

## ZUR GENESE DER GEMISCHTEN GÄNGE IM OSLOGEBIET

*(erläutert an einem neuen Granitporphyr-Doleritgang  
vom Frognerpark)*

VON  
P. ANTUN

**Abstract:** Composite dikes of the Oslo region are characterized by doleritic borders and acid centers, the contact between the associated rocks being sharp in the case of quartzporphyry and transitional in the case of syenite centers. A new example of such a dike is described, the older literature on the subject is critically reviewed and it is shown that all the composite dikes of the Oslo region are built up by successive intrusions.

In the author's mind, composite dikes of subvolcanic origin are normally bound to eruptive provinces in which the magmas associated in the dikes also exist as pure rock bodies within the crust or as lava flows. If a fissure taps different local magma reservoirs, the basic magma will flow more readily into the expanding dike than the more viscous acid one. If, however, the expansion continues, the latter will be favored because it will not be cooled in the fissure, which has been heated up by the basic magma, and because of its lower density. Sharp contacts arise, when the associated magmas are of a strongly contrasted composition and have notably different consolidation temperatures. Transitional contacts are produced when these differences are smaller so that mixing occurs in the contact zone. The hybrid nature of the latter is often attested by the simultaneous presence of corroded phenocrysts of both magmas.

Das Auftreten verschiedener Eruptivgesteine in ein und derselben Gangspalte hat seit jeher reges Interesse hervorgerufen. Dies gilt vor allem von den symmetrischen Gängen, d.h. solchen, deren Füllung symmetrisch zur Gangmitte variiert, derart, dass ein zentrales Gestein von ungefähr gleich breiten Bändern andersartiger, aber unter sich identischer Gesteine flankiert wird. Der Übergang von der Gangmitte zur Ganggrenze kann fließend oder sprunghaft erscheinen, ohne dass

jedoch auch in letzterem Fall eine gut ausgebildete Abschreckungszone an den gegenseitigen Kontakten ins Auge fallen würde. Die bilateral-symmetrische Struktur bleibt zumeist auch bei Gangverzweigungen gewahrt.

Derartige gemischte Gänge sind im Oslogebiet seit alters her wohlbekannt. Ihnen allen gemeinsam ist eine saure Mitte und ein basischeres Sahlband: Quarzporphyr-Dolerit, Syenitporphyr-Dolerit, Windsorit-Dolerit, Lindöit-Grorudit. Falls man auf kleinere Unterschiede achten würde, wären wahrscheinlich noch manche andere als gemischte Gänge zu bezeichnen, schon aus dem guten Grunde, weil die meisten Eruptivgesteinsgänge nicht schlagartig in ihrer ganzen endgültigen Breite gebildet haben, sondern allmählich. Dabei läuft weniger viskoses Magma im allgemeinen voraus und wird wegen der schnellen Abkühlung sofort an den Grenzen fixiert. Bei porphyrischen Magmen ist so z.B. oft eine, an Einsprenglingen ärmere Randzone zu beobachten, wie es der Autor an Doleritgängen des Egersunder Gebiets nachgewiesen hat.

Im Oslogebiet haben die gemischten Gänge bei der Entwicklung petrogenetischer Ideen eine grosse Rolle gespielt indem solche, bei denen ein mehr kontinuierlicher Übergang zwischen Gangmitte und Ganggrenze festzustellen war, als Beispiele einer, durch Thermodiffusion verursachten örtlichen Aufspaltung eines ursprünglich homogenen Magmas hingestellt worden sind und bis in jüngere Zeit als Zeugen dieses Prozesses angeführt wurden. Es mag darum nicht unnütz sein, anlässlich der Beschreibung eines neuen gemischten Ganges dieses Gebiets einen Rückblick auf diesen Fragenkomplex zu werfen, wenn auch Vieles dazu schon von andern gesagt worden ist.

Gemischte Syenitporphyr-Doleritgänge von Bygdø (Oslo) waren schon KEILHAU (1823) und, durch ihn, CH. LYELL (1841, S. 218) bekannt. 1882 beschrieb dann W. C. BRØGGER (S. 285, 314) diese Gänge etwas ausführlicher.

Seine Ausführungen fielen in eine Zeit, in welcher gerade ähnliche gemischte Gänge aus dem Rotliegenden des Thüringer Waldes die Aufmerksamkeit von PRINGSHEIM (1880), WEISS (1883), BÜCKING (1887) und LORETZ (1887) erregt hatten. Diese sind mit denen des Oslogebiets ungefähr gleichalterig und, wie sie, an eine Eruptivprovinz gebunden, in welcher gleichzeitig grössere Intrusionen oder auch Ergüsse basischer und saurer Magmen stattgefunden haben.

Während nun die einen der vorgenannten Autoren die besondere Struktur der Gänge auf schnell aufeinander folgende Injektionen zurückführten und, ausser auf Feldbeobachtungen, darauf hinweisen konnten, dass die in diesen Gängen vergesellschafteten Gesteine noch häufiger in der Form von selbständigen Gängen oder gar Laven auftreten, zogen andere es vor an eine Spaltung im Gang selbst zu denken. Sie gingen dabei davon aus, dass öfters fließende Übergänge zwischen den verschiedenen Gesteinen vorhanden sind, sowie davon, dass die Folge basisches Sahlband-saure Mitte die Regel darstellt, eine Regel für die, falls es sich um sukzessive Intrusionen handelt, ein stichhaltiger Grund nicht sofort ersichtlich ist.

Von diesen Diskussionen wahrscheinlich angespornt liess BRØGGER 1884 drei Analysen anfertigen welche den Wechsel der Zusammensetzung im gemischten Syenitporphyr-Doleritgang von Vækkerø (bei Bygdø, Oslo) chemisch bezifferten. Er veröffentlichte sie 1890 (S. 63—65) in Rahmen seiner grossen Arbeit über die südnorwegischen Syenite, ihre Pegmatite und Mineralien, in welcher er insbesondere auch seine Ideen über magmatische Differentiation darlegte. 1888 hatte TEALL als Erster auf die mögliche Bedeutung des SORET'schen Prinzips für die Geologie aufmerksam gemacht. BRØGGER (1890, S. 85) rief nun seinerseits dieses Prinzip an. Er hatte erkannt, dass die mannigfachen Gesteine des Oslogebiets, bei aller Verschiedenheit, untereinander durch gewisse mineralogische und chemische Kennzeichen verwandt sind. Sie konnten daher schwerlich aus Mischungen etlicher Grundmagmen hervorgegangen sein und schienen vielmehr der Aufspaltung einer einzigen, ursprünglich homogenen Schmelze ihre Entstehung zu verdanken.

