PETROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN AM GRANIT VON SEPT-LAUX
(Belledonne-Massiv s. l.).

Mitteilung Nr. 1.

ZUR STEREOMETRIE UND ENTSTEHUNG DER APLIT-, GRANIT- UND PEGMATITGÄNGE IM GEBIETE VON SEPT-LAUX (BELLEDONNE-MASSIV S.L.)

VON

E. NIGGLI

Seit 1949 ist das Geologisch-Mineralogische Institut der Reichsuniversität Leiden, (und zwar dessen Mineralogisch-Petrographische Abteilung, Leitung Prof. Dr. E. NIGGLI) mit Untersuchungen am Granitmassiv von Sept-Laux (Belledonne-Massiv, Frankreich) beschäftigt. Diese haben als Ziel, einen kleinen Beitrag zu liefern zum Versuche der Lösung eines der wichtigsten petrogenetischen Probleme, nämlich der Frage nach der Entstehung von granitischen Gesteinen und Massiven. Zu diesem Zwecke wurde ein Teil des zentralen Granites des Belledonnemassivs im Masstabe 1:10000 kartiert, wobei besonders interessante Stellen mit dem Messtisch im Masstabe 1:100 bis 1:1000 aufgenommen wurden. Mehr als 800 Handstücke wurden gesammelt und untersucht; von 100 Handstücken wurden chemische Analysen angefertigt, um ein so genau mögliches Bild der petrochemischen Verhältnisse zu erlangen. Tausende von Kluftmessungen wurden ausgeführt und an zahlreichen Proben gefügekundliche Untersuchungen angestellt. Ueber diese und andere Terrain- und Laboratoriumsarbeiten wird später von meinen Mitarbeitern ausführlich berichtet werden. In der vorliegenden ersten Mitteilung soll nur *ein* Detailproblem behandelt werden, nämlich die Anwendung stereometrischer Kriteria bei der Lösung der Frage, wie die Aplit- bis Pegmatitgänge des Sept-Laux-Gebietes entstanden sind.

Die Wahl des Arbeitsgebietes für unsere Granit-untersuchungen fiel aus den folgenden Gründen auf die hochalpine Region von Sept-Laux (± 2000 m über Meer): die Aufschlüsse sind im allgemeinen hervorragend und ausgedehnt, da Vegetation kaum stört; ferner sind die Gesteine im allgemeinen sehr frisch und wenig verwittert. Als Nachteil muss in Kauf genommen werden, dass die alpine Gebirgsbildung nicht spurlos an den Gesteinen vorbeigegangen ist. Der wohl herzynische Granit von Sept-Laux zeigt mikro- und makroskopisch zahlreiche Erscheinungen der späteren alpinen Dislokations-metamorphose und Orogenese. Immerhin ist zu bemerken, dass die alpine Gesteinsumwandlung hier bedeutend geringere Ausmasse als in den schweizerischen Zentralmassiven annahm.

Die Untersuchungen wurden finanziell ermöglicht durch die „Niederländische Organisation für reinwissenschaftliche Forschung (Z. W. O.)". Wir mochten an dieser Stelle der Stiftung und Ihrem Direktor, Herrn J. H. BANNIER, unseren herzlichsten Dank für die grosszügige Unterstützung aussprechen.

Zu besonderem Danke verpflichtet sind wir ferner der Direktion und den Angestellten der „Electricité de France". (Service nationale), im besonderen der „Groupe Maurienne" dieser Organisation. Im Stauseegebiet von Sept-Laux durften wir immer auf die Hilfe der Organe der E. d. F. rechnen: das Chalet am nördlichen Lac Cottepens diente uns während vieler Wochen als „Hauptquartier" und die Güter-Seilschwebebahn von Fond-de-France nach Lac Carré transportierte manche Zentner unserer Gesteinsproben.

Bei den Terrainarbeiten während der Sommer 1949 und 1950 wurde ich tatkräftig unterstützt von den folgenden Studenten der Geologie und Petrologie an der Universität Leiden: H. A. Groen, A. H. van der Veen, A. C. Tobi, S. P. Althuis, A. H. Verbraeck, R. Lagaaij. Es ist mir ein Vergnügen, den genannten Mitarbeitern herzlichst zu danken für ihre Mithilfe, die ganz im Zeichen des „team-work" stand, welch letzteres bei detaillierten, vielseitigen und ausgedehnten petrologischen Terrainuntersuchungen ganz unerlässlich geworden ist.

Bevor zum eigentlichen Thema übergegangen werden soll, sei kurz die Geologie und Petrographie des Belledonnemassivs skizziert, in welchem das Untersuchungsgebiet von Sept-Laux sich befindet. [Siehe dazu auch: M. Gignoux und L. Moret (1952)]. Das östlich und nordöstlich Grenoble gelegene Belledonne-Massiv s. l. (d.h. das Belledonne-Massiv der Geologen), welches sich als langgestreckte tektonische Zone von Beaufort bis südlich des Mont Tabor erstreckt, gehört zu den herzynischen Massiven der helvetischen Zone der Alpen, die im französischen Teil der Alpen auch „zone externe des Alpes" genannt wird. Wie beim schweizerischen Zentralmassivkern (Aar- und Gotthardmassiv) und wie beim Mont-Blanc- und Aiguilles-Rouges-Massiv, handelt es sich beim Belledonnemassiv um das Zutagetreten des praetriadischen Unterbaus der Externzone, der in einer spätalpinen Phase zusammen- und aufgepresst wurde. Perm (Grès d'Allevard, nur im mittleren und westlichen Massiv entwickelt) und Stephanien (inkl. Westphalien D) liegen diskordant auf älteren Gesteinen, dem Altkristallin (mit seinen granitischen und basischen Plutonen). Noch nicht sicher abgeklärt ist die Bedeutung spätherzynischer, poststephaner, aber praetriadischer Faltungen. Nach noch unveröffentlichten Untersuchungen von A. C. Tobi dürfte es sich bei diesen spätherzynischen Phasen mehr um bruchtektonische Erscheinungen gehandelt haben (ganz ähnlich wie in den Vogesen), mit Ausnahme des „Houiller"-Gebietes von Laffrey-La Mure, wo spätherzynische, eigentliche Faltungen sichergestellt sind.

Die Altersbestimmung der *vor*stephanen Faltung hängt von der Altersbestimmung des Kristallins („série cristallophyllienne" der französischen Geologen) ab. P. und C. Bordet (1953) haben kürzlich die Hypothese aufgestellt, dass die gesamte Masse des sedimentogenen Kristallins, d.h. alle Paragesteine des Grundgebirges, Karbonalter (und zwar natürlich vorstephanes Alter, d.h. Dinantien und Westphalien A, B, C) besässen. Diese Auffassung steht im Gegensatz zur Meinung der meisten Schweizerpetrographen, die heute den grössten Teil der Parametamorphite des Grundgebirges der herzynischen Zentralmassive für praekambrische Sedimente halten. Die Alterszuordnung der Paragesteine des Belledonne-Kristallins ist wohl noch nicht definitiv abgeklärt.

Lithologisch konnten wir die Paragesteine des Kristallins vorläufig in 3 Serien aufteilen:

1) Serie der grünen, grauen und schwarzen Schiefer (schistes verts, schistes gris et schistes carburés). Es handelt sich nach unseren mikroskopi-

schen Untersuchungen um Chloritsericitschiefer, Psammit- und Arkose-Sericitgneise, Chlorit-Aktinolithgneise und Schiefer, Grünschiefer, Phyllite, schwarze Phyllite und Dachschiefer. Die Serie enthält lokal prachtvolle Konglomerate (so im Tal des Tepey, SW von St. Colomban-des-Villards, nach unveröffentlichten Aufnahmen von H. KONING, sowie nördlich von La Villette bei Vaujany, nach W. OUDEMANS), Marmore, Serpentine, metamorphe Rhyolithe und Grünschiefer. Epimetamorph. Oft bändrig entwickelt; viele Gesteine sind reich an Albit. Kommt vor in der Gegend von Cevins, ist ferner prachtvoll aufgeschlossen in den Seitentälern westlich St. Colomban-des-Villards und kann auch westlich des Col du Glandon gut studiert werden. Wird durch den Granit von Cevins lokal migmatitisch injiziert. Es handelt sich wohl zu einem grossen Teil um vulkanische Tuffe und feinkörnige Grauwacken als Ausgangsmaterial.

