

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN

Nr. 28

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

**Die Verteilung von U-Th, Na, K und Ca
im Rotondogranit**

von

L. RYBACH, ST. HAFNER und M. WEIBEL

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

Die nachfolgende Studie „Die Verteilung von U-Th, Na, K und Ca im Rotondogranit“ von L. Rybach, St. Hafner und M. Weibel bildet die Fortsetzung der „Radioaktivitätsmessungen an Gesteinen des St.-Gotthard-Profiles“ (Kleinere Mitteilungen Nr. 25). Sie befasst sich erstmalig an einem petrographisch sehr einheitlichen Granit eines alpinen Zentralmassives systematisch mit der γ -Radioaktivitätsverteilung in Beziehung zu den Gehalten an Alkalien und Calcium. Die beiden Organe möchten den Autoren für die gründliche Arbeit bestens danken.

Die Untersuchung erfolgte im Rahmen des Forschungsprogrammes des Arbeitsausschusses. Dieser verdankt seine Tätigkeit den Mitteln, die ihm die Kommission für Atomwissenschaften des Schweiz. Nationalfonds gewährt.

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

Zürich, den 3. November 1962.

Der Präsident der
Schweiz. Geotechnischen Kommission
und des Arbeitsausschusses

Prof. F. DE QUERVAIN

Die Verteilung von U-Th, Na, K und Ca im Rotondogranit*)

Von *Ladislav Rybach*, *Stefan Hafner* und *Max Weibel* (Zürich)

Mit 9 Textfiguren

Zusammenfassung

Die γ -Aktivität, sowie der Na_2O -, K_2O - und CaO -Gehalt verschiedener Proben des Rotondogranits wurden bestimmt. Aus der γ -Aktivität der Proben wurde der U-Th-Gehalt ermittelt. Das westliche Hauptmassiv des Granitstocks weist im Vergleich zu den übrigen granitischen Gesteinen des Gotthardmassivs (z. B. Fibbia- und Gamsbodengneis) eine deutlich erhöhte γ -Aktivität sowie einen ausgesprochen geringen CaO -Gehalt auf. Der Kern des westlichen Hauptmassivs ist ärmer an U-Th und etwas ärmer an Na. Der östliche Ausläufer des Rotondogranits, der sogenannte „Lucendro-“ und der sogenannte „Tremolagranit“, unterscheiden sich bezüglich ihres U-Th-Gehalts vom eigentlichen Rotondogranit. Ihre Werte sind denjenigen des Fibbiagneises sehr ähnlich.

Abstract

The γ -activity as well as the Na_2O , K_2O and CaO contents of several samples of the Rotondo granite were measured. The U-Th contents of the samples were determined from the γ -activity. The western part of the main granite mass shows a clearly higher γ -activity as well as a considerably lower CaO content than the other granitic rocks of the Gotthard massif (e. g. Fibbia and Gamsboden gneiss). The core of the main western granite mass is poorer in U-Th and slightly poorer in Na. The eastern extension of the Rotondo granite, the so-called „Lucendro“ and „Tremola“ granites, differ in their U-Th-contents from the Rotondo granite s. s.; these contents are similar to those of the Fibbia gneiss.

1. Einleitung

Seit einiger Zeit hat sich erwiesen, dass der *Rotondogranit* — ein Biotit-Albitgranit des Gotthardmassivs — eine Reihe von Merkmalen aufweist, die ihn von den übrigen granitischen Gesteinen des Massivs, wie Fibbiagneis, Gamsbodengneis, Medelsergranit, absondern. Solche Merkmale sind zum Beispiel die auffallend schwache Überprägung nach

*) Erscheint gleichzeitig als „Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen Nr. 28“.

der Granitbildung oder die durchwegs scharfen Kontakte zum Nebengestein. Vielleicht ein besonders charakteristisches Kennzeichen ist das Zirkon-Alter einer Granitprobe vom Chüebodenhorn (vgl. Tab. 1).