Es ist BRØGGER's Verdienst erkannt zu haben, dass eine Aufspaltung vermittels Thermodiffusion nicht mit Atomen arbeiten kann, da diese willkürliche Veränderungen der Zusammensetzung zustande brächten. Sie muss vielmehr mit stoechiometrischen Verbindungen, sogenannten Flüssigkeitsmolekeln arbeiten, unterscheiden sich doch die vergesellschafteten Gesteine dadurch, dass die einen an schwer-, die andern an leichtschmelzbaren Mineralen angereichert sind. Nach BRØGGER sollten die, zur kalten Wand, dem Kontakt, wandernden Flüssigkeitsmolekeln den Erstausscheidungen der Schmelze entsprechen. Daher sollte auch die Differentiationsfolge der Kristallisationsfolge parallel verlaufen.

Diese Hypothese war physikalisch nicht streng begründet, sondern eher ein Postulat das aus der Beobachtung hervorging, dass grössere und kleinere Gesteinskörper oft eine sogenannte basische Randzone besitzen, unter andern die gemischten Gänge. Was diese anbelangt, hatte BRØGGER sich die eingehende Untersuchung für später vorbehalten. Sein Schüler J. H. L. VOGT kam ihm jedoch darin zuvor. VOGT (1891, S. 483—489; 1893, S. 4—5 und 271—284) baute auf dem Vækkerøgang, von dem er auch eine gute, aber irreführende Zeichnung brachte (siehe S. 4), seine Hypothese über die Entstehung von Eisen-Titan-Apatitlagerstätten durch magmatische Differentiation auf. In der doleritischen Randzone des Vækkerøganges sind Eisen, Titan und Phosphor gegenüber ihren Werten im zentralen Syenit um ein Vielfaches angereichert. Nun wurden ja damals Erz und Apatit wegen ihrer Neigung zur Idiomorphie allgemein als Erstausscheidungen angesehen und nach VOGT sollten sie, im Einklang mit BRØGGERs allgemeinen Ideen, als flüssige Molekeln zur kalten Wand gewandert sein.

Um dieselbe Zeit hatte JUDD (1893) nachgewiesen, dass die gemischten Gänge von Arran zwei verschiedenen Typen angehören. Der eine, in dem die Gesteine in einander übergehen, sollte durch Differentiation, der andere, in welchem die Gesteine sich durchschneiden, durch sukzessive Intrusionen entstanden sein. Im Oslogebiet hatte BRØGGER (1894, S. 143) ähnliche Verhältnisse beobachtet: die Quarzporphyr-Doleritgänge zeigen des öftern Apophysen die von der Gangmitte in die doleritische Randzone eindringen, die Syenitporphyr-Doleritgänge jedoch zeigen einen gleitenden Übergang. Wenn auch im übrigen der gemehrte Tatsachenbestand die Regel «basischer Rand — saure Mitte» bestätigte (und zwar sowohl für den einen, wie für den andern Gangtyp), so zeigte er jedoch auch, dass die hypothetische Thermodiffusion ein komplexes Phänomen sein musste, denn in einem Gang schien vor allem das Erz, im nächsten Augit und in einem anderen wieder Plagioklas an der Ganggrenze konzentriert zu sein. —

Die Entwicklung petrogenetischer Ideen verlief damals sehr stürmisch und alsbald traten auch Gegner der Thermodiffusionstheorie auf den Plan. HARKER (1893, 1894) lehnte sie als unzutreffend und ungenügend ab, denn die Konzentrationsunterschiede waren offensichtlich für viele Elemente zu gross, um durch das SORET'sche Prinzip, in seiner

Ausarbeitung durch VAN T'HOFF, erklärt zu werden: danach sollten nämlich die Konzentrationen der absoluten Temperatur proportional sein. Niemand konnte jedoch annehmen, dass die Temperatur der Gangmitte das Zehnfache der Temperatur der (flüssigen) Ganggrenze betragen haben soll, wie die Konzentrationsunterschiede von Eisen z.B. es forderten. Sodann zeigte G. F. BECKER (1897), dass die Diffusion in (trockenen) Silikatschmelzen zumeist sehr langsam vor sich geht und kaum starke Konzentrationsverschiebungen über grössere Distanzen hinweg erlaubt.

Trotz dieser Kritik hielt BRØGGER (1897) an der Idee einer Differentiation durch Diffusion innerhalb der Schmelze fest. Wohl hatte BECKER damals schon den ersten Anstoss zur Differentiation durch fraktionierte Kristallisation gegeben. Nach BRØGGER jedoch sind nun einmal basische Grenzfazien keine Kristallakkumulate, sondern sie entsprechen Schmelzflüssen und sie folgen im übrigen auch sehr steilen Wänden. Dies ist besonders deutlich der Fall in den gemischten Gängen. Wenn die Thermodiffusion, wie es tatsächlich schien, zur Erklärung der Aufspaltung nicht genügte, so mussten eben andere Faktoren, wie z.B. elektrische Ströme, im Spiel sein.

