

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN

Nr. 60

**Untersuchungen über radioaktive Mineralien
und Gesteine in der Schweiz**

**Granite und Uranvererzungen in den
Schweizer Alpen**

von

T. P. LABHART und L. RYBACH

Sonderdruck aus «Geologische Rundschau» 63/1

DRUCK: FERDINAND ENKE VERLAG, STUTTGART
1974 - KOMMISSIONSVERLAG: KÜMMERLY & FREY, BERN

**Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission und des
Arbeitsausschusses für die Untersuchung schweizerischer
Mineralien und Gesteine auf Atombrennstoffe und seltene
Elemente**

Die vorliegende Arbeit von T. P. Labhart und L. Rybach «Granite und Uranvererzungen in den Schweizer Alpen» vermittelt eine Übersicht über den Uran-Thorium-Gehalt und deren Zusammenhänge mit Uranvererzungen an granitischen Gesteinen der Zentralmassive (Mont-Blanc-Granit, Vallorcine-Granit, Giuv-Syenit und zentraler Aaregranit). Die Kommission möchte den Autoren für ihren interessanten Beitrag an die wissenschaftliche Erforschung schweizerischer Gesteine auf ihren Gehalt an radioaktiven Elementen vielmals danken.

Die Felduntersuchungen wurden durch den Arbeitsausschuss aus einem Kredit der Eidgenossenschaft durchgeführt. Die Laboruntersuchungen finanzierte der «Entwicklungsfonds seltene Metalle». Diesen Stellen sei hierfür der beste Dank ausgesprochen.

Der Redaktion der Geologischen Rundschau möchten wir für die Zurverfügungstellung der Separatdrucke für diese Kleinere Mitteilung bestens danken.

Für den Inhalt von Text und Figuren sind die Verfasser allein verantwortlich.

Zürich, Januar 1974.

Der Präsident der
Schweiz. Geotechnischen Kommission
und des Arbeitsausschusses

Prof. F. DE QUERVAIN

Nicht einzeln im Buchhandel erhältlich

Sonderdruck aus der Geologischen Rundschau Band 63, 1974

Ferdinand Enke Verlag / Stuttgart

Granite und Uranvererzungen in den Schweizer Alpen

Von T. P. LABHART, Bern, und L. RYBACH, Zürich

Mit 8 Abbildungen

Geol. Rundschau	63	1	135—147	Stuttgart, Januar 1974
-----------------	----	---	---------	---------------------------

Granite und Uranvererzungen in den Schweizer Alpen

Von T. P. LABHART, Bern, und L. RYBACH, Zürich *)

Mit 8 Abbildungen

Zusammenfassung

Die Radioaktivität vier hercynischer, granitischer Gesteine schweizerischer Zentral-massive (Mont-Blanc-Granit, Vallorcine-Granit, Giuv-Syenit und Zentraler Aaregranit s. l.) wurde im Gelände (Oberflächen- und vor allem Stollen-Messungen) und im Labor (gammastrahlungsspektrometrische und fluorimetrische Bestimmungen) untersucht. Jeder Gesteinskomplex zeigt ein spezifisches Uran-Thorium-Variationsfeld. Das Th/U-Verhältnis nimmt mit steigenden Th-Gehalten ab. Die Variation der U- und Th-Gehalte ist petrologisch kontrolliert: es ist eine Zunahme in den Randzonen der Granitkörper und (bei Intrusionsfolgen) in den jüngsten Gesteinen, vor allem in Aplitgranitstöcken, festzustellen. Mehrere Gesteine sind besonders uran- und thoriumreich: Giuv-Syenit, Mittel aus 44 Bestimmungen, 22 ppm U und 66 ppm Th; Mont-Blanc-Granit (45), 19 ppm U/31 ppm Th; Zentraler Aaregranit s. str. (10), 13 ppm U/32 ppm Th. Die Gesteine enthalten zum Teil hohe Anteile leichtlöslichen Urans (bis 90%), wobei hohe Gesamt-Urangehalte in der Regel auch einen hohen Prozentsatz leichtlösliches Uran bedingen.

In allen Gesteinskomplexen sind eigentliche Uranmineralisationen (meist mit Pechblende) gefunden worden. Sie sind ausschließlich an Scherzonen, Mylonite und Klüfte gebunden und liegen vor allem in den Randzonen der Gesteinskörper oder in der Nähe besonders uranreicher Gesteine wie Aplitgranite. Die Assoziation Granite/Uranvererzungen zeigt, abgesehen von der alpinen Überprägung, große Ähnlichkeiten mit den französischen Vorkommen des Massif Central.

Abstract

The radioactivity of 4 Hercynian granitic rock units of the Swiss Central Massifs (Mont Blanc granite, Vallorcine granite, Giuv syenite and Central Aare granite s. l.) has been measured in the field (on the surface and in tunnels) and in the laboratory (gamma ray spectrometry). Each rock unit shows a clearly defined field of variation on a U-Th plot. The Th/U ratios decrease with increasing Th contents. The variation is petrologically controlled: the U and Th contents increase in the border zones of the

*) Anschrift der Verfasser: Dr. T. P. LABHART, Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität, Sahlistraße 6, CH-3012 Bern; Dr. L. RYBACH, Institut für Kristallographie und Petrographie der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Sonneggstraße 5, CH-8006 Zürich.

granitic bodies and — in the case of intrusive sequences — in the younger derivatives, especially in the aplitic phase. Three of the units show unusually high U and Th contents: Giuv syenite (mean of 44 determinations), 22 ppm U and 66 ppm Th; Mont Blanc granite (45), 19 ppm U/31 ppm Th; Central Aare granite s. str. (10), 13 ppm U/32 ppm Th. The fraction of easily leacheable uranium is, according to fluorimetric determinations, unusually high (up to 90%) in some granites. Generally, the higher the U content, the higher the leacheable fraction.

In all rock units uranium mineralisations (mainly pitchblende) have been found. They are confined to shear zones, mylonites and fissures and occur mostly in the border zones of the granitic bodies or in the vicinity of especially uranium-rich rock types, such as aplites. Apart from the effects of the Alpine orogeny the association of uranium mineralisations with granites shows close similarities to the occurrences in the French Massif Central.

