozesse in großen Tiefen so genau zu kennen, daß man sagen könnte, daß dieses oder jenes unmöglich sei. Die Fragestellung hat erst bei Beobachtungen im Felde zu geschehen, ehe es gut möglich ist, die Sache durch chemische Analysen mit Erfolg anzugreifen.

In dem schon erwähnten anatektisch umgewandelten Konglomeratschiefer von Perno besitzt die gangartig, also pseudoeruptiv auftretende Varietät trotz der gänzlich veränderten Mikrostruktur noch fast vollständig dieselbe chemische Beschaffenheit wie das in der Nähe auftretende Gestein mit erhaltener Konglomeratstruktur.

Was nun endlich die Frage nach dem Verhältnis zwischen der Dynamometamorphosenlehre und den verschiedenen Injektionstheorien betrifft, so sehe ich, obgleich meine Ansichten sonst in den meisten Fällen mit denjenigen TERMIERS übereinstimmen, die ja als ziemlich radikal gelten, keinen unversöhnlichen Widerspruch zwischen diesen verschiedenen geologischen Doktrinen, wenn man nur der Regel *suum cuique* folgt.

Mag es jetzt auch immer allgemeiner anerkannt werden, daß der Druck allein keine Metamorphose hervorzubringen vermag, sondern daß dazu auch Wasser oder andere Mineralisatoren und, in vielen Fällen, erhöhte Temperatur nötig sind: Die Bedeutung der Lehre von einer Metamorphose, die mit Dislokationen verbunden war, ist ja doch nicht von der Auffassung bezüglich dieses Spezialpunktes abhängig. War ja doch diese Lehre unstreitig die erste Arbeitstheorie, welche das erfolgreiche petrographische Studium der metamorphosierten Gesteine ermöglichte. Und wer kann wohl die Bedeutung der Dislokationen, sowohl durch die Zertrümmerung der Gesteinsmassen als auch dadurch, daß sie diese in größere Teufen versenkten, nach alledem bestreiten, was wir jetzt darüber wissen? Man möge nur an die schlagenden Beispiele denken, welche das Präcambrium des Nordens aufweist, wo die horizontal liegenden jotnischen Formationen durchaus primäre Züge zeigen, während dagegen die in schwachen Falten zusammengeschobenen, aber nicht granitdurchwobenen jatulischen Formationen stets metamorphosiert sind, so daß z. B. alle darin eingeschalteten Diabase jetzt fast durchweg uralitisiert sind. Ebenso sind die präcambrischen Granite im großen ganzen fast in demselben Maße metamorphosiert, wie sie mechanisch zertrümmert worden sind. Es ist also bequem, ein Wort zu besitzen, welches zugleich angibt, daß sie gepreßt und metamorphosiert worden sind, da beide Umstände so offenbar im Zusammenhang miteinander stehen. Die Frage, welches Wort am passendsten ist, sehe ich freilich noch immer als offen an.

Meiner Ansicht nach muß nun die Lehre von dem Dislokationsmetamorphismus ein notwendiges Komplement in der Lehre von einer regionalen Zerschmelzung (Anatexe) in größeren Tiefen besitzen.

In jedem Falle bin ich davon überzeugt, daß in allen mir bekannten Fällen die Parallelstruktur der gneisartigen Gesteine auf eine der folgenden Weisen entstanden ist: entweder ist sie als Druckschieferung oder als Schichtung oder auch als bei der Anatexe erhalten gebliebene Reste dieser oder endlich als durch fluidale Bewegungen entstanden aufzufassen. An einer Parallelorientierung durch die Einwirkung des Druckes auf Gesteine in halbfestem Zustande glaube ich nicht. Für die Fälle, die ich früher (und zwar schon im Jahre 1893, also vor dem Erscheinen der späteren Theorien ähnlicher Art) auf diese Weise erklären wollte, möchte ich jetzt die oben angeführten Deutungen anwenden. An zahlreichen Stellen habe ich dagegen beobachtet, daß Glimmerstreifen, die bei der ptygmatischen Faltung, die meiner Ansicht nach z. T. auf halbfestes Material wirkte, in den verschiedensten Richtungen orientiert wurden, nicht durch den Druck später parallel gestellt wurden. Da so viele auch von denjenigen Petrographen, welche früher der WEINSCHENKSKEN Piëzometamorphosenlehre schroff gegenüberstanden, sie jetzt ohne

bestimmten Widerspruch anführen, würde es mich interessieren, die petrographischen Beispiele kennen zu lernen, für welche diese Erklärung als die einzig mögliche erscheint.