In neuerer Zeit hat nun W. WAHL (1946) versucht die Thermodiffusionshypothese zu beleben und er hat dazu eine interessante Übersicht über die Ergebnisse verschiedener Experimente gegeben. In geeigneten Versuchsanordnungen kann Thermodiffusion mit Hilfe von Konvektion in der Tat (in Gasen) zu bedeutenden Konzentrationsverschiebungen in relativ kurzer Zeit führen. Solchen Anordnungen, Röhren oder langen dünnen Kästen, kämen in der Natur dünne Eruptivgesteinsgänge am nächsten. Nun ist es aber so, dass bei Kuppelung von Thermodiffusion und Konvektion die definitive Anreicherung einer Komponente des Gemischs nicht an der kalten Wand des Gefässes statt hat, sondern an seinen Enden. WAHL bricht denn auch den Vergleich bald ab und meint gemischte Gänge seien durch reine Thermodiffusion entstanden. Wie uns scheint gibt er jedoch weder eine genügende Begründung für das Ausbleiben der Konvektion, noch erklärt er, wieso die, schon von HARKER beanstandeten, viel zu starken Konzentrationsunterschiede zustande kommen können. Da sein Versuch die Hypothese der Vergessenheit zu entreissen trotzdem einen gewissen Anklang gefunden hat, scheint es uns angebracht, im Anschluss an die nachfolgende Beschreibung des Frognerganges zu

betonen, dass gemischte Gänge, oder doch zumindest solche die in epizonalem Milieu schnell erstarrt sind, nicht das Geringste mit Thermomodiffusionsdifferentiation zu tun haben.

## **Der Granitporphyr-Doleritgang von Frogner in Oslo**

### *Feldbeobachtungen.*

Durch Planierungsarbeiten ist im nördlichen Teil des Frognerparks in der Stadt Oslo das Gelände hinter den, am F. Nansensvei gelegenen Häusern angeschürft worden und man kann dort zwei, je anderhalb und zwei Meter dicke Gänge beobachten, welche zehn Meter von einander ab liegen und durch den Kontrast zwischen ihrer hellen Mitte und ihren dunklen Rändern sofort auffallen. Bei dem einen ist das helle zentrale Gestein 60 cm, die blauschwarzen Ganggrenzen je 35 und 40 cm mächtig. Bei dem andern ist die Gangmitte fast ein Meter dick. Beide streichen N 60° E, doch während der nordwestlich gelegene Gang mit den umgebenden ordovizischen dunklen Kalkschiefern 45° W einfällt, steht der andere steiler. Dieser ist übrigens auch noch in ungefähr 100 Meter Entfernung im F. Nansensvei unter dem Haus no 20 zu sehen und seine Mächtigkeit und Struktur zeigen sich dort unverändert. Ein weiterer Verfolg der Gänge wurde das ungünstige Terrain verhindert.

Das dunkle Gestein ist am Kontakt mit dem kaum gehärteten Schiefer sehr feinkörnig bis dicht abgeschreckt. Auf das Ganginnere zu steigt das Korn leicht an. Man unterscheidet hier winzige Feldspatleistchen und man bemerkt auch vereinzelte Plagioklaseinsprenglinge von mehreren Millimeter Grösse, deren Inneres zumeist leicht zellig und von schwärzlicher Grundmasse erfüllt ist. Verwitterte Oberflächen zeigen, dass der Dolerit, denn darum handelt es sich, reich an kaum millimetergrossen, rundlichen Bläschen ist, zu denen sich ab und zu ein Zug gröberer, elliptischer Blasen gesellt. Sie waren von nun weggelöstem Karbonat und z. T. auch von Quarz, der in porösen Massen übrigbleibt, erfüllt.

Das helle Gestein ist ein Porphyr der in einer lichtgrauen, mit vereinzelt dunklen Punkten übersäten, dichten Grundmasse eine grosse Zahl von weissen Feldspatheinsprenglingen führt. Diese messen im Mittel einen halben Zentimeter. Sie sind grossenteils nach (010)

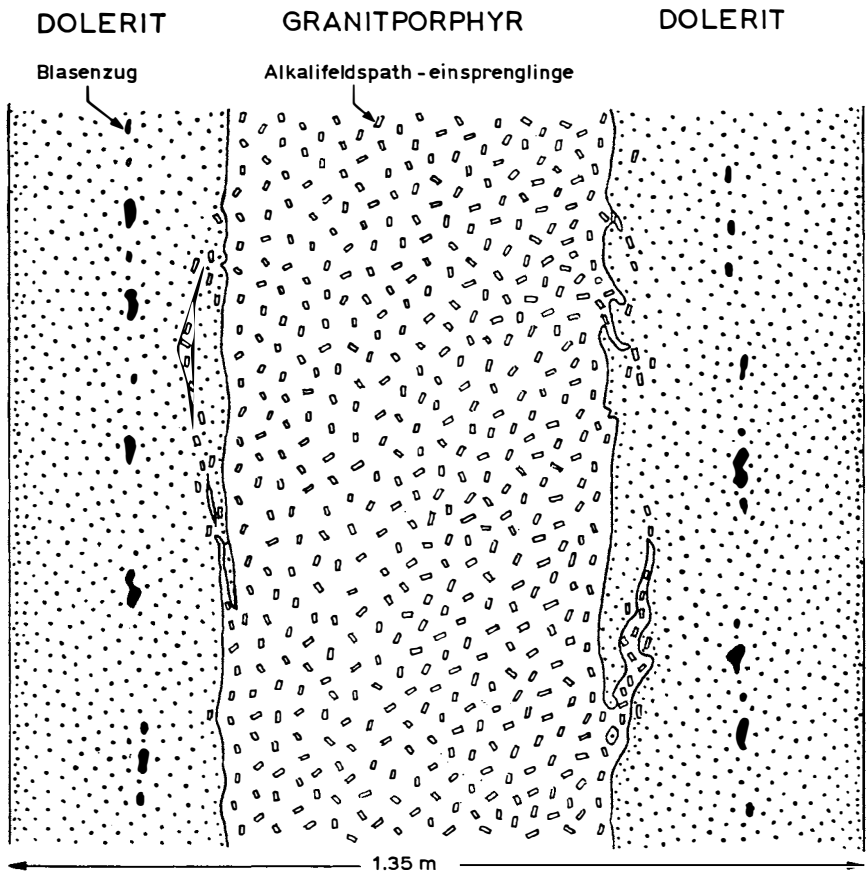
abgeplattet und dann mehr oder minder gut parallel dem Sahlband eingeregelt. Andere stellen Aggregate dar. Ihre Spaltflächen sind mattspiegelnd und zeigen Biegungen und Knickstellen. Das Gestein ist im übrigen von zahlreichen Klüften durchsetzt und stellenweise auch verruschelt.