2) Serie der Sericitschiefer bis Muskowitschiefer und Gneise. Ziemlich eintönig entwickelt, bildet die Hauptmasse des „rameau externe" (P. LORY) des Belledonnemassivs. Baut auch zu einem Teile die westliche Schieferhülle des Sept-Laux-Granites auf. Epi(bis meso-)metamorph. Mit Einlagerungen von Graphit-Muskowitschiefern und andern Gesteinen.

3) Serie der Zweiglimmer-schiefer und -Gneise, Biotitgneise und leptinitartigen Gneise. Manchmal granatführend; mit Einlagerungen von Amphibolit. Häufig als Bändergneise entwickelt. Hie und da migmatitisch ausgebildet (mit Quarz-Feldspat-Adern). Baut u. a. die östliche Schieferhülle des Sept-Laux-Granites auf. Mesometamorph.

Auffällig ist, verglichen mit den schweizerischen Zentralmassiven, die geringe Metamorphose (epizonal) vieler Parametamorphite des Belledonnemassivs. Es dürfte sich, zu einem Teil wenigstens, wohl um jüngere Gesteine handeln als in den erstgenannten Massiven. Alte Orthogneise konnten mit Sicherheit bislang nicht konstatiert werden.

Als Eruptivmassen treten im Belledonne-Massiv mehrere langgestreckte Granitkörper auf, von denen der bedeutendste der Sept-Laux-Granit = zentraler Granit ist. Das Alter der Granitbildung steht nicht mit Sicherheit fest, ist aber wohl herzynisch. Auf alle Fälle ist der Sept-Laux-Granit jünger als die Metamorphose der Para-Serien 2 und 3. In den Stephanien- und Westphalien D-Konglomeraten war es uns bisher nicht möglich, Gerölle des Sept-Laux-Granites zu finden; ferner ist zu bemerken, dass nirgends das Oberkarbon Granit überlagert. Eine Besonderheit des Belledonnemassivs stellen die drei mächtigen basischen und ultrabasischen Gesteinszonen (Amphibolite, Diorite, Gabbros und Serpentine) dar, wie sie in ähnlicher Bedeutung in keinem anderen Zentralmassiv der helvetischen Zone vorkommen. Die basischen Gesteine sind älter als die Granite; Gerölle der ersteren kommen im Stephanienkonglomerat vor. E. DEN TEX (1950) hat die basischen Gesteinsarten der Gegend der Lacs Robert genauer untersucht. Nach diesem Autor handelt es sich um syntektonische (? frühherzynische) Intrusionen von basischem und ultrabasischem Magma; die Gesteine zeigen prachtvolle protoklastische bis piëzokristalline Erscheinungen. Die Serpentinisierung der zentralen Peridotitmasse ist älter als Trias und jünger als Stephanien-Westphalien D, was auf sediment-petrographischem Wege wahrscheinlich gemacht wurde. Der basisch-ultrabasische Komplex zeigt Analogien mit der Ivreazone der Südalpen.

Als Ganggesteine kommen im Belledonnemassiv Granitporphyre, Mikrogabbros (= Diabase) und nach unveröffentlichten Aufnahmen von S. P. ALTHUIS und H. KONING auch (allerdings spärlich) Lamprophyre vor, letztere z. B. westlich des Col du Glandon. Im Innern des Massivs ziehen steilstehende

mesozoische Synklinalen durch (z. B. Mulde von Cevins), die eindrücklich die Bedeutung der alpinen Tektonik manifestieren. Grossartigen Schuppenbau von alpinem Alter zeigt die Region des Col de Merdaret (westlich Fond-de-France). Andererseits ist im Innern des Massivs manchmal sogar die Auflagerungsfläche des Westphalien D + Stephanien nur wenig alpin deformiert (z. B. Oberkarbon-kappe der Grande Lauzière).

Zur Geologie und Petrologie des Gebietes von Sept-Laux.

Fig. 1 gibt einen Ueberblick über den südlichen Teil des Belledonnemassivs; mit schwarz umrandet ist das Gebiet von Sept-Laux, das von uns zur Zeit bearbeitet wird.

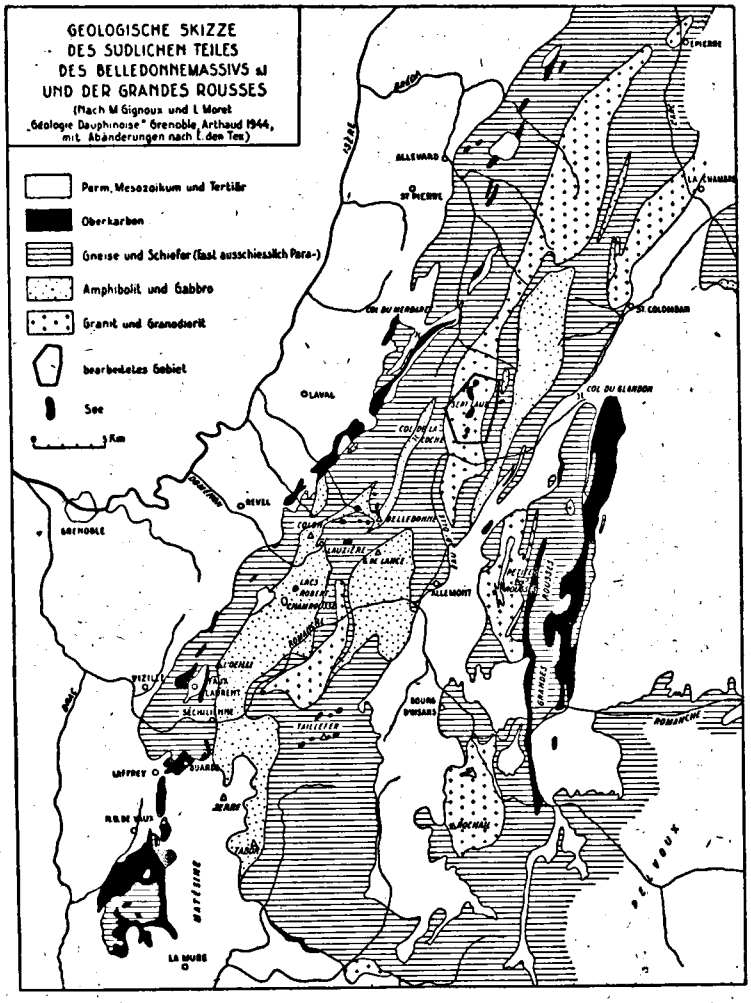


Fig. 1

Die geologische Karte „St. Jean-de-Maurienne", 1:80.000, 2. Auflage (1931) (Carte Géologique Détaillée de la France) enthält die Region von Sept-Laux. Die Kartierung des kristallinen Belledonnemassivs stammt von J. Orcel, der 1923/24 auch eine ganz kurze Notiz über seine Terrainarbeiten publizierte. Dies ist die einzige mir bekannte neuere Publikation, die sich näher mit der Geologie und Petrologie des Sept-Laux-Gebietes befasst, wenn wir von den glazialgeologischen Arbeit von A. Delebecque (1905) absehen.