Résumé

La radioactivité de quatre massifs granitiques hercyniens des massifs cristallins centraux des Alpes suisses (granites du Mont Blanc, de Vallorcine, et de l'Aar et syénite du Piz Giuv) a été étudiée sur le terrain et en laboratoire (spectrométrie gamma et fluorimétrie). La variation des teneurs en U et en Th est spécifique pour chaque type des roches. Le rapport Th/U diminue lorsque la teneur en Th augmente. L'Uranium s'enrichit d'une part dans les faciès bordiers des massifs granitiques et d'autre part (dans des successions magmatiques) vers les roches les plus jeunes et les plus acides (granites aplitiques). Quelques-unes de nos roches ont un fonds géochimique d'U et de Th élevé: syénite du Piz Giuv 22 ppm U/66 ppm Th (moyenne de 44 déterminations); granite du Mont Blanc 19 ppm U/31 ppm Th (45); granite de l'Aar 13 ppm U/32 ppm Th (10). En même temps, on constate des teneurs élevées en Uranium facilement soluble (jusqu'à 80—90% de l'Uranium total).

Dans tout les complexes se trouvent des minéralisations d'Uranium (sans importance économique actuelle). Elles sont situées surtout aux bords des granites ou dans des roches avec beaucoup d'Uranium soluble (« fertiles ») et sont essentiellement liées à des structures tectoniques. A l'exception de la tectonique et du métamorphisme alpin et d'une forte érosion post-tertiaire notre association granites/minéralisations ressemble beaucoup à celle du Massif Central français.

Краткое содержание

Измерили радиоактивность четырёх герцинских гранитных пород швейцарских центральных массивов (гранит Монблана, гранит Vallorcine, сиенит Giuv и гранит центрального Ааре s. 1.), как в полевых условиях (поверхностные измерения и, прежде всего, штольные), так и в лаборатории (гаммаспектрометрические и флуорометрические определения). Каждый комплекс горных пород обнаружил специфическое для него колебание соотношения урана тория. Отношение Th/U уменьшается с увеличением содержания урана. Вариация содержания урана и тория установлена петрологически: отмечается возрастание в краевых зонах гранитных тел и (при интрузивных сериях) в самых молодых породах, прежде всего, в штоках аплитовых гранитов. Некоторые породы особенно богаты ураном и торием: сиенит Giuv, среднее из 44 определений составляет 22 ppm U и 66 ppm Th; гранит Монблана (45) 19 ppm U, 31 ppm Th; гранит центрального Ааре s. 1. (10) 13 ppm U, 32 ppm Th. Породы содержат порой высокий процент легкорастворимых соединений урана (до 90%). причём, как правило, содержание общего урана в них также повышено.

Во всех комплексах горных пород были найдены минерализации урана, чаще со смоляной обманкой. Они связаны исключительно с зонами скалывания, милонитами и трещинами и находятся прежде всего в краевых зонах тел пород или вблизи особенно богатых ураном пород, как-то: аплитовых гранитов.

Ассоциация граниты/оруднения урана проявляют большое сходство с месторождениями массива Massif Central, Франция, несмотря на деформацию, имевшую место в альпийском горообразовательном периоде.

Einleitung

Die wichtigsten bisher aus den Schweizer Alpen beschriebenen Uranvorkommen liegen in Sedimenten und Metamorphiten (s. z. B. HÜGI, 1963). Während der Prospektionskampagnen der letzten Jahre wurden nun vermehrt auch Mineralisationen in granitischen Gesteinen gefunden. Wenn auch die bisher entdeckten Vorkommen von diesem Typus wirtschaftlich unbedeutend sind, so konnten doch im Verlauf der Untersuchungen geochemische und petrographische Daten gesammelt werden, die für die Fortsetzung der Prospektionsarbeiten von Bedeutung sind. Das wertvollste Material lieferten neuerstellte Stollen für Wasserkraftwerke, Gasleitungen und Nationalstraßen: sie ermöglichten die Aufnahme kilometerlanger, kontinuierlicher Radioaktivitätsprofile, eine direkte Korrelation der Messungen mit der petrographischen Aufnahme und die gezielte Entnahme unverwitterter Gesteinsproben. Am Großteil der Proben wurde gammaspektrometrisch der U/Th/K-Gehalt bestimmt, an ausgewählten Gesteinen zudem fluorimetrisch das leichtlösliche Uran ermittelt. Die Untersuchungen werden fortgesetzt.

In dieser Arbeit soll der Uran/Thorium-Haushalt von vier gut untersuchten granitischen Gesteinen (Mont Blanc-Granit, Vallorcine-Granit, Giuv-Syenit, Zentraler Aaregranit) und mögliche Zusammenhänge mit Uranvererzungen diskutiert werden.

Untersuchungsmethodik

Für die Bestimmung der U- und Th-Gehalte wurde die Gamma-spektrometrie gewählt, da mit diesem Verfahren eine Simultanbestimmung möglich ist. Dazu wird eine Probenmenge von rund 400 g benötigt. Zur Messung müssen die Gesteinsproben pulverisiert und in normierte Aluminium-Behältern gefüllt werden. Zur Aufnahme der Gammaspektren stand ein Meßplatz, bestehend aus einem Szintillationsdetektor (3" × 3" NaJ-Kristall), Bleiabschirmung (allseitig 15 cm) und Mehrkanalanalysator (1024 Kanäle, digitale Datenausgabe) zur Verfügung. Die Berechnung der Uran- und Thorium-Gehalte erfolgte mit einem Rechenprogramm, welches sich auf das in RYBACH (1971) beschriebene Verfahren stützt. Bei der Berechnung wird radioaktives Gleichgewicht vorausgesetzt; fluorimetrische Kontrollanalysen haben die Richtigkeit dieser Annahme bestätigt.

Für die Bestimmung des leichtlöslichen Urans wurde 1 Gramm Gesteinspulver mit 10 ml 2,5 n HNO₃ eine Stunde im siedenden Wasserbad belassen. Das in Lösung gegangene Uran wurde chromatographisch separiert, verascht, in Natriumcarbonat/Natriumfluorid geschmolzen und fluorimetrisch bestimmt.