Was nun den Kontakt zwischen dem sauren Porphyry und dem Dolerit betrifft, so mag er auf den ersten Blick ziemlich scharf und gleichmässig erscheinen. Bei näherem Zusehen zeigt es sich jedoch, dass er zumeist uneben, leicht wellig ist, und dass hier und dort unregelmässige, der Grenze subparallel verlaufende Apophysen sich vom Porphyry abspalten und bis zu 15 cm tief in den Dolerit eindringen. Diese Trümer sind buchtig begrenzt. Stellenweise keilen sie aus, um gleich darauf eine knäuelartige Anschwellung zu formen. Ähnliche leukokrate, porphyrische Partien beobachtet man auch als längliche, vom Hauptgestein ganz abgetrennte Schlieren. Darüber hinaus enthält der Dolerit vereinzelte, vollkommen isoliert erscheinende Alkalifeldspath-Einsprenglinge, die darin als Fremdkörper herumschwimmen und zwar nur in den, auch von Apophysen betroffenen, ungefähr 15 cm breiten Bändern welche beiderseits an den Porphyry angrenzen. — Die leukokraten Trümer führen ab und zu ein Klümpchen von dunklem Dolerit, und ebensolche kantengerundete Ballen sieht man vereinzelt am Hauptkontakt entlang im Porphyry. — Bemerken wir noch, dass der Dolerit in den von Apophysen betroffenen Zonen bei gleichem Abstand von der Ganggrenze feinkörniger als sonst ist, und dass er gegenüber dem Porphyry eine sehr dünne, dunkle Haut entwickelt.

#### *Mikroskopische Beobachtungen.*

Die petrographische Untersuchung kann für den vorliegenden Zweck kurz gehalten werden.

Der Dolerit ist stark chloritisiert und karbonatisiert: primäre Eisen-Magnesia-Silikate sind, von Biotit abgesehen, nicht erhalten. Am Kontakt ist das Gestein sehr feinkörnig und zeigt Plagioklasmikroliten, Titanomagnetitoktaeder und einige kurzprismatische Olivin pseudomorphosen von 50 bis 200 Mikron Durchmesser in einer feldspathreichen, von Chlorit durchfilzten und mit Erzskelotten und Karbonatflimmern durchsetzten Basis. Auf die Gangmitte zu wird



das Gestein gröber kristallin und es zeigt, ausser stark zonaren, unregelmässigen Plagioklasleisten, einige etwas besser erhaltene Plagioklaseinsprenglinge die bis 60 An enthalten. Das Erz, in Form von Titanomagnetitoktaedern und untergeordneten Ilmenitleisten, ist ausserordentlich reichlich; ebenso der Apatit welcher, ausser grösseren Prismen, eine Unmenge feinsten Nadelchen bildet die sich stark an dem Filz beteiligen der die feldspathreiche Basis durchzieht. Olivin und möglicherweise vorhanden gewesener Pyroxen sind vollständig chloritisiert und karbonatisiert. Braunroter Biotit in kurzen, zumeist an Erz angeschlossenen Blättchen ist gut entwickelt und verleiht dem Gestein hier ein besonderes Gepräge. — Sehr wahrscheinlich würde



eine chemische Analyse Ergebnisse zeitigen die sich mit denen, an andern jungen Doleritgängen des Oslogebiets gewonnenen, gut vergleichen liessen. Es handelt sich ja dabei, und zwar auch in einfachen Gängen, um sehr apatit- und erzeiche Olivintrachydolerite (cf. W. C. BRØGGER, 1932, S. 80—88; 1933, S. 115—118).

Es kann sein, dass die reichliche Biotitbildung auf die besondern Abkühlungsbedingungen, die durch den Nachschub des Porphyrs verursacht wurden, zurückzuführen ist. In einem so schwächtigen Gang wäre nämlich, nach Beendigung der Hauptkristallisation, die Temperatur schnell abgesunken, sodass die autometamorphe Biotitgeneration, die auf Kosten von Alkalifeldspath, Erz und Olivin zustande kommt, bald unterdrückt worden wäre. An eine Biotitbildung durch Stoffzufuhr (K, H, F) aus dem Porphyr ist weniger zu denken. Dies erhellt daraus, dass der Porphyr reich an kleinen Pyritwürfelchen ist die an der Grenze zum Dolerit sofort sehr selten werden. Wenn S nicht diffundiert hat, so ist nicht einzusehen, warum andere flüchtige Komponenten dies getan haben sollten, von schwerflüchtigen (siehe Thermodiffusionshypothese) ganz zu schweigen.

Der Granitporphyr führt 15 bis 20 Prozent Feldspatheinsprenglinge. Es handelt sich um zumeist durch (010) und (100) begrenzte, im Querschnitt grossenteils rechteckige Alkalifeldspäthe von niedrigem Brechungsindex. Sie sind stark durch winzige Einschlüsse getrübt. Ihre kurz verzwillingte, in geeigneten Schnitten schachbrettartige Albitkomponente wiegt so stark über die Kalifeldspathkomponente vor, dass man an Albitisierung denken möchte, ohne sie jedoch beweisen zu können. Der Feldspath ist von vereinzelt, kleinen, chloritisierten Biotitblättchen begleitet, sowie von prismatischen Pseudomorphosen eines Augit-oder Hornblende-minerals das gänzlich in sphärolitischen, stark in grün und gelb pleochroitischen Chlorit umgewandelt worden ist. Dazu gesellen sich noch grössere Apatitprismen, Erzleisten und Zirkonkristalle. — Die Grundmasse besteht aus kurzprismatischen Alkalifeldspäten von 30 Mikron Länge. Auch sie zeigen starke Trübung und kurze Albitzwillinge. Deutliche Perthitstrukturen konnten darin nicht entdeckt werden. Diese Feldspathleistchen sind durch Zwickelquarz verkittet, der über grössere Bereiche einheitlich auslöscht. Die Struktur ist mikrogranitisch-fluidal. Wie schon erwähnt, beobachtet man in der Basis viele Pyritwürfelchen und auch eine Durchstäubung mit winzigen Chloritschüpp-

chen und opaker Substanz. Das Gestein erinnert einerseits an quarzreiche Nordmarkitporphyre und andererseits, in Bezug auf die Grundmasse, an quarzreiche Lindöite. Es mag hier einfach als Granitporphyr bezeichnet werden. Eine  $\text{SiO}_2$ -Bestimmung durch Herrn B. BRUUN ergab 72.72 %  $\text{SiO}_2$ .