Tafel I gibt in schematisierter Art und Weise unsere eigene Kartierung des Sept-Laux-Gebietes wieder und zwar den Stand der Aufnahmen im Jahre 1950. Seither wurde das kartierte Gebiet wesentlich vergrössert. Leider fehlt immer noch eine moderne topographische Karte der Region; unsere Kartenskizze ist basiert auf photographischen Luftaufnahmen des „Institut Géographique National" und auf eigenen Vermessungen. In Tafel I sind unsere wichtigeren Arbeitsfelder und Profile mit Buchstaben A, B usf. angegeben (es handelt sich hierbei um Aufschlüsse, die einer besonders detaillierten Untersuchung unterworfen wurden).

Das seenreiche Gebiet von Sept-Laux bildet eine Nord—Süd-Passverbindung des Tales der Eau d'Olle im Süden mit dem Tal der Bréda im Norden. Der Col des Sept-Laux (2184 m ü. M.) besitzt eine ausgedehnte Passhochfläche, die in eindrücklicher Weise durch die Gletscher modelliert ist. Die meisten Seen sind glaziale Felswannen, oft noch mit sekundärer Stauung durch Moränen. Der höchste Gipfel der Region ist der Rocher Blanc (2931 m). Künstlich aufgestaut (als Speicher für das Elektrizitätswerk Fond-de-France) sind die folgenden Seen: Lac Carré, Lac de la Motte, Lac Cottepens und Lac du Cos. Bei niedrigem Wasserstand (wie zum Beispiel während des sehr trockenen Sommers 1949) sind, vor allem im Lac Cottepens, einige vorzügliche Aufschlüsse zugänglich (z. B. Arbeitsfeld A, siehe Tafel I). Fig. 2 und Fig. 3 (am Schlusse der Arbeit) illustrieren die Landschaft und die Morphologie des Col des Sept-Laux.

Die Passhochfläche und ein Teil der westlichen Berggipfel (Pic des Cabottes, Pic de l'Apparence) werden aufgebaut von einem mittelkörnigen Biotitgranit bis Granodiorit, dem Sept-Laux-Granit. Der westliche Kontakt mit Muskowitschiefern streicht etwas östlich des Pic de la Belle Etoile durch. Der Westkontakt ist stark alpin mylonitisiert; immerhin konnte weiter südlich, bei Le Rivier, noch ein wohl primärer Diskordanzkontakt gefunden werden [A. H. van der Veen (1952)]. Die östlich der Seen von Sept-Laux gelegenen Gipfel (Rocher Blanc, Rocher Badon, Pyramide Inaccessible, Pic de l'Agnelin) werden ausnahmslos von Gesteinen der östlichen Schieferhülle aufgebaut, die aus Zweiglimmerschiefern und Gneisen, Amphiboliten, Biotitgneisen und quarz-feldspatreichen Gneisen besteht. Der primäre Intrusivkontakt ist auf weite Strecken prachtvoll erhalten (z. B. bei Arbeits-Profil H von Tafel I) und erwies sich zwar im Grossen als konkordant, im Detail aber häufig als scharf diskordant. Der Granit („granulite de Sept-Laux" der alten Geologen) selbst ist im zentralen Teil der Batholithen recht homogen und auch wenig alpin beeinflusst. Fig. 4 ist eine Aufnahme eines Granitrundhöckers im Lac Cottepens, der die gleich- und mittelkörnige Struktur des Gesteins recht deutlich wiedergibt. Basische Schmitzen und Einschlüsse kommen vor und aplitische Schlieren sind hie und da anzutreffen. Die genauere Beschreibung ist einer folgenden Mitteilung vorbehalten; hier sei noch erwähnt, dass mikroskopisch fast immer Myrmekit angetroffen wird.

Einen Einblick in die chemischen Verhältnisse gibt Analyse 1, die eine der vielen von uns angefertigten Analysen des Sept-Laux-Granites ist. Die

Analyse ist typisch für den normalen Biotitgranit bis Granodiorit des zentralen Teiles.

Analyse Nr. 1 (7151) *).

Biotitgranit, Sept-Laux, Lac Cottepens, Arbeitsfeld A (siehe Tafel I).

SiO_2	69,46 Gew. %	Niggli-Werte			
Al_2O_3	15,46	si	330	Q	50,4
Fe_2O_3	1,35	al	43	L	43,8
FeO	0,85	fm	15	M	5,8
MnO	0,06	c	8		
MgO	0,90	alk	34		
CaO	1,62	k	0,45		
Na_2O	4,00	mg	0,43		
K_2O	4,95				
H_2O+	0,56	Magmentypus: engadinitgranitisch (si niedrig!)			
H_2O-	0,08				
TiO_2	0,39				
P_2O_5	0,18				
Summe	99,86				

Analytiker:
Frl. B. Hageman
Petrochemisches Laboratorium des Geologisch-Mineralogischen Institutes der Universität Leiden.

*) Handstücknummer.

Als Randfazies tritt, vor allem in der Nähe des Ostkontaktes, ein etwas si-reicherer Zweiglimmergranit auf. Südöstlich des Lac des Cabottes (nordwestlich des Lac du Cos) fanden wir, mitten in Granit, ein Vorkommen von Hornblende-Biotitmonzonit (siehe Tafel I), welches von Granit durchadert wird und demnach älter ist. Lamprophyre wurden keine gefunden.

Die Detail-terrainaufnahmen zeigten bald, dass zonenweise der Sept-Laux-Granit reich an Nebengesteinschollen ist. Von der Besprechung dieser Schollen sei zuerst kurz auf die Felsarten der „Schieferhülle" eingegangen.

Im Osten grenzt an den Granit eine Serie von mesometamorphen Zweiglimmerschiefern bis Gneise, die z. T. als prachtvolle Bändergneise entwickelt sind. Glimmerreichere Schichten wechseln ab mit quarz- oder quarzfeldspatreicheren Bändern. Amphibolite sind nicht selten und besitzen Mächtigkeiten von wenigen Centimetern bis einigen Metern. Fig. 8 vermittelt einen guten Eindruck eines extrem stromatitischen Komplexes aus dieser Serie. In solchen bändrigen Partien sind stellenweise prachtvolle steile, spitze Falten („closed folds") zu sehen. Es handelt sich demnach um eine stark verfaltete Serie, und zwar ist die Mesometamorphose der Gesteine gleichaltrig oder jünger wie die Verfaltung, auf keinen Fall aber älter. Das Vorhandensein solcher starker Verfaltungen zeigt, dass bei stratigraphischen Interpretationen der kristallinen Serien des Massivs grosse Vorsicht geboten ist. Abgesehen von den Aplit- und Granitgängen, die die Gneise und Schiefer durchsetzen, ist die Beeinflussung der östlichen Schieferhülle durch den Granit relativ geringfügig. Injektionen

und Migmatitbildungen kommen vor, sind aber wenig bedeutend. Es ist auch möglich, dass ein Teil der Migmatitbildung älter als die Granitintrusion ist.

Der Granit durchbricht an manchen Stellen diskordant die Schieferung der Gneise; deren Paralleltextur und Mesometamorphose (sowie auch die Verfaltung) sind älter als die „mise en place" des Granitstockes.

Die westliche Schieferhülle besteht aus Sericit- bis Muskowitschiefern und Gneisen. Diese und auch die angrenzenden Granitbereiche sind stark alpin mylonitisiert.

Die schon erwähnten Gneisschollen im Granit, die sich zonenweise häufen, sind in zwei recht verschiedene Gruppen einzuteilen. Der grösste Teil dieser Gneisschollen (vor allem die im Westen) besteht aus gewöhnlichen quarzreichen Glimmerschiefern und Gneisen, die hie und da durch den Granit injiziert werden.