Die untersuchten Gesteine

Der Mont Blanc-Granit, der mächtige Zentralgranit (40 × 15 km, s. Abb. 1) des Mont Blanc-Massivs, dürfte nach verschiedenen radiometrischen Altersbestimmungen hercynisches Alter haben (um 300 Mio. Jahre). Er besteht aus einem grobkörnigen, porphyrtartigen Kerngranit als Zentralfazies und einer helleren, mittelkörnigen Randfazies. Von der Zentral- zur Randfazies ist eine Ab-

nahme des Alkalifeldspats und eine Zunahme des Quarz festzustellen. Randlich eingedrungene, jüngere Ganggranite gehören noch zum Zyklus des Mont Blanc-Granits (v. RAUMER, 1967; 1969). Der Granit ist in jüngster Zeit durch Kraftwerkstollen besonders gut erschlossen worden. Ein Querprofil (Lage s. Abb. 1) konnte im Detail radiometrisch gemessen werden. Die Radioaktivität nimmt vom Kern-

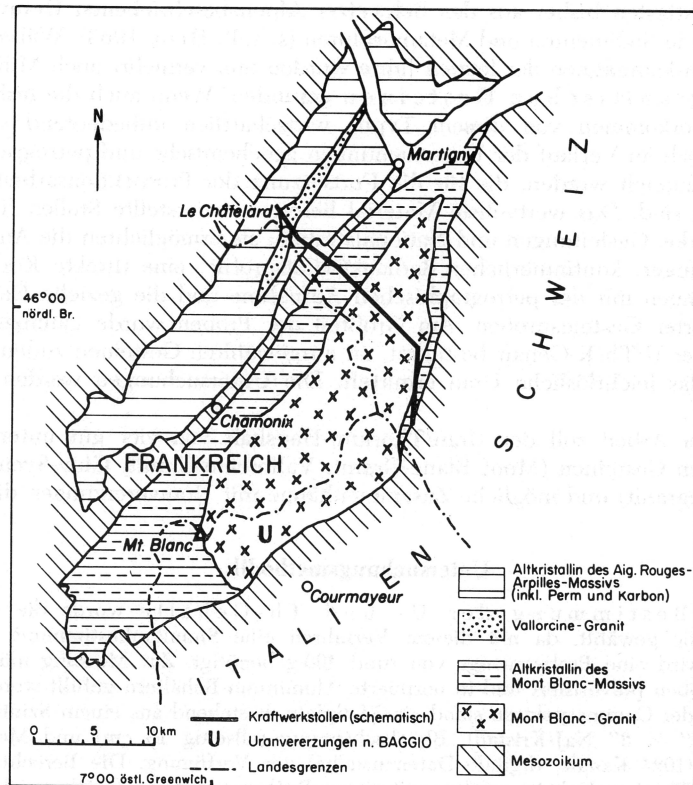


Abb. 1. Übersichtsskizze des Mont Blanc- und Aiguilles Rouges-Massivs.

granit zum Randgranit und weiter zu den Ganggraniten zu (RYBACH et al., 1966; LABHART, v. RAUMER & RYBACH, in Vorbereitung). Die U- und Th-Gehalte von 45 Proben sind im Variationsdiagramm (Abb. 3) dargestellt. Viele schmale Aplitgänge weisen stark abweichende Th/U-Verhältnisse auf.

In Randzonen des Granits fanden sich mehrfach uranvererzte, sulfidführende Scherzonen und tektonische Brekzien (Abb. 2). Das Alter der Entstehung der Scherzonen kann nicht eindeutig festgelegt werden. Wesentlich umfangreichere Uranvorkommen sind (in identischer tektonischer Lage) vom Südrand des Mont Blanc-Granits in Italien bekannt geworden („U“ in Abb. 1, BAGGIO, 1958). Charakteristisch ist auch dort die ausschließliche Bindung an Kluftsysteme, Mylonite und tektonische Brekzien. Zwei Paragenesen werden beschrieben.

ben, eine mit Pechblende und Arsenopyrit und eine mit Pechblende, Bleiglanz, Zinkblende, Pyrrhotin und Kupferkies. Das Alter der tektonischen Beanspruchung ist, aufgrund von Richtungskriterien, spät- oder posthercynisch mit alpiner Überarbeitung.

Leaching-Versuche ergaben einen hohen Anteil leichtlöslichen Urans (70 bis 80%) im Mont-Blanc-Granit.

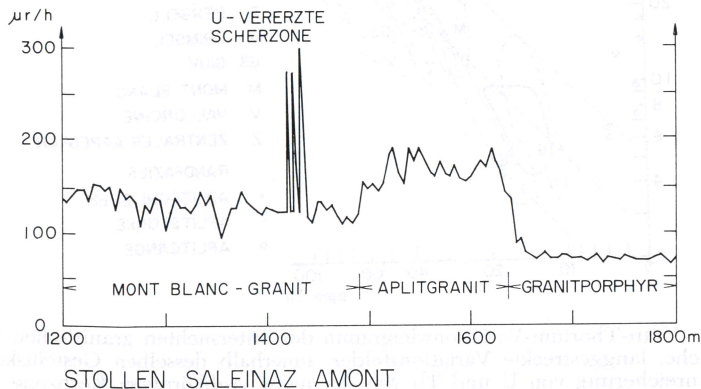


Abb. 2. Ausschnitt aus dem Radioaktivitätsprofil eines Kraftwerkstollens am Ostrand des Mont Blanc-Granits (Messung der Gammastrahlung mit einem Scintillometer).

Der Vallorcine-Granit ist eine rund 15 km lange und nur 0,5 bis maximal 1,5 km mächtige, steilgestellte Granitplatte, die in der Längsachse des Aiguilles Rouges-Massivs verläuft (s. Abb. 1). Zuverlässige radiometrische Altersbestimmungen fehlen, doch dürfte es sich um einen hercynischen Granit handeln. Feldmessungen im ganzen Granitzug ergaben eine recht niedrige und konstante Radioaktivität, die nur in den Kontaktzonen, die von einem etwas helleren Granit gebildet werden, merklich ansteigt. Durch Kraftwerkstollen der Emosson AG ist in unmittelbarer Nähe der französischen Grenze bei Le Châtelard ein Querprofil durch den Granit (im Bereich seiner größten Mächtigkeit) erschlossen worden. U- und Th-Bestimmungen im Labor (27 unvererzte Proben) zeigen einen Anstieg der Gehalte vom Kern gegen die Randzone (s. das entsprechende Variationsfeld in Abb. 3).