In den Apophysen und in der Kontaktzone zeigt die Grundmasse oft eine federige, felsitische Struktur. Die Einsprenglinge von rotbraunem Biotit sind hier besser erhalten und auch die Feldspatheinsprenglinge sind oft weniger trüb. Sie zeigen eine sehr feine, fast submikroskopische Albitverzwillingung in Schachbrettmanier. Durch die Entwicklung von zahlreichen, im Dünnschliff strichförmig erscheinenden Biotitschuppen erhält das Gestein eine etwas grauere Farbe als das weiter vom Kontakt ab gelegene.

Die im Dolerit selbst liegenden Alkalifeldspäte sind sehr stark korrodiert und zeigen an den Rändern und zuweilen auch im Innern angeschmolzene Partien. Sie sind jedoch sonst viel klarer als die Einsprenglinge im Porphyr, zeigen zwischen gekreuzten Nicols oft einen schwachen Zonenbau, eine leicht chagrinierte Auslöschung und, von fleckigen Partien ausgehende, submikroskopische Albitlamellierung. Manche sind Karlsbader Zwillinge. Ihr positiver Achsenwinkel schwankt zwischen  $45^\circ$  und  $75^\circ$  und man hat es höchstwahrscheinlich mit einem natronreichen Cryptoperthit zu tun. Vielleicht hat er sich deshalb im Dolerit besser als im Granitporphyr erhalten, weil die hydrothermalen Agentien im ersteren durch Reaktionen mit den fem-Silikaten rasch verbraucht wurden.

### *Schlussfolgerungen.*

Aus dem Mitgeteilten scheint Folgendes hervorzugehen:

(1) Die Eruptivspalte ist zuerst von leicht porphyrischem, in Kristallisation begriffenem Trachydoleritmagma ausgefüllt worden, das an der Ganggrenze sofort zu dichtem Basalt abgeschreckt wurde, während die einwärts gelegenen Teile langsamer und etwas gröber kristallisieren konnten.

(2) In einem Stadium, in welchem die Mitte des Doleritganges in mindestens 30 cm Breite noch grossenteils flüssig war, drang ein porphyrisches, d.h. nicht überhitztes, granitisches Magma in den sich erweiternden Gang. Der neue magmatische Keil setzte sich dorthin,

wo er den geringsten Widerstand fand, also in die noch unverfestigte Gangmitte. Natürlich musste die, in einem teigigen Milieu angelegte Spalte etwas unregelmässig verlaufen, sodass es einerseits zur Ausbildung von Apophysen, und andererseits zur Abtrennung von Doleritklümpchen kam. Vielleicht ist sogar eine gewisse Menge Dolerit des ursprünglichen Ganginnern von dem eindringenden Porphyrmagma vor sich her geschoben und an den, schon versteiften Sahlbändern entlang gewälzt worden.

(3) Offensichtlich war das saure Magma etwas kühler als der kristallisierende Dolerit, denn es rief an dessen Kontakt die Bildung einer feinkristallinen Membran und, in seinem Innern, eine beschleunigte Hauptkristallisation hervor. Trotzdem muss es leichter flüssig gewesen sein als der Dolerit, denn es war ja imstande diesen zu durchdringen. Anfänglich gebildete blinde Risse, Apophysen die das Porphyrmagma nicht zum Weiterfliessen brauchen konnten, wurden später zum Teil wieder zusammengestaucht in dem Bemühen den Querschnitt des Zirkulationskanals so weit und so gleichmässig wie möglich zu halten. So sind nach uns die Schlieren im Dolerit zu deuten: sie stellen abgequetschte Apophysen dar.

(4) Es ist auch denkbar dass die im Dolerit vereinzelt auftretenden, korrodierten Alkalifeldspäthe diesem durch eine mechanische Mischung einverleibt wurden, derart, dass sie, durch Apophysen hereingeschwemmt, in der viskosen Haut des Dolerits hängen blieben, während die begleitende Schmelze aus dem zusammengepressten Teig wieder ablief. Ein solcher Mechanismus ist im vorliegenden Fall öfters angedeutet, da Fremdeinsprenglinge in der unmittelbaren Nachbarschaft oder in der Verlängerung von auskeilenden Apophysen besonders häufig im Dolerit anzutreffen sind. Er wäre imstande eine bis heute schlecht geklärte Frage zu lösen, die nämlich auf welche Weise Einsprenglinge aus einem sauren Porphyr in ein Doleritmagma gelangen können, ohne dass zu gleicher Zeit eine nennenswerte Hybridisierung der Grundmasse des Dolerits eintritt. Diese Frage stellt sich in vielen andern gemischten Gängen.

Nach den Ausführungen BRØGGERS (1932) treffen die hier geschilderten Verhältnisse auch auf die (von uns nicht untersuchten) Quarzporphyr-Doleritgänge des Oslogebiets zu.

Wie steht es jedoch mit den Gängen, in welchen der Übergang zum basischen Sahlband allmählicher ist und insbesondere mit den Glim-

mersyenitporphyr-Doleritgängen des Oslogebiets, die als Beispiele von Thermodiffusionsdifferentiation bezeichnet worden sind?