Schließlich möchte ich noch hervorheben, daß die migmatitischen Gesteine und überhaupt das ganze granitdurchwobene Grundgebirge bei näherem Studium eine Mannigfaltigkeit zeigt, welche auch nach mehrjährigem Studium ganz überraschend wirkt. In demjenigen Gebiet der finnischen Schären, das ich jetzt studiere, kommen wenigstens fünf Granitisationstypen von ganz verschiedenem Alter und, trotz der vielen Analogien, auch sehr verschiedenem Auftreten vor. Und wenn ich mich zu den postkalewischen Graniten des östlichen und nördlichen Finnlands oder zu den Graniten von Småland in Schweden wende, so finde ich wieder ganz andersartige Erscheinungen. Nirgendwo ist es deswegen gefährlicher als hier, die Schlußfolgerungen zu weit, besonders in negativem Sinne, zu verallgemeinern.

Wenn BARROIS bei der Diskussion auf der Schärenfahrt in Schweden bemerkte, daß Feldstudien in gefalteten Regionen, wo wir das Alter der Gesteine kennen, die beste Methode für das Studium der entsprechenden archaischen Formationen liefern, so möchte ich diesem Ausspruch beistimmen, wenn damit gesagt werden soll, daß die Arbeit im aktualistischen Sinn betrieben werden muß, und also die älteren Gesteine mit den jüngeren bekannter Herkunft verglichen werden sollen. Jedoch meine ich, daß ebenso wie im Archäicum sedimentäre Gesteine wie Konglomerate, geschichtete Tone usw. vorkommen, welche die primären Züge fast ebenso gut wie irgend welche tertiäre Ablagerungen zeigen, so gilt es auch, und in noch höherem Grade, von den Granitisationserscheinungen des Archäicums, daß sie ebenso klar und unzweideutig wie in irgend welchen anderen Formationen sein können. Das, was wir in Schweden gelegentlich des Kongresses sahen, kann in dieser Beziehung nicht eigentlich als typisch betrachtet werden.

Vor allem ist die eben hervorgehobene Mannigfaltigkeit dieser Erscheinungen im Archäicum eine viel größere als anderswo, und einige Typen, welche den tiefsten der durch die Erdrinde aufgeschlossenen Regionen der Erdkruste angehören, dürften nur hier vorkommen. Jedenfalls ist das Urgebirge das Studienfeld *par préférence* für die migmatitischen Gesteine.



Fig. 1. Adergneis (Arterit), durch die Injektion von postbotttnischen Granitadern in präbotttnischen Glimmerschiefer entstanden. Eisenbahneinschnitt bei Suinula, Kirchspiel Kangasala, Finnland. 1:12.

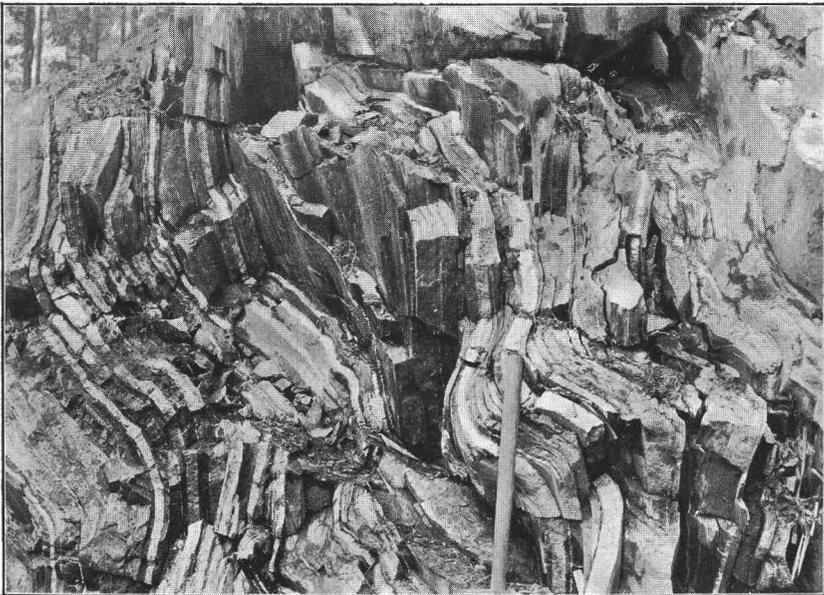


Fig. 2. Gebänderter Adergneis, durch die Injektion *lit par lit* von postbotttnischem Granit in Hornblendeschiefer entstanden. Eisenbahneinschnitt bei Nyslott, Finnland. Photo. H. Berghell. 1:7.