Im Vallorcine-Granit und seiner Umgebung sind zahlreiche Uranvererzungen gefunden worden (LABHART & RYBACH, 1972). Sie sind ohne Ausnahme an Mylonitzonen und vor allem an Querklüfte gebunden und reichen von den Randzonen des Granits beidseitig mehrere hundert Meter in die umhüllende Gneise hinein. Abb. 4 zeigt die Lage der vererzten Gefüge im Querschnitt von Le Châtelard. Das Alter der Deformationen ist wiederum nicht eindeutig festzulegen. Die Mylonite am Südrand des Granits gelten als späthercynisch (REINHARD & PREISWERK, 1927), die Querklüfte dürften alpines Alter haben. Pechblende tritt entweder allein (mit Quarz oder Calcit) auf oder aber mit Eisensulfiden, seltener mit Zinkblende und Bleiglanz. Umwandlungen in sekundäre Uranmineralien (Uranotil, Gummit) sind verbreitet. Die Uranvererzungen im Vallorcine-Granit

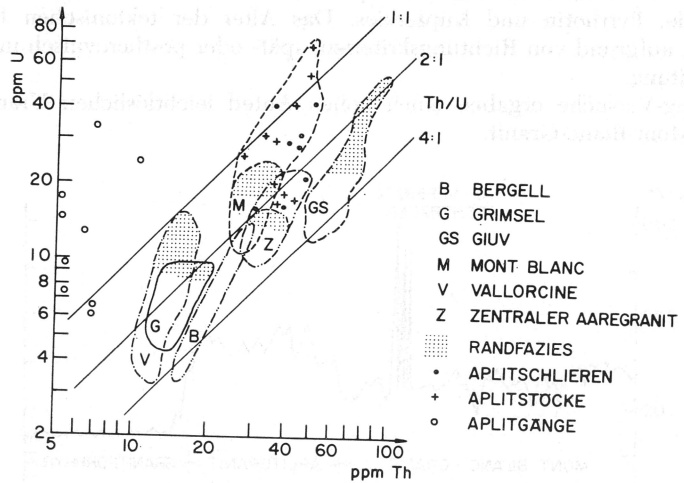


Abb. 3. Das Uran-Thorium-Variationsdiagramm der untersuchten granitischen Gesteine zeigt ähnliche, langgestreckte Variationsfelder; innerhalb desselben Gesteinskomplexes geht die Anreicherung von U und Th von der meist grobkörnigen Kernzone über die feinkörnigere Randzone zu den Aplitstöcken, wobei das Th/U-Verhältnis ständig abnimmt. Aplitgänge haben extrem niedrige Th/U-Verhältnisse und fallen weit außerhalb der Variationsfelder.

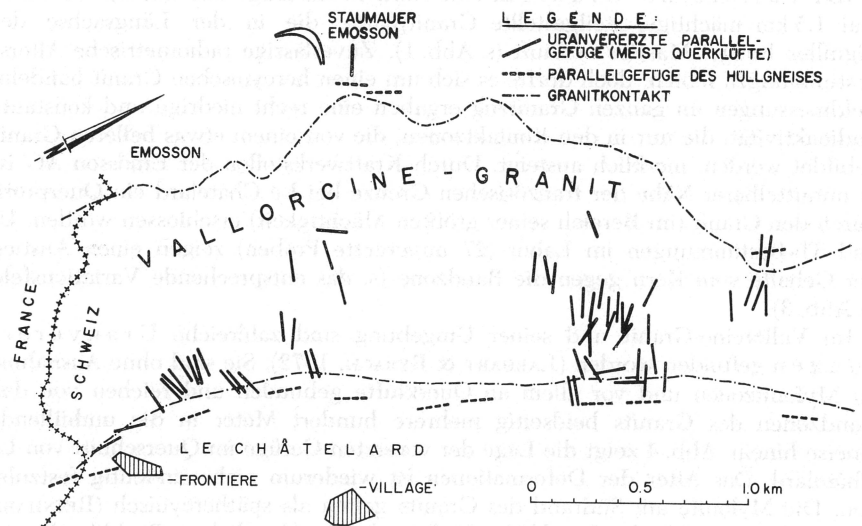


Abb. 4. Orientierung uranvererzter Klüfte und Mylonite im Vallorcine-Granit nördlich Le Châtelard.

sind die bedeutendsten, die bis jetzt in einem schweizerischen Granit gefunden wurden.

Leaching-Versuche an Proben des Granits ergaben einen leichtlöslichen Uran-Anteil von rund 60 % in der niedrigaktiven Hauptmasse und bis 80 % in der Randfazies.

Der Giuv-Syenit ist ein 6—7 km langer, maximal 1000 m mächtiger Gesteinszug syenitischer bis monzonitischer Zusammensetzung im östlichen Aarmassiv (Abb. 5). Er wird an einer Stelle vom Zentralen Aaregranit in Schollen zerlegt, dürfte also frühhercynisch oder älter sein. Ein porphyrtartiger Syenit bildet den Kern der Masse, in den Randzonen ist das Gestein etwas heller und feinkör-

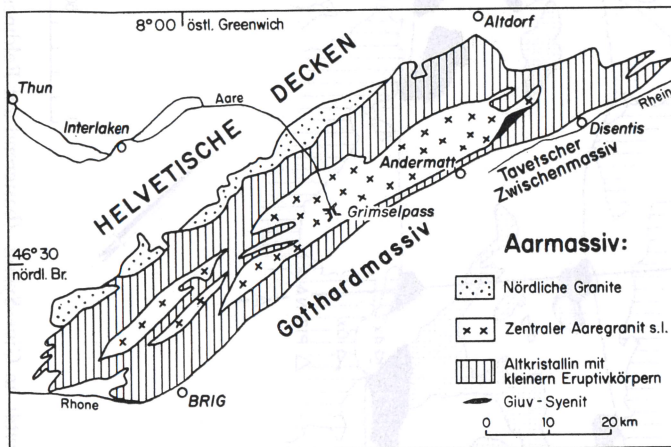


Abb. 5. Übersichtsskizze des Aarmassivs.