A. Stellen wir zunächst einmal fest dass gewisse, sonderbare Charaktere, so der symmetrische Bau, die regelmässige Folge basische Randzone-saure Mitte und auch das oft scharenweise Auftreten von gleichartigen, gemischten Gängen zwar auffallend sind und eine Erklärung erheischen, dass diese Charaktere jedoch nicht zu Gunsten einer Differentiation an Ort und Stelle ausgelegt werden können. Sie kommen, wie schon gesagt, ebensowohl bei den Gängen vor, in welchen das saure Magma das basische durchdrungen hat, wie in dem hier besprochenen Fall, in den Osloer Quarzporphyr-Doleritgängen, in den Gängen des zweiten JUDD'schen Typs von Arran, in den von HARKER (1904) so ausführlich beschriebenen Gängen von Skye, in dem gemischten Lagergang von Glasdrumman (TOMKEIEFF & MARSHALL, 1935) und in vielen andern.

B. Es gibt sodann eine Reihe von Gründen die der Differentiation durch Thermodiffusion direkt widersprechen und auch für die Gänge mit gleitendem Übergang gelten: (1) Das Mächtigkeitsverhältnis basisches-saures Gestein ist oft in ein und demselben Gang nicht konstant und es ist so, dass innerhalb einer Gangschar schwache Gänge relativ starke basische Ränder haben können, während diese in mächtigen Gängen oft sehr dünn sind. (2) Den in den gemischten Gängen auftretenden Gesteinen entsprechen in denselben Eruptivprovinzen, d.h. unter denselben äusseren Bedingungen, einfache Gänge oder auch grössere Massen, welche nicht die geringste Differentiation zeigen. (3) Der randliche Dolerit ist in allen Fällen am Nebengestein abgeschreckt, dicht. Er dringt oft in ebenso abgeschreckten Apophysen in das Nebengestein ein. Da diese Spalten gleichzeitig mit der Hauptspalte entstanden sind, kann kein Zweifel daran bestehen, dass der Dolerit in dieser Form intrudiert worden ist. Für seine Entwicklung durch Diffusion hat offenbar gar keine Zeit zur Verfügung gestanden.

C. Zuletzt muss über den, immer wieder als Beweis für Diffusion angeführten, sogenannten kontinuierlichen Übergang in den Osloer Glimmersyenitporphyr-Trachydoleritgängen das Folgende gesagt werden: (1) Was die chemische Variation anbelangt, so kann eine solche auch durch Mischung zweier Magmen zuwege gebracht werden. Es wäre dann so, dass sehr kontrastierte Schmelzen wegen der Unter-

schiede in ihrer Verfestigungstemperatur schwerer mischer sind, wie z. B. in den Quarzporphyr- oder den Granitporphyr-Doleritgängen in welchen, wie wir gesehen haben, das kühle, porphyrische saure Magma im doleritischen Magma eine beschleunigte Kristallisation auslöst. Wenn dagegen, wie in den Glimmersyenitporphyr-Doleritgängen, die Differenz in den Verfestigungstemperaturen geringer ist, dann bewahren beide, im Kontakt befindliche Schmelzen eine ähnliche Viskosität und es kommt zwischen ihnen, beim Eindringen des sauren Magmas, eine bessere Mischungszone zustande. (2) Was die mineralogische Variation anbelangt, so beweist sie direkt dass die Übergangszone einem hybridisierten Gestein entspricht. Diese Tatsache wurde lange durch eine oberflächliche Darstellungsweise verwischt. So zeigt z.B. VOGT's Abbildung (1893) ausser einem Übergang der Grundmasse auch eine, anscheinend stetige Zunahme der Zahl der Feldspatheinsprenglinge vom Sahlband auf die syenitische Füllung hin. Da es sich dabei um zweifellos intratellurisch gebildete Kristalle handelt, ist jedoch nicht einzusehen was ihre Häufigkeitszunahme mit Diffusion zu tun haben kann. Bei näherer Überlegung geht im Gegenteil daraus hervor, dass eine Variation in der Zusammensetzung der zugeführten Magmen vorliegt. — Sodann zeigen die von J. A. DONS beschriebenen Schiffe BRØGGER's, dass die Einsprenglinge des doleritischen Sahlbandes und seiner Apophysen Labrador sind. In der Übergangszone gesellen sich zu ihnen stark korrodierte Kalifeldspäte die dem Syenitporphyr entstammen. Dem letzteren schliesslich fehlen die Labradore des Dolerits.

Wenn somit die Unhaltbarkeit der Thermodiffusionshypothese in Bezug auf gemischte Gänge bewiesen scheint, so bleibt doch zu erklären wie gemischte Gänge zustande kommen. — Sicher ist, dass sie das gleichzeitige Vorhandensein verschiedener Magmen innerhalb eines engeren Bereichs der Erdkruste zur Voraussetzung haben, eine Forderung, die in allen bekannten Fällen erfüllt ist, indem sie immer von reinen Gängen, Intrusivmassen oder Laven der sie zusammensetzenden Gesteine begleitet werden. Was hingegen die Art der Anordnung dieser Schmelzen betrifft, so ist darüber wohl theoretisiert worden, doch ist nichts Sicheres bekannt. Wir hätten diesen Punkt auch nicht weiter berührt und nur auf die Notwendigkeit eingehenderer Untersuchungen hingewiesen, wenn uns nicht, beim Einreichen dieser Notiz, eine Arbeit von C. OFTEDAHL (1957) bekannt

geworden wäre, der dazu letztthin Stellung genommen hat und zwar im Hinblick auf einige, von V. M. GOLDSCHMIDT (1911) erwähnte Quarzporphyr-Doleritgänge im Dach des Granitlakkoliten südlich von Drammen.

Diese Gänge stehen in genetischem Zusammenhang mit der Granitintrusion, wie auch die von W. C. BRØGGER (1932, 1933) behandelten. Wie schon gesagt hat BRØGGER sehr bald zugegeben, dass der Dolerit und der Quarzporphyr nacheinander in die Spalten eingedrungen sind. Seiner zuerst geäußerten Meinung nach (die er erst 1933 revidiert hat, siehe weiter unten), entstammten beide Schmelzen einem gemeinsamen Herd. Der Dolerit enthält nun Einsprenglinge die zweifellos aus dem Quarzporphyr stammen und so fragte sich denn BRØGGER, ob er nicht eine Bodenschicht gebildet habe, in welche, aus dem überlagernden sauren Gestein, Quarz- und Orthoklaskristalle abgesunken seien. Nimmt man eine solche Erklärung an, so entsteht jedoch eine neue Schwierigkeit, denn der Dolerit muss dann durch das überlagernde, flüssige Quarzporphyrmagma hindurch als erster in die Spalten dringen und nach BRØGGER'S Eingeständnis ist das eine schwierige Annahme.