Von ganz anderer Zusammensetzung sind die Gesteinsarten der bis 200 m mächtigen Gneislinse, die sich westlich des Lac du Cos und Lac Jeplan hinzieht (siehe Tafel I). Die Gneismasse wurde schon von J. Oberl (1923/24) erwähnt. Mikroskopische Untersuchungen brachten ans Licht, dass es sich bei den weniger injizierten Typen um sehr quarzarme Hornblende-Biotitgneise (oft mit Na-Kaliumfeldpat *und* Plagioklas) handelt. Die Gneislinse zeigt in grosser Schönheit Erscheinungen der Injektion, Migmatitisierung und Einschmelzung; ferner sind Feldspatporphyroblasten (Na-Kaliumfeldspate) stellenweise stark gehäuft. Fig. 7 illustriert die genannten Phänomene. Die Migmatisierung wird durch den Sept-Laux-Granit verursacht, der hier im Bereich der Scholle in den Apophysen durch Assimilation wesentlich basischer geworden ist und eine mehr porphyrartige Struktur besitzt. Etwas jünger als die eigentliche Migmatitbildung sind Aplit-, Pegmatit- und Granitgänge, welche die migmatitischen Strukturen scharf abschneiden. Migmatitbildung und Aplitgänge sind aber *beide* genetisch mit dem Sept-Laux-Granit in Verbindung zu bringen.

Tafel II (ein Profil vom Pic de la Belle Etoile zum Col de l'Agnelin) soll die tektonischen Verhältnisse erläutern. Die Gneise der östlichen Schieferhülle fallen steil nach Osten ein (die früher erwähnten spitzen Falten sind nicht eingezeichnet), während die grosse Gneislinse direkt westlich des Col des Sept-Laux schon westliches Einfallen zeigt, was auch für die westlichen Kontaktgesteine gilt [weiter südlich hat allerdings A. H. v. d. Veen (1952) am Westkontakt andere Verhältnisse angetroffen]. Im hier gezeichneten Profil lässt sich demnach ein domartiger Bau erkennen, wobei allerdings die Frage offen bleibt, was an diesem Strukturbild alt und was erst später, anlässlich der alpinen Orogenese, entstanden und hinzugekommen ist. Ueber detaillierte granittektonische Untersuchungen im Sept-Laux-Gebiet wird in einer späteren Arbeit von H. Koning berichtet werden.

Wie schon kurz erwähnt, werden die östliche Schieferhülle, ferner die grosse Gneislinse westlich des Lac du Cos (mit den Arbeitsfeldern B, D, C auf Tafel I) und auch viele kleinere Schollen von zahlreichen Aplit-, Pegmatit- und auch Granitgängen durchsetzt. Der Granit selbst ist ausgesprochen arm an Aplitgängen, hingegen treten hier unregelmässige aplitische Schlieren, sowie dünne, häufig etwas unregelmässige Aplitgängchen auf.

Die prachtvollen Aufschlüsse führten uns dazu, eingehende Untersuchungen über die geometrische Form dieser Gänge und ihrer Wände anzustellen und zwar um damit etwas über die Genese dieser Bildungen (magmatische oder metasomatische Gänge) aussagen zu können. Von verschiedenen Autoren [G. C. Goodspeed (1940 und 1952), J. — L. Jaeger (1951),

B. C. KING (1948), E. NIGGLI (1952), R. PERRIN und M. ROUBAULT (1949)] ist ja in letzter Zeit auf den Wert geometrischer Kriteria für die genetische Beurteilung von Gängen hingewiesen worden. In meiner Arbeit: [E. NIGGLI (1952)] habe ich mich ausführlich mit der stereometrischen Seite des Problems auseinandergesetzt. Zum besseren Verständnis seien die dort publizierten Gedankengänge mit einigen Abänderungen und Ergänzungen im nachstehenden rekapituliert.

Stereomerie und Entstehung von Gängen.

In der neueren petrographischen Literatur wird nicht selten eine metasomatische Entstehungsweise für Gesteine angenommen oder zur Diskussion gestellt, die bislang meist anders, nämlich als mechanisch-intrusive, magmatische Bildungen gedeutet wurden. Dies gilt nicht nur für Granite und andere plutonische Gesteine mit stockartigem Vorkommen, sondern auch für Gänge, insbesondere für Aplite und Pegmatite. Man hat sich nun im Laufe der letzten Jahre mehrfach die Frage gestellt [G. E. GOODSPEED (1940, 1952), B. C. KING (1948), R. PERRIN und M. ROUBAULT (1949, 1952) u. A.], ob es geometrische Kriterien (Wandgeometrie etc.) gibt, die es uns möglich machen, bei Gangbildungen zwischen den beiden genannten und auch anderen Entstehungsweisen zu unterscheiden.

Man kann für die Entstehung von Gängen die folgenden extremen Möglichkeiten (Grenzfälle, Typen) auseinanderhalten, wobei ganz selbstverständlich in der Natur Uebergange und andere Komplikationen zu erwarten sind.

1) Ein Gang ist das Resultat einer mechanischen Intrusion einer mobilen Masse (z. B. Magma), welche in sich öffnende Spalten einer starren Gesteinsmasse hineindringt. Die einzelnen Nebengesteinsblöcke werden nicht verformt; es tritt ferner keine chemische Beeinflussung und Wechselwirkung zwischen Gang und Nebengestein auf. Wir können solche Gänge intrusive Dilatationsgänge nennen.

2) Ein Gang ist das Resultat einer metasomatischen Transformation einer gangförmigen Partie einer praeexistierenden Gesteinsmasse. Die Metasomatose („remplacement") vollzieht sich ohne die geringsten makrosopischen Bewegungen und Deformationen von tektonischem Charakter. Die bei der Metasomatose zugeführten Stoffe stammen von *ausserhalb* des Gesteinskomplexes, in welchem die Gänge entstehen (Exo-metasomatische Gänge).

3) Ein Gang ist das Resultat eines metasomatischen Prozesses wie bei 2), wobei aber die zur Metasomatose benötigten Stoffe aus dem Nebengestein selbst herstammen (sekretionäre metasomatische Gänge).

4) Ein Gang ist das Resultat einer Füllung von sich öffnenden Spalten, wobei aber, zum Unterschied von 1), das die Spalten füllende Material aus dem direkten Nebengestein stammt (sekretionäre Dilatationsgänge). Die Füllung und Oeffnung der Spalte vollzieht sich als langsamer Prozess; der Gang wird bei der Bildung fortwährend dicker.

5) Ein Gang oder Ader ist das Resultat einer mechanischen Injektion in eine Gesteinsmasse, wobei aber, zum Unterschied von 1), die Nebengesteinsmassen „plastisch" deformiert werden (häufig in Injektionsgneisen).

6) Ein Gang oder Ader ist das Resultat eines konkretionären Wachstums, wobei die wachsende Konkretion sich den nötigen Raum schafft, indem sie die Nebengesteinsmasse in einer plastischen Art und Weise von sich weg stösst [siehe z. B. H. RAMBERG (1952)].

Es sind dies natürlich nur Grenzfälle; ferner kommen Komplikationen vor. So kann einerseits die Metasomatose von bruchtektonischen Bewegungen begleitet sein; andererseits kann ein in Spalten eingedrungenes Magma die Wände stellenweise korrodieren, assimilieren und auch eigentliche metasomatische Erscheinungen sind an Wänden magmatischer Gänge möglich. G. E. GOODSPEED (1952) hat ferner darauf aufmerksam gemacht, dass es auch „rheomorphe" Gänge geben kann, welche primär als metasomatische Gänge entstanden sind, wobei aber in Schlussphasen das Gangmaterial wenigstens teilweise verflüssigt wurde, was zu Bewegungen im Gange, zu sekundären Injektionen etc. führen kann. Diese Bemerkungen mögen zeigen, dass bei allen Anwendungen von geometrischen und anderen Kriterien grosse Vorsicht geboten ist.

Im Nachstehenden soll ausführlicher nur auf die Unterscheidung der Möglichkeiten 1) und 2) eingegangen werden (Dilatationsgänge vom Intrusionstypus einerseits und metasomatische Gänge andererseits). Es sind dies ja diejenigen Typen, bei denen am ehesten als Resultat ein wirklicher Gang, von Plattenform mit einigermassen parallelen Wänden, zu erwarten ist.