niger. Die hohe Radioaktivität des Gesteins wurde schon früh erkannt (HIRSCHI, 1920). Feldmessungen aus den letzten Jahren zeigen eine ausgeprägte zonare Verteilung der Radioaktivität mit einer Zunahme gegen die Randzonen (Abb. 6). Der Zonarbau ist durch die Verteilung der Radioelemente Uran und Thorium bedingt (Abb. 7). Die Kernzone enthält im Mittel 15 ppm U und 57 ppm Th, die Randzone 28 ppm U und 74 ppm Th, das Th/U-Verhältnis nimmt gegen den Rand hin ab (LABHART & RYBACH, 1971). Das Variationsfeld der U- und Th-Gehalte ist in Abb. 3 dargestellt (44 Proben).

Am Südrand des Syenits finden sich in der höchstaktiven Randzone Scherzonen mit Uranvererzungen, die bis einige hundert Meter in die angrenzenden Gneise des Altkristallins hineinreichen können. Das Alter der Deformation ist nicht eindeutig zu bestimmen; eine tertiäre, alpine Überprägung ist sichergestellt, doch sind in derselben Region auch ältere (permische?) Deformationen ähnlicher Orientierung bekannt.

20—80% des Gesamt-Urans konnten bei Leaching-Versuchen aus Gesteinspulvern herausgelöst werden; der Anteil leichtlöslichen Urans nimmt mit dem Gesamt-Urangehalt prozentual zu (Abb. 8). An einer Gesteinsprobe konnte gezeigt werden, daß rund 50 % des Urans in den schwer angreifbaren Akzessorien Titanit und Zirkon enthalten sind (RYBACH et al., 1970).

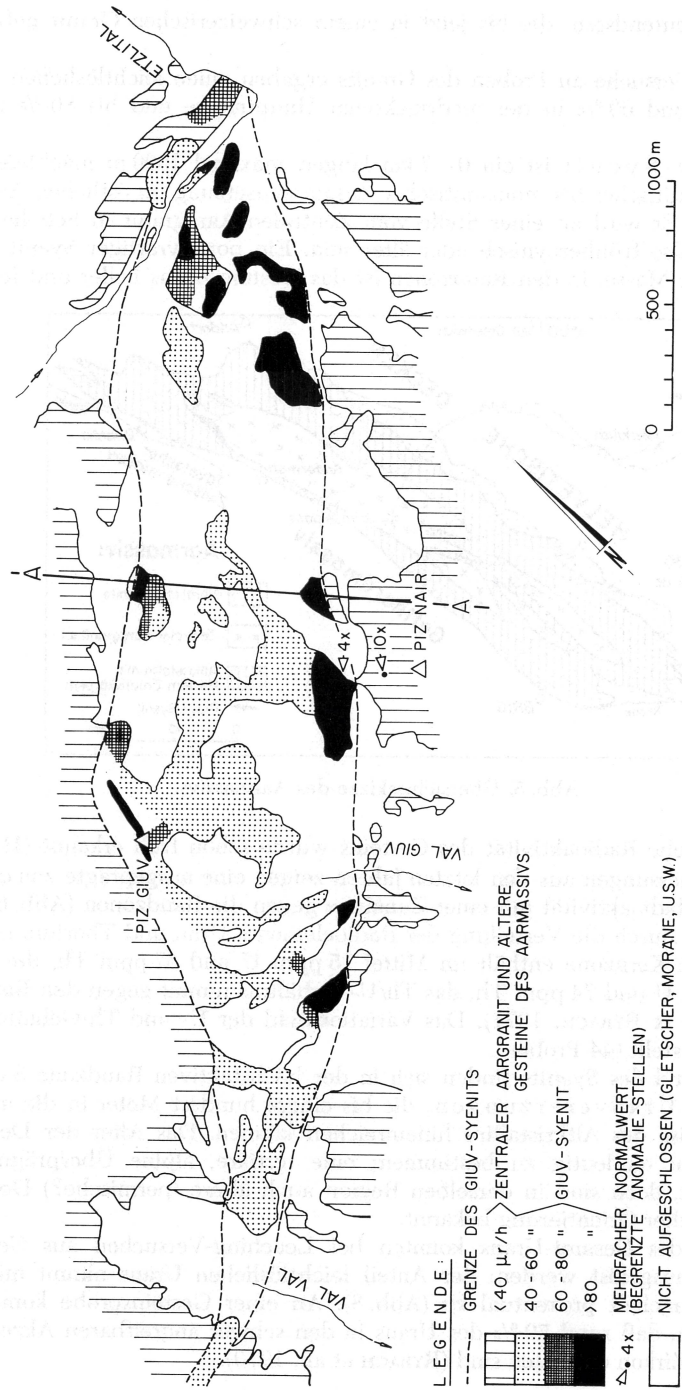


Abb. 6. Zonare Verteilung der Radioaktivität im Giuv-Syenit (basierend auf Feldmessungen).

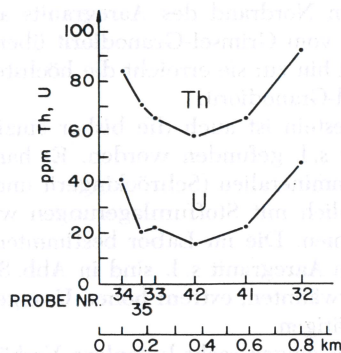


Abb. 7. Die Variation der Uran- und Thorium-Gehalte in einem Querprofil durch den Giuv-Syenit. Profilsur s. Abb. 6 (A—A).