CHR. OFTEDAHL hat nun versucht einen Ausweg aus diesem Problem zu finden, indem er den Dolerit ins Dach des Granitlakkolithen versetzt. Und zwar meint er, dass der Granit imstande gewesen sei sein Dach bei geeigneter Zusammensetzung (Wenlockschiefer) aufzuschmelzen und es in einer Dicke von einigen Metern in doleritisches Magma zu verwandeln. Die in diesem vorhandenen Quarzeinsprenglinge bezeichnet er als unvollständig resorbierte Quarzkörner des eingeschmolzenen Schiefers. Beim Aufreißen von Spalten im Dach des Lakkoliten sei zuerst dieser Dolerit und dann der unterlagernde Granit eingedrungen. Seine Hypothese beruft sich auf Beobachtungen von Bergleuten und von V. M. GOLDSCHMIDT (1911, S. 68—82), nach welchen im Gebiet der Erzlagerstätten von Konnerud eine Reihe Doleritgänge in der Tiefe einen Kern von Quarzporphyr oder körnigem Granit aufweist, der in direkter Verbindung mit dem unterlagernden Biotitgranit stehen soll. Uns scheint sie unannehmbar zu sein.

Wir mögen zuerst bemerken, dass die porphyrische Natur des sauren Magmas, welches den Wenlockschiefer zu Dolerit eingeschmolzen haben soll, eine Überhitzung ausschliesst. Es ist kaum angängig dies zu vernachlässigen und darauf hinzuweisen, dass anderwärts im

Oslogebiet ein Syenit die Bildung von Sanidin im Nebengestein hervorgerufen hat, denn auch die dadurch angedeutete, anormal hohe Temperatur dieses Magmas liegt noch weit unter derjenigen, bei welcher ein Dolerit zu schmelzen beginnt. Im übrigen ist am ganzen Granitkontakt der Kollerud-Drammener Gegend, trotz ausgezeichneter Aufschlüsse, niemals irgendeine Andeutung von Aufschmelzung des Daches, geschweige denn die Bildung eines mehrere Meter mächtigen Doleritlagers bemerkt worden. Es ist nichtsdestoweniger gut, dass die Aufmerksamkeit wieder auf Goldschmidt's Beobachtungen gelenkt worden ist, die zu verfeinern es sich bestimmt lohnen würde. Ein kritisches Studium seines Berichts zeigt, (1) dass die Doleritgänge Spalten und Verwerfungen im Dach des Granits markieren; (2) dass, kurz nach der Invasion dieser Spalten durch doleritisches Magma, darin Quarzporphyrisches Magma aufstieg; (3) dass danach flüchtige Bestandteile denselben Spalten folgten und eine Mineralisation im Nebengestein und auch im Dolerit (nach VOGT) verursachten, (4) dass eine solche Mineralisation am Hauptkontakt des Granits bei Konnerud fehlt, und dass deshalb das Aufsteigen dieser Dämpfe vor der Hauptplatznahme des Granits liegt. Damit ist die Zerspaltung des Lakkolitendaches und die Bildung der Doleritgänge als ein ziemlich frühzeitiges Phenomen gekennzeichnet, das sich an den Beginn der Granitintrusion gestellt hat, wenn es ihr nicht sogar kurz vorausgegangen ist. Auch die Meinung, die Fremdeinsprenglinge im Dolerit seien einem eingeschmolzenen Gestein entlehnt, können wir nicht teilen, umso weniger als sie ein wichtiges Zeugnis für die Entstehungsweise gemischter Gänge beseite schiebt. Neben den vorherrschenden Quarzeinsprenglingen kommen in den doleritischen Randfazien der Quarzporphyrgänge (nach BRØGGER, 1932, S. 62) auch korrodierte Orthoklaskristalle vor, die jedenfalls nicht dem eingeschmolzenen Schiefer entstammen können, die jedoch im Quarzporphyr vorhanden sind. Im Frognergang enthält der Dolerit nur die Alkalifeldspatheinsprenglinge des zentralen Granitporphyre, keinen Quarz. In den Osloer Syenitporphyrgängen kommen im randlichen Dolerit nur die Minerale als Fremdeinsprenglinge vor, die der zentrale Porphyre enthält und sie sind auch von derselben Grösse und Form. Auch in den schottischen und den irischen gemischten Gängen scheint es allgemein so zu sein, dass die basischen Randgesteine nur solche Fremdeinsprenglinge aufweisen, wie sie im vergesellschafteten sauren Gestein vorkommen.

Mit dieser Frage hat sich HARKER (1904), bei seiner Untersuchung der Gänge von Skye etwas ausführlicher befasst. Er unterscheidet dort zwei Gruppen von Fremdkristallen: solche die im Dolerit gleichmässig verteilt sind und solche, die lokal, und zwar am Kontakt Dolerit-Porphyr vorkommen. Die erste Gruppe muss frühzeitig in den Dolerit gelangt sein, wahrscheinlich in tieferen Teilen der Spalte. Die zweite wird, wie von uns aufgezeigt, dem Dolerit beim Nachdringen des Porphyrs an Ort und Stelle einverleibt.

Falls die letztere allein vorhanden ist, kann man mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen, dass doleritisches und saures Magma getrennten Herden entstammen die von derselben Spalte angeschnitten worden sind. Es muss ja keineswegs so sein, dass diese Herde sich in der Kruste überlagerten. Wie die beschränkte Ausdehnung der Intrusivkörper in den oberen Stockwerken der Erde zeigt, sind die Herde hier von seitlich eng begrenzter Ausdehnung und sie können in demselben, oder in nicht sehr verschiedenen Niveaus sehr wohl von einer Spalte getroffen werden. In diese wird dann zuerst das leichtflüssigste Magma, der Dolerit, eindringen bis die Spalte so stark aufgewärmt ist, dass das saure Magma darin keine Hitzeverluste leidet und vielleicht sogar an Viskosität verliert. Es wird dann durch seine geringere Dichte den Vorteil über das basische erringen und die Mitte der sich erweiterenden Spalte einnehmen.