Möglichkeiten 5) und 6) sind häufig ohne weiteres als solche zu erkennen, da ja „plastische" Deformationen in den einzelnen Nebengesteinsblöcken beobachtet werden sollten und zwar müssen diese Deformationen deutlich in Beziehung mit der Gang- oder Aderbildung stehen. Es wird sich aber hier häufig eher um Linsen, unregelmässige Adern und ähnliche Gebilde handeln; echte Gangform dürfte selten sein (siehe auch Fig. 23). Die Fälle 3) und 4) können geometrisch ununterscheidbar von den Möglichkeiten 2) und 1) sein. Immerhin ist zu bemerken, dass man eigentlich bei Möglichkeit 4) in den Nebengesteinsblöcken entweder eine stark poröse Textur oder Kollapserscheinungen (also Deformationen) erwarten sollte, da ja Stoffe aus dem Nebengestein in die Gänge gewandert sind. Bei Typus 3) ist denkbar, dass es sich einfach um einen Stoffaustausch handelt: einerseits wandern Stoffe in den Gang, andererseits tritt eine Migration in entgegengesetzter Richtung auf (vom Gang ins Nebengestein). Wenn dabei keinerlei Deformationen und Volumenänderungen auftreten, ist Typus 3) geometrisch ununterscheidbar van Typus 2).

Die prachtvollen Aufschlüsse von Aplit-, Pegmatit- und Granitgängen auf Sept-Laux führten mich zur Frage, ob hier mit geometrischen Kriterien etwas über die Genese ausgesagt werden könnte. Eine Durchsicht der neueren Literatur zeigte mir aber bald, dass in den meisten Arbeiten das Problem nur unvollständig behandelt ist und dass häufig der dreidimensionale Aspekt stark vernachlässigt worden ist [E. NIGGLI (1952)].

Der Geologe verfügt im allgemeinen im Terrain nur über zweidimensionale Beobachtungsflächen. Es ist nur selten möglich, ein exaktes dreidimensionales Bild eines Ganges und seiner Nebengesteinsmasse zu erlangen. Zum besseren Verständnis müssen aber zuerst die Kriterien (A und B) besprochen werden, die angewendet werden könnten, wenn uns die dreidimensionale Gestalt des Ganges oder Gangsystemes im Detail bekannt wäre, was, wie erwähnt, wohl fast nie der Fall sein wird.

Die Kriterien für *mechanisch-intrusive Dilatationsgänge* vom Typus 1) sind dann die folgenden:

A 1. *Kriterium der vollkommenen Kongruenz* der Wandflächen. Die Wandflächen des Ganges müssen kongruent sein, d.h. sie müssen nach der Art einer „souche" genau aufeinander passen. Jede geometrische Unregelmässigkeit der einen Wand muss ihr Gegenstück, „pendant", an der anderen

Wand besitzen. Nehmen wir in Gedanken das intrudierte Gangmaterial weg, so sollte es möglich sein, durch Translations- und Rotationsbewegungen die ursprüngliche Gesteinsmasse (wie sie vor der Gangintrusion vorlag) wieder lückenlos, nach der Art eines „Puzzle" (Zusammensetzspiel), zu rekonstruieren, ohne dass Hohlräume entstehen. Der diagnostische Wert des Kriteriums für die Beurteilung der Entstehung eines Ganges ist dann am grössten, wenn die Wände viele geometrische Unregelmässigkeiten (Vorsprünge, Einbuchtungen, Knickungen) zeigen, d.h. nicht ebene, ungebrochene Flächen sind. Es ist ja selbstverständlich, dass zwei vollkommen ebene Flächen immer kongruent sind, wenn sie gleiche Grösse besitzen. Günstig ist auch, wenn die Gänge ein komplexes System mit Kreuzungen, Verzweigungen etc. bilden: dann ist vor allem die Puzzle-rekonstruktion von höchstem diagnostischem Wert.

A 2. *Kriterium der Kontinuität von Nebengesteinsstrukturen.* Sind in den Nebengesteinsblöcken Strukturzeichnungen vorhanden (Schichten, ellipsoidale oder kugelige Einschlüsskörper usf.), so müssen diese bei obgenannter Rekonstruktion ebenfalls wieder genau in ihrem alten Zustande zurückerhalten werden, ohne dass Stücke davon fehlen. Geht die Gangspalte z. B. mitten durch einen kugeligen Einschluss, so muss dieser bei der Rekonstruktion (nach gedanklicher Wegnahme des Ganges und den nötigen Verschiebungen) zur Gänze als Kugel wieder erhalten werden. Strukturen, die vor der Gangintrusion kontinuierliche, ungebrochene Form zeigten (z. B. Schichten), müssen bei der unter A 1 genannten Rekonstruktion genau in alter Gestalt, ungebrochen, zurückerhalten werden.

A 3. *„Offset"-Kriterium.* Wird ein planares Strukturelement des Nebengesteins (z. B. eine plattenförmige Schicht oder ein älterer Gang) von einer Gangwand abgeschnitten, so liegt im allgemeinen im noch *nicht* gemäss A 1 rekonstruierten Gesteinskomplex (d.h. *ohne* dass man in Gedanken den Gang weggenommen hat) die Fortsetzung der Platte auf der anderen Seite des Ganges *nicht* in der gleichen Ebene; es wird ein „offset", ein „rejet" konstatiert, d.h. eine Verschiebung (Versetzung) in einer Richtung schief zur Ebene des planaren Strukturelements (siehe z. B. Fig. 17). Dies trifft natürlich nur zu, wenn die Translationsrichtung der Blockverschiebung, die sich beim Oeffnen des Spaltes vollzog, schief zum planaren Strukturelement steht und nicht zufälligerweise parallel dazu läuft. Auch an nicht-planaren Strukturelementen kann natürlich „offset" konstatiert werden.

Für *metasomatische Gänge* (Fall 2 von S. 221) lauten die entsprechenden Kriterien:

B 1. Die Wände zeigen keine vollkommene Kongruenz in allen Details. Sind allerdings die Wandflächen ebene Flächen, so ist natürlich eine solche Kongruenz auch bei metasomatischen Gängen vorhanden. Sind die Wände unregelmässig, so wäre eine Kongruenz eine sehr seltene und rein zufällige Erscheinung. Bei versuchter, fälschlicher Rekonstruktion im Sinne von Kriterium A 1 wird, vor allem bei komplexen Gangsystemen (mit sich verzweigenden Gängen etc.), keine lückenlose Rekonstruktion möglich sein, das „Puzzle" ist unlösbar, es entstehen Hohlräume.

B 2. Sollte eine scheinbare, fälschliche Rekonstruktion im Sinne von Kriterium A 1 doch einigermassen möglich sein, so wird das bei der Rekonstruktion entstehende Strukturbild der Nebengesteinsblöcke Lücken aufweisen. Ein ursprünglich kugelförmiger Körper im Nebengestein, durch welchen der Gang hindurch geht, ist nicht mehr zur Gänze rekonstruierbar; es muss ein Teil davon fehlen, nämlich derjenige Teil, welcher bei der Metasomatose zu Ganggestein verändert, transformiert wurde.

B 3. In der heute vorliegenden Gesteinsmasse (*mit* den Gängen, vor einer allfällig versuchten fälschlichen Rekonstruktion) sind keine „offset"-Erscheinungen (im Sinne von Kriterium A 3) wahrzunehmen, da ja gar keine Bewegungen der Blöcke gegeneinander stattgefunden haben.