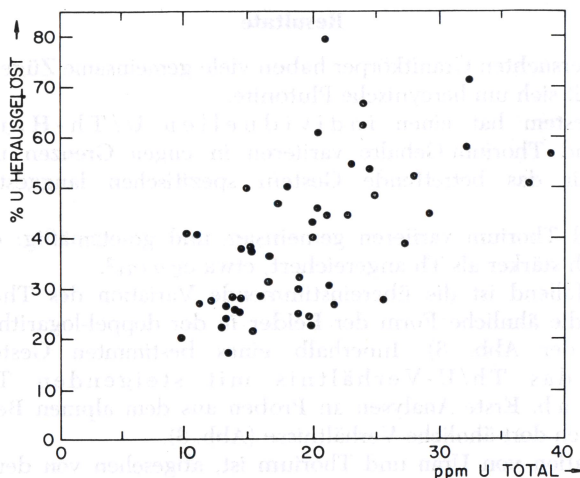


Abb. 8. Verhältnis Gesamt-Uran/lösliches Uran in Proben des Giuv-Syenits, ermittelt durch Leaching-Versuche (s. Text).

Vom Zentralen Aaregranit s.l., dem rund 100 km langen und maximal 8—9 km mächtigen Hauptgesteinszug des Aarmassivs (Abb. 5) liegen sehr viele Feldmessungen vor. Wir greifen hier nur die Resultate unserer Untersuchungen am Grimsel-Querprofil (Stollen der Transitgas-Linie) heraus. Im Grimselgebiet liegt südlich des Zentralen Aaregranits s. str. der Grimsel-Granodiorit, nördlich davon der Mittagfluh-Granit. Rb-Sr-Altersbestimmungen (eine Gesamtgesteins-Isochrone) ergaben ein innerhalb der Fehlergrenzen identisches, hercynisches Alter für alle drei Gesteine, ebenfalls für Aplitgranitstöcke im Grimsel-Granodiorit (WÜTHRICH, 1965). Feldbeobachtungen zeigen, daß der Grimsel-Granodiorit ganz kurz vor dem Zentralen Aaregranit eingedrungen ist (STALDER, 1964). Der Mittagfluhgranit wird oft als jüngere „Randintrusion“ gedeutet, doch finden

sich ähnliche Gesteine am Nordrand des Aaregranits als aplitische Randfazies. Die Radioaktivität nimmt vom Grimsel-Granodiorit über den Zentralen Aaregranit zum Mittagfluh-Granit hin zu; sie erreicht die höchsten Werte in Aplitgranitstöcken im Grimsel-Granodiorit.

In einem derartigen Gestein ist auch die bisher einzige Uranvererzung des Zentralen Aaregranits s.l. gefunden worden. Es handelt sich nach VALENTA (1972) um sekundäre Uranmineralien (Schröckingerit und Grimselit); die Mineralisation hängt wahrscheinlich mit Stoffumlagerungen während der Bildung der alpinen Zerrklüfte zusammen. Die im Labor bestimmten U- und Th-Gehalte an Proben aus dem Zentralen Aaregranit s.l. sind in Abb. 3 dargestellt (30 Proben). Die von HIRSCH (1948) erwähnten, extrem hohen Urangelhalte des Mittagfluhgranits können wir nicht bestätigen.

Erste Leaching-Versuche zeigen recht komplexe Verhältnisse. Im Gegensatz zu den drei andern Granitkörpern nimmt der prozentuale Anteil leichtlöslichen Urans mit zunehmenden Urangelhalten ab (90—40 %).

Resultate

Die vier untersuchten Granitkörper haben viele gemeinsame Züge:

1. Es handelt sich um hercynische Plutonite.
2. Jedes Gestein hat einen individuellen U/Th-Haushalt: die Uran- und Thorium-Gehalte variieren in engen Grenzen und liegen in einem für das betreffende Gestein spezifischen langgestreckten Feld (Abb. 3).
3. Uran und Thorium variieren gemeinsam und gesetzmäßig; dabei wird U wesentlich stärker als Th angereichert, etwa $cu \propto c_{Th}^2$.
4. Sehr auffallend ist die übereinstimmende Variation des Th/U-Verhältnisses (vgl. die ähnliche Form der Felder in der doppel-logarithmischen Darstellung der Abb. 3). Innerhalb eines bestimmten Gesteinskomplexes nimmt das Th/U-Verhältnis mit steigenden Thoriumgehalten ab. Erste Analysen an Proben aus dem alpinen Bergeller-Granit zeigen auch dort ähnliche Verhältnisse (Abb. 3).
5. Die Variation von Uran und Thorium ist, abgesehen von den eigentlichen Vererzungen, petrologisch kontrolliert. Eine Anreicherung der Radioelemente ist festzustellen
 - in den oft feinkörnig und aplitisch entwickelten Randzonen der Eruptivkörper
 - bei eigentlichen Intrusionsfolgen in den jüngeren und saureren Gliedern, besonders in aplitgranitischen Gesteinen.
6. Jüngste, geringmächtige Aplitgänge zeigen fast immer eine Tendenz zu extrem niedrigen Th/U-Verhältnissen und kommen im Diagramm (Abb. 3) weit links außerhalb des Variationsfeldes des betreffenden Gesteinskomplexes zu liegen.
7. Mehrere der untersuchten Gesteine sind ausgesprochen uran- und thoriumreich. Der mittlere Gehalt granitischer Gesteine an U beträgt etwa 3—5 ppm, an Th 10—20 ppm (CLARK et al. 1966). Der Giuv-Syenit, der Mont Blanc-Granit und der Zentrale Aaregranit s.l. liegen wesentlich über diesem Mittel. Dasselbe gilt übrigens auch für eine Reihe weiterer kleiner

Granitstöcke des Aarmassivs (Punteglias-Granit, FÖHN & RYBACH, 1968; Granit von Bitsch, LABHART, 1969).

8. Uranvererzungen finden sich dort, wo entweder ein hoher Urangelalt oder aber ein hoher Anteil an leichtlöslichem Uran vorliegt. Charakteristisch sind Vererzungen in den Randzonen der Granite. Die Vererzungen sind stets an eine tektonische Überprägung gebunden, deren Alter selten eindeutig festzulegen ist. An die alpine Gebirgsbildung geknüpfte Bewegungen sind in allen Fällen sicher vorhanden. Sie überprägen aber häufig lagekonstant ältere (z. T. permische) Deformationen.