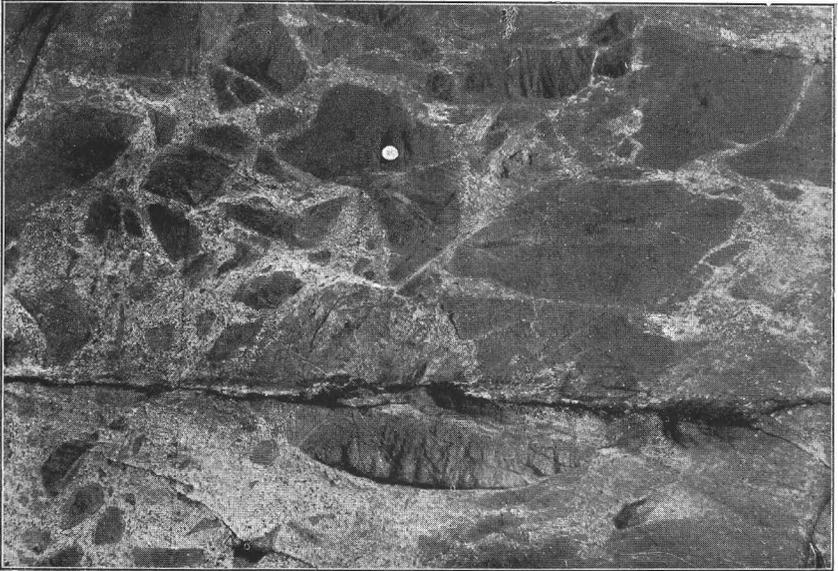


Fig. 3. Eruptivbrekzie mit eckigen Einschlüssen von „Metabasalt“ in präbottischem Granit. Sundarö, Kirchspiel Perno, Finnland. 1:10.

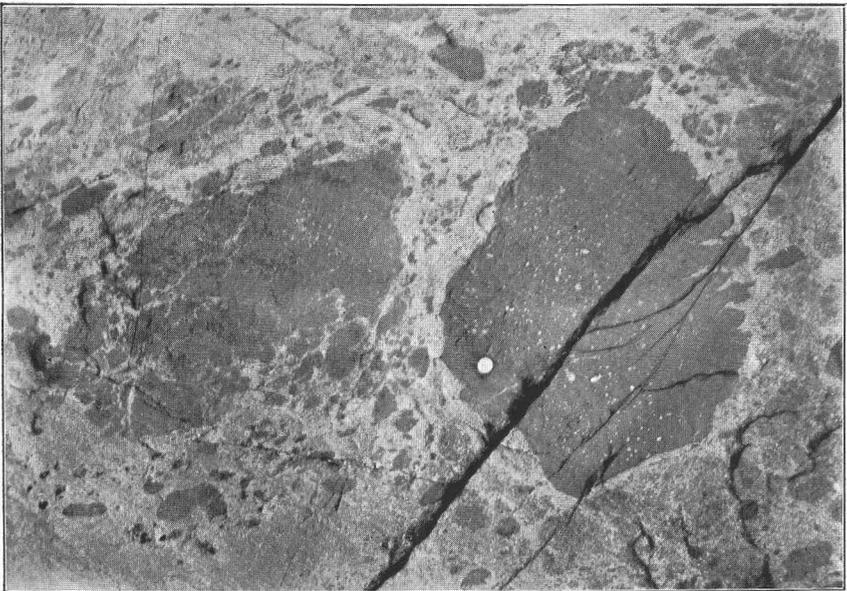


Fig. 4. Eruptivbrekzie mit zerspalteten und z. T. resorbierten Einschlüssen von Metabasalt in präbottischem Granit. Im größten Einschluß erkennt man noch die ursprüngliche Mandelsteinstruktur. Sundarö, Kirchspiel Perno, Finnland. 1:10.



Fig. 5. Ptygmatischer Arterit von Stickellandet bei Wormö, Kirchspiel Ingo, Finnland. 1:10.