Die für die Rekonstruktion im Sinne der Kriterien A 1 und A 2 notwendigen und zureichenden Bewegungen sind gemäss der Geometrie der Bewegungen starrer Körper entweder eine einfache Translation, oder eine einfache Rotation oder schliesslich eine Rotation kombiniert mit einer Translation in Richtung der Rotationsachse. Bei komplexen, sich verzweigenden Gangsystemen sind alle diese Bewegungstypen möglich, vor allem, wenn die Gänge keine konstante Dicke besitzen. B. C. KING (1948) hat behauptet, dass die Richtung der Translation immer senkrecht zur Gangwand stehen müsse: dies ist jedoch keineswegs richtig. Es genügt wohl, zu erwähnen, dass bei einem Gang mit wechselnder Streichrichtung nicht überall die Translation senkrecht zur Gangwand stehen *kann* (siehe z. B. Fig. 15).

In der genannten Form gelten nun aber die Kriterien A und B nur für den Fall, dass uns die dreidimensionale Gestalt und die interne Struktur des zur Diskussion stehenden Gesteinskomplexes (mit seinen Gängen) in allen Details bekannt wäre. Verfügen wir nur über zweidimensionale Beobachtungsflächen, so müssen die Kriterien anders formuliert werden [siehe E. NIGGLI (1952)].

Die Kriterien A 1 und A 2 sind für zweidimensionale ebene Aufschlüsse nur dann brauchbar[1]), wenn im Falle einer reinen Translation (als Dilatationsrichtung der Spaltenöffnung) die Richtung dieser Translation parallel zur Beobachtungsfläche liegt; nur dann wird auch im zweidimensionalen Schnitt eine Rekonstruktion nach der Art eines Puzzle notwendigerweise möglich sein, nur dann wird das alte Strukturbild der Nebengesteinsblöcke zweidimensional lückenlos und kontinuierlich zu rekonstruieren sein, ohne dass Teile davon fehlen. In allen anderen Fällen (Translationsrichtung der Dilatation nicht parallel zur Beobachtungsfläche), sind auch für intrusive Gänge die Kriterien A 1 und A 2 *nicht* gültig, sind also dann *nicht* brauchbar, um einen metasomatischen Gang von einem intrusiven zu unterscheiden. Anders ausgedrückt, bedeutet dies, dass bei einer zweidimensionalen Beobachtungsfläche auch an einem intrusiven Dilatationsgang die Schnittlinien der beiden Wandflächen mit der Beobachtungsfläche *nicht* kongruent sein müssen und dass eine zweidimensionale Puzzle-rekonstruktion keineswegs möglich sein muss, ja notwendigerweise höchstens eine fälschliche Rekonstruktion sein kann. Ganz besonders auffallende Inkongruenz der Wandschnittlinien entsteht übrigens auch an intrusiven Gängen, wenn die Beobachtungsfläche gekrümmt ist (was in der Natur nicht selten vorkommt). Zu beachten ist, dass bei einem komplexen Gangsystem, welches die alte Gesteinsmasse brekzienartig aufgeteilt hat, Translationen ganz verschiedener Richtung auftreten müssen. Es wird dann keine grössere ebene Fläche (mit Gängen verschiedener Richtung) geben, für welche überall die Kriterien A 1 und A 2 zutreffen und doch kann es sich um intrusive Gangbildungen handeln. [Für Rotationen siehe E. NIGGLI (1952)]. Die Anwendbarkeit und der Nutzen der Kriterien A 1 und A 2 erfährt demnach für zweidimensionale ebene Beobachtungsflächen eine starke Einschränkung. Kriterium A 3 wird indessen weit weniger beeinflusst. Auch im zweidimensionalen Schnitt werden „offset"-Erscheinungen zu konstatieren

[1]) Natürlich mutatis mutandis, d.h. an Stelle von „Wände" muss stehen „Schnittlinien der Wände mit der Beobachtungsfläche" usf.

sein, natürlich auch hier nur dann, wenn die versetzte alte Fläche (im Nebengestein) schief und nicht parallel zur Projektion der Translationsrichtung auf der Beobachtungsfläche steht. Kriterium A 3 ist aber leider weit weniger universal brauchbar als A 1, da ersteres an deutliche und regelmässige Strukturzeichnungen in den Nebengesteinsblöcken gebunden ist.

Die Kriterien B 1, B 2, B 3 (für *metasomatische Gänge*) behalten natürlich auch für zweidimensionale Aufschlüsse ihre Gültigkeit, doch ist ihr Wert dadurch sehr stark vermindert, dass auch Dilatationsgänge (wenigstens für Kriterien A 1 und A 2) die gleichen Erscheinungen zeigen können. *Kriterium B 1 und B 2 sind zwar notwendig, aber nicht zureichend, um eine metasomatische Entstehungsweise zu beweisen,* wenn man nur über *eine* Beobachtungsfläche verfügt. Ein Dilatationsgang braucht in der Beobachtungsfläche keineswegs kongruente Wand-Schnittlinien zu besitzen. Ist nur *eine* Beobachtungsfläche und nur *ein* Gang untersuchbar, dann kann die Beurteilung der Entstehung mit geometrischen Kriterien ganz unlösbar sein. Aber auch bei komplexen Gangsystemen (wie es z. B. Aplitgänge fast immer sind), ist eine Entscheidung über die Entstehung an Hand einer *einzigen* zweidimensionalen Beobachtungsfläche mit Hilfe geometrischer Kriterien im allgemeinen nicht möglich. Es muss unbedingt statistisch gearbeitet werden; Beobachtungsflächen aller Richtungen und Lagen müssen herangezogen werden. Stehen nun aber nur Beobachtungsflächen zur Verfügung, die alle unter sich einigermassen parallel sind, so kann der Fall eintreten, dass in *keiner einzigen* Beobachtungsfläche die Kriterien A 1 und A 2 in überzeugender Weise zutreffen, und doch kann es sich um intrusive Dilatationsgänge handeln: dann nämlich, wenn die Translationsrichtung der Spaltenöffnungen alle unter sich ungefähr parallel laufen, aber schief zu den Beobachtungsflächen stehen. Ist es hingegen möglich (wie z. B. im Hochgebirge), um über zahlreiche Beobachtungsflächen ganz verschiedener Lage zu verfügen, so können die jetzt statistischen Charakter annehmenden Kriterien für *mechanisch-intrusive Dilatationsgangsysteme* ungefähr wie folgt formuliert werden (wenn nur reine Translationen und reine Rotationen als Dilatationsbewegungen vorkommen):

Kriterien C 1 und C 2: lückenlose Rekonstruktion nach der Art eines Puzzle, im Sinne von Kriterien A 1 und A 2, (unter gedanklicher Wegnahme des Gangmaterials) ist in der *Mehrzahl* der Fälle der ja zweidimensionalen Beobachtungsflächen *nicht* möglich (C 1 ist dabei das Kriterium der Kongruenz der Wand-schnittlinien und C 2 das Kriterium der Kontinuität der Nebengesteinsstrukturzeichnungen nach erfolgter Rekonstruktion). Bei genügender Anzahl von Beobachtungsflächen verschiedener Lage sollte es aber einige wenige geben, in welchen wenigstens für einen Teil der Beobachtungsfläche eine solche Rekonstruktion für alle Details möglich ist (nämlich dann, wenn die Translation angenähert parallel der Beobachtungsfläche verläuft).

Ganz besonders wertvoll sind solche Beobachtungsflächen, in welchen *beide* Kriterien A 1 und A 2 am *gleichen* Gang und den *gleichen* Nebengesteinsblöcken verifizierbar sind und wobei dann natürlich die für Kriterium A 1 abgeleitete Translationsrichtung genau parallel sein muss mit der Translationsrichtung, die bei Anwendung von Kriterium A 2 sich ergibt.

Kriterium C 3: In der Mehrzahl der Beobachtungsflächen, welche planare oder andere geeignete Strukturelemente in den Nebengesteinsblöcken enthalten, wird gemäss Kriterium A 3 ein „offset" zu konstatieren sein. Nur dann, wenn zufällig die Translationsrichtung parallel zur genannten alten Strukturfläche liegt, ist keine Versetzung zu konstatieren.