Diskussion

Wir haben bei den untersuchten Gesteinen zwei Arten der primären Anreicherung der Radioelemente U und Th festgestellt:

- in wenig differenzierten Gesteinen eine Zunahme vom Kern gegen die (oft feinkörnig und aplitisch entwickelte) Randfazies
- in differenzierten Komplexen mit eigentlicher Intrusionsabfolge eine Anreicherung vom Älteren zum Jüngeren und vom granodioritischen über das granitische zum aplitgranitischen Glied.

Beide Phänomene sind in der Literatur mehrfach beschrieben worden, ohne daß man sie in allen Fällen klar auseinander gehalten hat. Die Anreicherung in den randnahen Partien wurde seit der klassischen Arbeit von INGHAM & KEEVIL (1951) vielerorts beobachtet (Hinweise in ROGERS & ADAMS, 1969, 92—E—7). Neben den erwähnten schweizerischen Beispielen hat auch der Rotondo-Granit einen eigentlichen Zonarbau (RYBACH et al., 1962). Die Untersuchung der Variation der Radioelemente in magmatischen Abfolgen zeigt in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle eine Anreicherung gegen jüngste und sauerste Glieder (Literatur s. z. B. in ROGERS & ADAMS, 1969, 92—E—6). Oft bleibt dabei das Th/U-Verhältnis annähernd konstant, in anderen Fällen ist — wie bei uns — ein kontinuierliches Absinken festzustellen. Wie kürzlich BARTHEL & MEHNERT (1970) am Beispiel des Malsburger Granits gezeigt haben, kann das Th/U-Verhältnis durch Anreicherung von U und Abnahme von Th extrem ändern (Abnahme von 10 in Granodioriten auf 2 im Kerngranit). Granite mit hohen Urangelhalten gehören oft als Endglieder zu stark differenzierten magmatischen Serien (GANGLOFF, 1970; RANCHIN, 1970).

Uran wird also zweifellos bei magmatischen Vorgängen angereichert; ökonomisch interessante Konzentrationen entstehen dabei jedoch nicht. Die große Bedeutung hochradioaktiver Granite liegt in ihrer Funktion als Uranquelle für Umlagerungen und sekundäre Konzentrationen. Zweiglimmergranite mit 15—22 ppm U sind in Zentralfrankreich das Muttergestein der Uranlagerstätten (GANGLOFF, 1970); ähnliches gilt auch für die portugiesischen Vorkommen (MATOS DIAS & SOARES de ANDRADE, 1970) oder für die Mineralisationen des australischen Rum Jungle Complex (HEIER & RHODES, 1966).

Besonders geeignet als Uranlieferanten sind Gesteine, die nicht nur überdurchschnittlich viel Uran, sondern auch einen hohen Anteil leicht mobilisierbaren Urans enthalten („granites fertiles“ der französischen Autoren). Uranvererzungen in derartigen Granite zeichnen sich (wie unsere schweizerischen Mineralisatio-

nen) durch ihre räumlich enge Bindung an das Muttergestein aus. Die wohl schönsten Beispiele sind die Uranlagerstätten des Massif Central.

Starke Konzentrationen in den Randzonen der Granite können zwei Ursachen haben: einmal die Bindung an eine Zone mit primär hohen Gehalten an Uran und speziell an leichtlöslichem Uran (Giuvsyenit), andererseits eine stark erhöhte Wahrscheinlichkeit des Auftretens sprunghafter pH-E_h-Änderungen an Nebengesteinen (Biotitschiefern, Chloritschiefern, Amphiboliten, Lamprophyren) und an Bruch- und Mylonitzonen, was zur Ausfällung des als Uranyl-Komplex in wässriger Lösung transportierten Urans führt.

Trotz der alpinen Überprägung treffen wir in unseren zentralmassivischen Graniten Verhältnisse an, die denjenigen des Massif Central ähnlich sind:

- die räumliche Verknüpfung von Uranvererzungen mit hercynischen Graniten mit hohem Gehalt an Uran und an leichtlöslichem Uran
- die ausschließliche Bindung an eine postintrusive, tektonische Überprägung
- der Mineralbestand; einfache Paragenesen mit nur Pechblende (Begleitmineral Quarz oder Calcit) oder mit Pechblende und sulfidische Erze (Pyrit, Kupferkies, Zinkblende, Bleiglanz).

GANGLOFF (1970, p. 82, Fig. 1) hat gezeigt, daß diese Uranvorkommen vom Typ „uranifère propre“ (d. h. ohne Ni-Co-Bi-Ag) in einem Streifen der hercynischen Zone liegen, der vom Massif Central über Vogesen—Schwarzwald in den Südteil der Böhmisches Masse zieht. Unsere Granite bilden den alpin reaktivierten Südrand dieser Zone. Die alpin-tektonische und -metamorphe Überprägung und vor allem die sehr kräftige junge Hebung und Abtragung haben die Verhältnisse kompliziert. So konnte das postgranitische Alter der Erzkonzentrationen bis jetzt nicht bestimmt werden; im Massif Central scheint es durchwegs um 250 Mio. Jahre zu liegen.

Die junge intensive Erosion mag auch schuld daran sein, daß in unseren Graniten bis jetzt keine wirklich bedeutenden, abbauwürdigen Urankonzentrationen gefunden worden sind. Es sei daran erinnert, daß die französischen Vorkommen des Massif Central oberflächennahe Bildungen sind (RANCHIN, 1970, p. 403).

Die Prospektionsarbeiten werden nun, gestützt auf die Resultate dieser Untersuchung, fortgesetzt

- an Graniten, welche hohe leichtlösliche Uran-Anteile aufweisen
- in den Randzonen der Granitkörper
- mit besonderer Berücksichtigung tektonisch stark überprägter Abschnitte.

Die Geländeuntersuchungen wurden durch den „Arbeitsausschuß für die Untersuchung schweizerischer Mineralien und Gesteine auf Atombrennstoffe und seltene Elemente“ im Auftrage der Eidgenossenschaft (Abteilung für Wissenschaft und Forschung) durchgeführt. Die Laboruntersuchungen wurden finanziert durch einen Kredit des „Entwicklungsfonds seltene Metalle“.