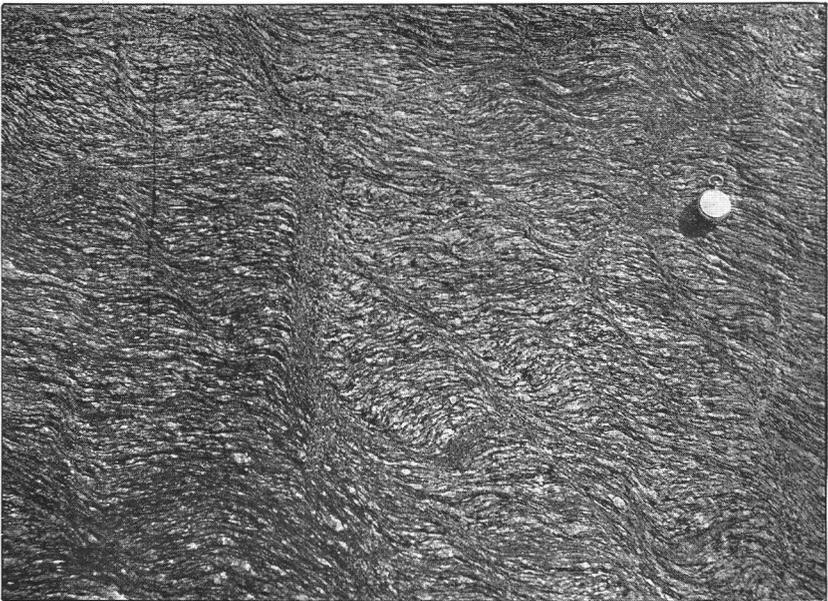
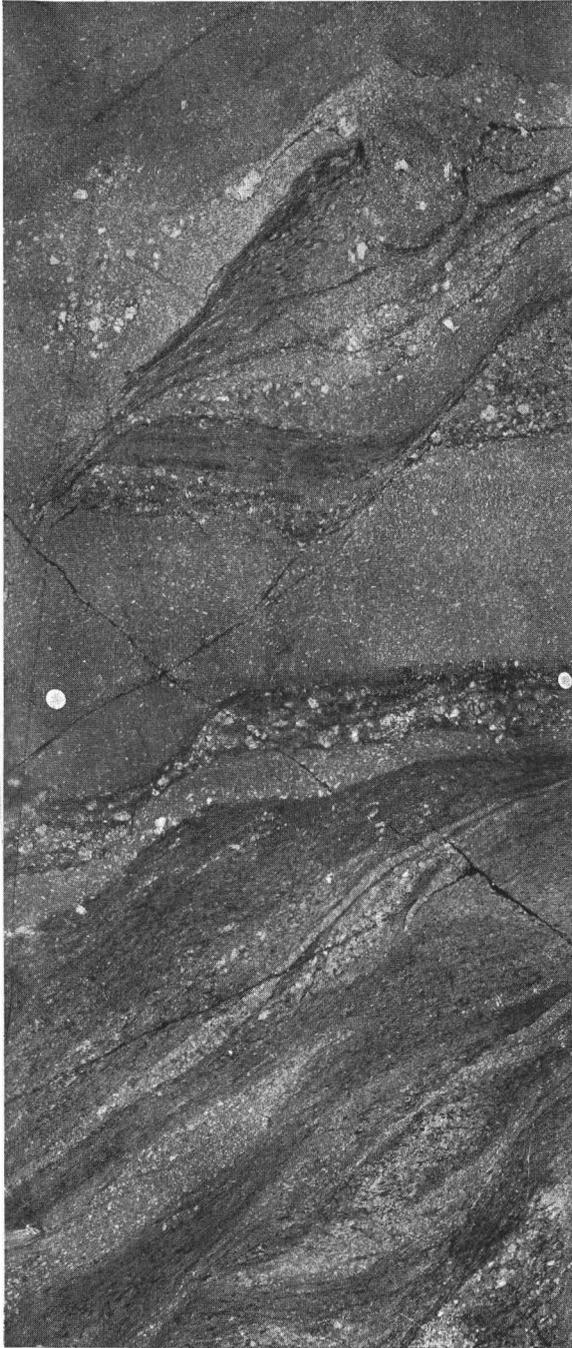


Fig. 6. Diktyonitischer Migmatit, durch die netzartige Verwebung von einem älteren, porphyritartigen Granit und postbottnischem Granit entstanden. Porsskär, im O. von Hangö, Finnland. 1:10.



**Fig. 7.** Nebulitischer Migmatit (postbottnischer Granit von Hangö-Typus mit größtenteils zerschmolzenen Einschlüssen). Kleine Insel südlich von Porsskär, im O. von Hangö, Finnland. 1:8.