Für *metasomatische Gänge* gelten entsprechend die folgenden Kriterien:

Kriterien D 1 und D 2: Rekonstruktion nach der Art eines Puzzle ist praktisch nie lückenlos möglich. Nur bei sehr einfacher Geometrie des Ganges (strikte parallele, ebene Wände), oder bei unregelmässigen Wänden nur als zufällige Erscheinung, kann eine scheinbare, aber falsche Rekonstruktion möglich sein. Dann aber wird Kriterium A 2 (= C 2) nicht auch gleichzeitig als zufällige Erscheinung positiv sein.

Kriterium D 3: Es treten keine Offset-Erscheinungen auf. Dies gilt natürlich nur dann, wenn vor und nach den metasomatischen Erscheinungen gar keine Bewegungen an Brüchen stattgefunden haben.

Es zeigen diese Betrachtungen, dass unbedingt *statistisch* gearbeitet werden muss. Man muss sich ferner auch immer im Klaren darüber sein, dass das Zutreffen einer „kritischen" Erscheinung auch auf Zufall beruhen könnte: verschiedentlich ist erwähnt worden, dass z. B. Kriterium A 1 scheinbar zutreffen kann, wenn es sich in Wirklichkeit nur um eine *zufällige* Kongruenz der Gangwände eines metasomatischen Ganges handeln kann. Das Vorgehen hängt ferner weitgehend auch von den verfügbaren Beobachtungsflächen (vor allem deren Lagendispersion) ab. Wichtig ist ferner die Frage, ob in den Nebengesteinsblöcken regelmässige Strukturzeichnungen vorkommen und ob die Wände kleine Unregelmässigkeiten zeigen und nicht etwa vollkommen ebene Flächen sind.

Anwendung der geometrischen Kriterien auf die Aplit-, Pegmatit- und Granitgänge von Sept-Laux.

Wie schon in einem früheren Abschnitte erläutert wurde, durchsetzen saure Gänge in grosser Zahl die östliche Schieferhülle, die grosse Hornblende-Biotitgneisscholle westlich des Lac du Cos und viele andere kleine Schollen. Es handelt sich vorzüglich um aplitische bis aplitopegmatische und aplitgranitische Gänge. Eigentliche Pegmatite sind recht selten, kommen aber in Arbeitsprofil H und Arbeitsfeld G etwas häufiger vor. Die Aplite nähern sich mineralogisch und chemisch oft stark dem normalen Sept-Laux-Biotitgranodiorit bis Granit; einzelne Gänge sind unbedingt als Granitgänge zu bezeichnen, da der Biotitgehalt und die Struktur sehr stark dem Gestein des Batholithen gleicht. Im allgemeinen durchsetzen diese Gänge den Granit *nicht*; wenn ein Aplitgang bis zum Hauptkontakt verfolgt werden kann, konstatiert man meistens, dass der Gang sich in einer etwas saureren aplitischen Randzone des Granits verliert und aus dieser zu stammen scheint (siehe Fig. 24) [1]). Die Gänge sind etwas jünger als die migmatitischen Erscheinungen der grossen Gneisscholle westlich des Lac du Cos, die aber ebenfalls mit dem Granit von Sept-Laux genetisch zusammenhängen. Die porphyrartigen, kontaminierten Granitmassen im Innern dieser Grosscholle werden von den Apliten mit scharfen Kontaktflächen durchsetzt. Die sauren Gänge bilden ein komplexes, sich verzweigendes Gangsystem, wobei sehr verschiedene Streichrichtungen für die einzelnen Gangstücke gemessen wurden (darüber näheres in einer späteren Mitteilung). Die Gangwände durchschneiden im Allgemeinen in souveräner Art und Weise die älteren Strukturen. Es sind echte Gänge, von einigermassen plattenförmiger Gestalt (siehe z. B. Fig. 6). Eine Entstehung nach Art der Typen 5 und 6 von S. 221 ist für diese Bildungen

[1]) Wie schon S. 220 erwähnt worden ist, kommen aber im Granit selbst aplitische Schlieren und auch dünne Aplitgängchen, ferner selten auch eigentliche Aplitgänge vor.

demnach unwahrscheinlich. Dies gilt besonders für die Gänge der Arbeitsfelder B, C, D (in der Grosscholle westlich des Lac du Cos) und des Feldes G in der Schollenzone nahe dem Ostkontakt des Batholithen. In Arbeitsprofil H und überhaupt in der östlichen Schieferhülle liegen die Verhältnisse etwas anders: neben Gängen von obigem Typus kommen auch solche Gangbildungen vor, bei welchen zahlreiche Apophysen injektionsartig ins Nebengestein dringen. Diese Apophysen zeigen deutlich Erscheinungen der Aufblätterung des Nebengesteins, der Injektion von Typus 5 von S. 221. Ein schönes Beispiel ist in Fig. 23 wiedergegeben. Ferner ist noch zu bemerken, dass in Arbeitsprofil H auch saure Gänge und Lagen mit deutlicher Paralleltextur vorkommen, die vielleicht nicht mit dem Sept-Laux-Granit genetisch zusammenhängen und über welche später berichtet werden soll.

In dieser Arbeit beschränkten wir uns auf die Gangtypen ohne randliche Injektionserscheinungen. Besonders eingehend studiert wurden die sauren Gänge in den Arbeitsfeldern B, C, D und G und deren näherer Umgebung.

Ueber die mikroskopischen und chemischen Untersuchungen wird in einer späteren Mitteilung berichtet werden; hier sei nur eine chemische Analyse eines Aplitganges publiziert, die zeigt, dass chemisch die Aplite nur wenig verschieden sind vom Hauptgestein des Granitbatholithen (siehe Analyse 1). Wie zu erwarten ist, ist der Aplit etwas saurer und fm-ärmer.

Es handelt sich bei dieser Analyse um den Gang, der auf Fig. 10 abgebildet ist.

Analyse Nr. 2 (7158) *).

Granitaplitgang, Sept-Laux, westlich Lac du Cos, Arbeitsfeld B.

SiO_2	70,92 Gew. %	Niggli-Werte			
Al_2O_3	14,71	si	366	Q	50,6
Fe_2O_3	1,32	al	43	L	45,6
FeO	0,62	fm	12	M	3,8
MnO	0,04	c	6		
MgO	0,60	alk	39		
CaO	1,08	k	0,43		
Na_2O	4,50	mg	0,37		
K_2O	5,17				
H_2O+	0,45	Magmentypus: engadinitgranitisch			
H_2O-	0,12	bis normalalkaligranitisch			
TiO_2	0,20				
P_2O_5	0,10				
	99,83				

Analytiker:
Frl. B. Hageman
Petrochemisches Laboratorium des Geologisch-Mineralogischen Institutes der Universität Leiden.

*) Handstücknummer.

Die Anwendung der im vorstehenden Abschnitt besprochenen geometrischen Kriterien auf eine grosse Zahl von Beobachtungsflächen (mehr als 100) von sehr verschiedener räumlicher Lage ergab folgendes Resultat:

Kriterium C 1 (resp. A 1): In mehr als $^9/_{10}$ der untersuchten, einigermassen planaren[1]) Beobachtungsflächen ist entweder keine überzeugende Kongruenz der Wandflächenschnittlinien zu beobachten, wenn auch die kleinsten Details der Wandgeometrie nicht vernachlässigt werden, oder ist das Kriterium nicht entscheidend, weil die Wandflächenschnittlinien ungebrochene, gerade Linien sind und dann eine Kongruenz, abgesehen von der Grösse, selbstverständlich ist. Dasselbe gilt für die Puzzle-rekonstruktion. In etwa 5 % der Fälle dagegen ist eine ausgezeichnete Kongruenz festzustellen, auch für Details der Wandgeometrie, und ist die Puzzle-rekonstruktion auf eine Art und Weise möglich, dass dies als zufällige Erscheinung (wie es bei metasomatischen Gängen der Fall sein müsste) höchst unwahrscheinlich würde. In einigen Fällen (etwa ein Dutzend) ist ferner gleichzeitig Kriterium A 2 positiv und sind die für die beiden Kriterien konstruierten Translationsrichtungen der Dilatation einander strikte parallel.