Schriftenverzeichnis

- BAGGIO, P.: Il granito del Monte Bianco e le sue mineralizzazioni uranifere. — Studi e ricerche della divisione geomineraria, 2, Roma 1958.
- BARTHEL, F., & MEHNERT, K. R.: Die Verteilung von Uran und Thorium im Malsburger Granit. — N. Jb. Miner. Abh., 114, 18—47, 1971.
- CLARK, S. P., PETERMAN, Z. E., & HEIER, K. S.: Abundances of uranium, thorium and

- T. P. LABHART, L. RYBACH — Granite und Uranvererzungen in den Schweizer Alpen
potassium. — In: Handbook of Physical Constants, Clark, S. P., ed., Geol. Soc. Amer. Memoir 97, 1966.
- FÖHN, P., & RYBACH, L.: Das Radioaktivitätsprofil Fuorcla da Punteglias-Alp da Punteglias (Graubünden). — Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **47**, 581—598, 1968.
- GANGLOFF, A.: Notes sommaires sur la géologie des principaux districts uranifères étudiés par la CEA. — In: Uranium Exploration Geology. International Atomic Energy Agency, Vienna 1970.
- HEIER, K. S., & RHODES, J. M.: Thorium, Uranium and Potassium Concentrations in Granites and Gneisses of the Rum Jungle Complex. — Economic Geol., **61**, 563—571, 1966.
- HIRSCHI, H.: Radioaktivität einiger Schweizergesteine. — Vierteljahresschrift Naturforsch. Ges. Zürich, **65**, 209—247, 1920.
- : Radioaktivität und ihre Erscheinungen am Mittagfluhgranit, eine randliche Intrusion im Aarmassiv bei Guttannen. — Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **28**, 509—517, 1948.
- HÜGI, TH.: Uranvorkommen in der Schweiz. — Atomwirtschaft, **8**, 524—529, 1963.
- INGHAM, W., & KEEVIL, N.: Radioactivity of the Bourlamaque, Elzevir and Cheddar batholiths, Canada. — Geol. Soc. Amer. Bull., **62**, 131—148, 1951.
- LABHART, T. P.: Die petrologischen, tektonischen und radiometrischen Verhältnisse der Stollen der Electra-Massa. — Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **49**, 467—490, 1969.
- LABHART, T. P., & RYBACH, L.: Abundance and distribution of Uranium and Thorium in the Syenite of Piz Giuv (Aar-Massif, Switzerland). — Chem. Geol., **7**, 237—251, 1971.
- : Der Vallorcine-Granit und seine radiometrischen Anomalien. — Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **52**, 571—574, 1972.
- MATOS DIAS, J. M., & SOARES DE ANDRADE, A. A.: Uranium deposits in Portugal. Uranium Exploration Geology. — International Atomic Energy Agency, Vienna 1971.
- RANCHIN, G.: La géochimie de l'uranium et la différenciation granitique dans la province uranifère du Nord-Limousin. — Thèse Université de Nancy, 1970.
- V. RAUMER, J.: Kristallisation und Gefügebildung im Mont Blanc-Granit. — Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **47**, 499—575, 1967.
- : Stilpnomelan als alpinmetamorphes Produkt im Mont Blanc-Granit. — Contr. Mineral. and Petrol., **21**, 257—271, 1969.
- REINHARD, M., & PREISWERK, H.: Über Granitmylonite im Aiguilles Rouges-Massiv. — Verh. Naturf. Ges. Basel, **28**, 188—200, 1927.
- ROGERS, J. J. W., & ADAMS, J. A. S.: Handbook of Geochemistry, Part 92 (Uranium). — Berlin und Heidelberg (Springer), 1969.
- RYBACH, L.: Radiometric Techniques. — In: Modern Methods of Geochemical Analysis, Wainerdi, R. E., & Uken, E. A., eds. p. 271—318, New York (Plenum Press), 1971.
- RYBACH, L., HAFNER, St., & WEIBEL, M.: Die Verteilung von U/Th, Na, K und Ca im Rotondogranit. — Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **42**, 307—320, 1962.
- RYBACH, L., v. RAUMER, J., & ADAMS, J. A. S.: Gamma Spectrometric Study of Mont Blanc Granite Samples. — Pure and Appl. Geophys., **63**, 153—160, 1966.
- RYBACH, L., GRAUERT, B., & LABHARDT, T. P.: Nondestructive Determination of Uranium and Thorium in Accessory Minerals by Gamma Ray Spectrometry. — Eclogae Geol. Helv., **63**, 291—298, 1970.
- STALDER, H. A.: Petrographische und mineralogische Untersuchungen im Grimselgebiet. — Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **44**, 187—398, 1964.
- VALENTA, K.: Grimselit, ein neues K-Na-Uranyl-Karbonat aus dem Grimselgebiet. — Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **52**, 93—108, 1972.
- WÜTHRICH, H. M.: Rb-Sr-Altersbestimmungen am alpin überprägten Aarmassiv. — Schweiz. Miner. Petr. Mitt., **45**, 875—971, 1965.

Schweizerische Mineralogische und Petrographische Gesellschaft
Société Suisse de Minéralogie et Pétrographie

Gegründet 1924 — Fondée en 1924

Jahresbeitrag: Persönliche Mitglieder Fr. 30.—, unpersönliche Mitglieder Fr. 40.—. Keine Eintrittsgebühr. Lebenslängliche Mitgliedschaft wird durch einmalige Zahlung von Fr. 1050.— erworben. Anmeldungen als Mitglied sind zu richten an den Sekretär, PD. Dr. H. A. Stalder, Naturhistorisches Museum, Bernastrasse 15, 3000 Bern. Über den Verkauf erschienenener Hefte an Mitglieder gibt der Kassier, Prof. M. Weibel, Inst. für Kristallographie und Petrographie ETH, Sonneggstrasse 5, 8006 Zürich, Auskunft.

Zeitschrift der Gesellschaft (jährlich 3 Hefte, für Mitglieder gratis):

Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen
Bulletin Suisse de Minéralogie et Pétrographie

Redaktor: Dr. W. OBERHOLZER, Institut für Kristallographie u. Petrographie ETH,
Sonneggstrasse 5, CH-8006 Zürich

Abonnemente auf die Zeitschrift (für Nichtmitglieder) nimmt der Verlag Leemann,
Postfach, 8034 Zürich, entgegen (Preis Fr. 100.— plus Porto)