Falls eine frühzeitige Hybridisierung vorliegt (erste Gruppe Fremdkristalle) so mögen beide Magmen schon in der Tiefe im Kontakt gewesen sein. Es kann auch so sein, dass die Spalte zuerst einen sauren Herd angeschnitten hat und dann erst, bei weiterer Ausbreitung, einen basischen, sodass der Dolerit in den tieferen Teilen der Gänge einen Porphyr durchdringen musste, und sich dabei mit ihm vermischte.

Im Oslogebiet scheint der Dolerit der gemischten Gänge eine ziemlich konstante Zusammensetzung zu haben. Nach der letzten Arbeit BRØGGERS zu diesem Thema (1933, S. 118, S. 143—147) «zeigen die Sahlbänder der Quarzporphyrgänge (und z. T. auch diejenigen der grossen Syenitporphyrgänge) chemische Zusammensetzungen, welche mit denjenigen der jüngsten Diabasgänge des Oslogebietes auffallend gut übereinstimmen» und «Die chemische Zusammensetzung der jüngsten Diabasgänge des Oslogebietes ist aber sehr nahe übereinstimmend mit derjenigen der ältesten Eruptivgesteine desselben, der Gesteine der Essexitreihe.» BRØGGERS' Worte treffen wohl das



Richtige: alkalibasaltisches Magma ist stets, in unbeschränkten Mengen, durch die lange Entwicklungsgeschichte des Gebiets hindurch vorhanden gewesen. — Wenn es sich, im Verlaufe der Zeit, in den oberen Stockwerken dieses Krustenstreifens nur noch dann manifestierte, wenn plötzliche, Spalten auslösende Bewegungen auftraten, dann deshalb, so glauben wir, weil es, bei langsameren Ereignissen, denen auch viskosere Schmelzen Folge leisten konnten, diesen gegenüber, die immer saurer und leichter wurden, infolge seiner grossen Dichte benachteiligt war.

#### ANGEFÜHRTE SCHRIFTEN

- BECKER, G. F., 1897: Some queries on rock differentiation. — Amer. J. of Sc., vol. III, p. 21—40.
- BRØGGER, W. C., 1882: Die silurischen Etagen 2 und 3 im Kristianiagebiet. Universitätsprogramm Kristiania.
- , 1890: Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der süd-norwegischen Augit- und Nephelinsyenite. — Zsch. f. Kristallogr. u. Miner., Bd. 16.
- , 1894: Die Gesteine der Grorudit—Tinguait-Serie. — Vidensk. selsk. Skr. I. Math. Nat. Kl. no. 4.
- , 1897: Das Gangfolge des Laurdalits. — Vidensk.selsk. Skr. I. Math. Nat. Kl., no 6.
- , 1932: Über verschiedene Ganggesteine des Oslogebietes. — Skr. Vidensk. Akad. Oslo, Math. Nat. Kl. no. 7.
- , 1933: Die chemische Zusammensetzung der Eruptivgesteine des Oslogebietes. — Skr. Vidensk. Akad. Oslo, Math. Nat. Kl., no. 1.
- BÜCKING, H., 1887: Mitteilungen über die Eruptivgesteine der Sektion Schmalkaden. — Jahrb. preuss. geol. L.—A., S. 119—139.
- DONS, J. A., 1952: Compound volcanic neck, igneous dykes and fault zone in the Ullern—Husebyaasen area, Oslo. — Skr. Vidensk. Akad. Oslo, Math. Nat. Kl., no. 2.
- HARKER, A., 1893: Berthelot's principle applied to magmatic concentration. — Geol. Mag., 3d ser., X, p. 546—47.
- , 1894: The gabbro of Carrock Fell. — Q. J. geol. Soc., London, vol. 50, p. 324—29.
- , 1904: The tertiary igneous rocks of Skye. — Mem. geol. Surv. United Kingdom. Glasgow.
- JUDD, J. W., 1893: On composite dykes in Arran. — Q. J. geol. Soc. London, vol. 49, p. 536.
- KEILHAU, B. M., 1823: Mag. f. Nat. 1823b, 1.
- LORETZ, H., 1887: Über das Vorkommen von Kersantit und Glimmerporphyrin in derselben Gangspalte. — Jahrb. preuss. geol. L. A., S. 100—118.
- LYELL, CH., 1841: Elements of Geology. Sec. ed. — London.

- OFTEDAHL, CHR., 1957: Origin of composite dikes. — Skr. Vidensk. Akd. Oslo, Math. Nat. Kl. no. 2.
- PRINGSHEIM, 1880: Zschr. d. deut. geol. Ges., B. 32, S. 111.
- TEALL, J. J. H., 1888: British Petrography; chap. 13. — London.
- TOMKEIEFF, S. I. & MARSHALL, Ch. E., 1935: The Mourne dyke swarm. — Q. J. geol. Soc. London, vol. 91, pp. 271—283.
- VOGT, J. H. L., 1891: Om dannelsen af de vigtigste i Norge og Sverige repræsenterede grupper af jernmalforekomster. — Geol. För. Förh. Stockholm, 5. 46—536.
- , 1893: Bildung von Erzlagerstätten durch Differentiationsprozesse in basischen Eruptivmagmata. — Zsch. f. prakt. Geol., S. 4—5 u. S. 271—284.
- WAHL, W., 1946: Thermal Diffusion-convection as a cause of Magmatic Differentiation I. — Amer. J. of Sc., vol. 244, p. 417—441.
- WEISS, E., 1883: Petrographische Beiträge aus dem nördlichen Thüringer Walde. — Jahrb. preuss. geol. L. A., S. 213—237.