Kriterium C 2: in den meisten Beobachtungsflächen ist entweder keine vollkommene, lückenlose und kontinuierliche Rekonstruktion der Nebengesteinsstrukturen möglich, oder es sind keine günstigen Strukturzeichnungen in den Nebengesteinsblöcken sichtbar, so dass dann das Kriterium keine Entscheidungskraft besitzt. In einigen Beobachtungsflächen dagegen ist Kriterium A 2 im zweidimensionalen Schnitt verifizierbar und zwar so, dass die Deutung als zufällige Erscheinung ausgeschlossen scheint. Ferner ist schon erwähnt worden, dass in einigen Aufschlüssen die Kriterien A 1 und A 2 gleichzeitig angewendet werden konnten.

Kriterium C 3: In der Mehrzahl der Fälle, wo Schichten, Bänder usf. als Strukturelemente des Nebengesteins auftreten, kann ein deutlicher „offset" konstatiert werden. Dies gilt auch für rundliche und ellipsoidale Körper von grösserer Ausdehnung im Nebengestein, welche von den Gängen durchschnitten werden.

Besser als alle weiteren Worte illustrieren die Figuren 5, 6 und 9 bis 20, sowie 22, das Gesagte. Die Fig. 5 und 6 vermitteln einen allgemeinen Eindruck der Art des Vorkommens der sauren Gänge auf Sept-Laux. Fig. 9 bis 20 und 22 sind eine Auswahl (etwa die Hälfte) derjenigen von uns gefundenen Beobachtungsflächen, welche ungefähr parallel den Translationen der Spaltendilatation der Gänge verlaufen ,oder welche wenigstens deutliche „offset"-Erscheinungen zeigen. In den erstgenannten Beobachtungsflächen können also die Kriterien A 1 und A 2 auch für den zweidimensionalen Schnitt (natürlich mutatis mutandis) angewendet werden; es handelt sich um die „einigen wenigen" Fälle, von denen bei Kriterien C 1 und C 2 die Rede war (siehe oben).

In der nachstehenden Zusammenstellung wird angegeben, in welchen Figuren die einzelnen Kriterien A und C verifiziert wurden.

Kriterium C 1: Puzzle-Rekonstruktion ist in für Kriterium A 1 (Wandgeometrie) überzeugender Weise möglich in den folgenden Figuren (d.h. hier liegt die Translationsrichtung der Dilatation in der Beobachtungsfläche, und zeigt die Gangwand gleichzeitig die nötigen Unebenheiten): Figuren 9, 10 (mit 11), 12 (mit 13), 16, 20.

Kriterium C 2: Kriterium A 2 ist für sich allein überzeugend positiv in den Figuren 10 (mit 11), 14 und 22.

Am gleichen Gang oder Gangsystem sind gleichzeitig verifizierbar die Kriterien A 1 *und* A 2 in den Figuren 10 (mit 11), 14, 15, 16, 20 und 22.

[1]) Gekrümmte Beobachtungsflächen sind nicht brauchbar.

In diesen Beispielen sind auch die für die beiden Kriterien deduzierten Translationsrichtungen einander strikte parallel.

Kriterium C 3: „Offset" ist in den folgenden Figuren sichtbar: 10 (mit 11), 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 und 22.

Die aus der Anwendung der Kriterien C zu ziehende Schlussfolgerung für die Entstehung unserer Gänge ist die folgende: Die Anwendung der Kriterien C 1, C 2 und C 3 ergibt, dass die in zweidimensionalen Aufschlüssen sichtbaren geometrischen Verhältnisse recht genau denjenigen entsprechen, die man erwarten sollte, wenn es sich um *intrusive Dilatationsgänge* handelt. Anwendung der Kriterien D 1, D 2 und D 3 (Kriterien für metasomatische Gänge) gibt ein negatives Resultat. Sollten es doch metasomatische Gänge sein, dann müsste das Zutreffen der Kriterien C (mit Kriterien A, wo dies möglich war) ein reiner Zufall sein. Dies erscheint mir aber, im Hinblick auf die Anzahl der abgebildeten und der anderen gefundenen Beispiele der Art der Fig. 9 bis 20 und 22, als ausgeschlossen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es sich bei den untersuchten Aplit-, Aplitgranit-, Granit- und Pegmatitgängen von Sept-Laux mit grosser Wahrscheinlichkeit um intrusive Dilatationsgänge (vom Typus der Spaltenfüllungen) handelt. Von welcher Beschaffenheit die intrudierende Masse war (Magma?), kann mit Hilfe geometrischer Kriterien nicht entschieden werden. Darüber soll in einer späteren Mitteilung diskutiert werden.

Literaturverzeichnis.

E. B. Bailey und H. B. Maufe (1916): The geology of Ben Nevis and Glen Coe. Mem. Geol. Surv. Scotland. Vol. 53.

P. und C. Bordet (1953): Sur la présence de Carbonifère Anté-stéphanien dans la série cristallophyllienne du Massif de Belledonne; Sur la structure des Massifs externes des Alpes Françaises. C. R. d. séance de l'Acad. des Sciences. T. 236, p. 305—307 et p. 500—502.

A. Delebecque (1905): Situation géologique et origine des Lacs des Sept Laux. Bull. Serv. Carte Géol. France. No. 102, t. XV (1903—1904).

M. Gignoux et L. Moret (1952): Géologie Dauphinoise, 2e éd. Masson, Paris.

G. E. Goodspeed (1940): Dilation and replacement dikes. Journ. Geol. Vol. 48, p. 175—195.

C. E. Goodspeed (1952): Replacement and rheomorphic dikes. Journ. Geol. Vol. 60, p. 356—363.

J. — L. Jaeger (1951): Remarques au sujet des critères géometriques qui permettraient d'établir le mode de formation de certains filons. Bull. Soc. Géol. France. 6e série, t. I, p. 611—620.

B. C. King (1948): The form and structural features of aplite and pegmatite dikes and veins in the Osi Area of the Northern provinces of Nigeria and the criteria that indicate a nondilational mode of emplacement. Journ. Geol. Vol. 56, p. 459—475.

E. Niggli (1952): Stéréometrie et mise en place de filons. Bull. Soc. Géol. France. 6e série, t. II, p. 215—223.

J. Orcel (1923/24): Révision de la feuille St. Jean-de-Maurienne au 80 000e, Terrains cristallins. Bull. Serv. Carte Géol. France, No. 155, t. XXVIII.

R. Perrin et M. Roubault (1949): Des critères permettant de déterminer le mode de formation des filons à bords parallèles: injection ou remplacement. Bull. Soc. Géol. France. 5e série, t. XIX, p. 641—656.

R. Perrin et M. Roubault (1952): Deux applications de critères géometriques à la détermination du mode de genèse de filons de pegmatites. Bull. Soc. Géol. France. 5e série, t. II, p. 225—232.

H. Rambeeg (1952): The origin of metamorphic and metasomatic rocks. The Univ. of Chicago Press, Chicago.

E. den Tex (1950): Les roches basiques et ultrabasiques des Lacs Robert et le Trias de Chamrousse (Massif de Belledonne). Leidsche Geol. Meded. Deel XV, p. 1—203 [auch als Dissertation Universität Leiden (1949) erschienen].

A. H. van der Veen (1952): Observations sur le contact ouest du granite des Sept Laux près du Rivier d'Allemont (Massif de Belledonne a. l.). Leidsche Geol. Meded., Deel XVII, p. 202—207.