Die Sonderstellung des Rotondogranits in den Zentralalpen schien uns Berechtigung zu geben, die γ -Aktivität und die Verteilung des Na_2O -, K_2O - und CaO -Gehalts im Granitkörper etwas gründlicher zu untersuchen. Es bestand dabei die Hoffnung, weitere Tatsachen zu gewinnen, die sich für die Diskussion über Alter, Entstehung sowie Verhältnis des Granits zu den übrigen granitischen Gesteinen des Gotthardmassivs oder zu irgendwelchen Granitkörpern als wertvoll erweisen könnten. Über die Problematik, die mit Alter und Entstehung des Rotondogranits verbunden ist, wurde an anderer Stelle ausführlich berichtet (siehe S. 169—207 dieses Bandes).

Tabelle 1. *Zirkon-Alter in granitischen Gesteinen des Gotthardmassivs. Mittel der U^{238}/Pb^{206} -, U^{235}/Pb^{207} - und Pb^{207}/Pb^{206} -Alter (nach GRÜNENFELDER, 1962).*

Rotondogranit	$150 \cdot 10^6$ a
Fibbiagneis	$325 \cdot 10^6$ a
Gamsbodengneis	$285 \cdot 10^6$ a
Medelsergranit	$315 \cdot 10^6$ a

2. Wahl der Gesteinsproben

64 über das Rotondomassiv möglichst gleichmässig¹⁾ verteilte Proben wurden ausgewählt. 52 Proben stammen aus dem westlichen Hauptmassiv, 12 aus dem östlichen, schmalen Ausläufer, nämlich 8 aus dem sogenannten „Lucendrogranit“ und 4 aus dem sogenannten „Tremolagranit“ an der St. Gotthardstrasse. An 33 Proben wurde flammenphotometrisch der K_2O - und Na_2O -Gehalt und titrimetrisch der CaO -Gehalt bestimmt. Die Messwertdichte beträgt 2,2 Proben/ km^2 für die Radioaktivitätsmessungen und 1,1 Proben/ km^2 für die chemischen Analysen. Über die Fundorte und über die Auswahl für die Analyse geben Fig. 7—8 und Tab. 3 Aufschluss.

Da es praktisch nicht möglich war, an jedem Fundort ganz frisches Material zu erhalten, wurde der „Verwitterungsgrad“²⁾ am Handstück abgeschätzt und der Probe ein Index (a—d, je nach der Stärke der Anwitterung) beigegeben (vgl. Tab. 3).

¹⁾ Soweit es die Begehrbarkeit des Massivs erlaubt.

²⁾ Besser „Anwitterungsgrad“. Alle Proben erscheinen im Dünnschliff unzeretzt.

3. Messung der γ -Aktivität

Die γ -Radioaktivität (Totalaktivität, α_{tot}) der Gesteinsproben wurde etwa 5 Wochen nach erfolgter Pulverisierung mit der von RYBACH (1961) beschriebenen Szintillometeranordnung gemessen. Die Restaktivität α_r , welche man nach Abzug des vom Kaliumgehalt der Probe herrührenden Strahlungsanteils erhält, wurde (wie allgemein üblich) in *Uranäquivalent*-Einheiten (ppm eU) ausgedrückt. Für die Korrektur der chemisch nicht analysierten Proben wurde mit dem K_2O -Mittelwert sämtlicher Proben des Granits gerechnet; der hier eingeschlagene Weg blieb also genau derselbe wie derjenige in RYBACH und HAFNER (1962), im Gegensatz zu LEIBLE (1959), der den K_2O -Gehalt anhand von Modalanalysen zu ermitteln versuchte. Die Resultate sind in den Kolonnen 6 bis 8 von Tab. 3 zu finden. Die Genauigkeit der angeführten Werte beträgt im Mittel $\pm 2\%$, was durch Messung der entsprechenden Impulszahl bei einem Signal-/Rauschverhältnis von rund 7 : 1 erreicht wurde.

Die Uranäquivalent-Werte sind deutlich höher als die tatsächliche Urankonzentration und sind etwas niedriger als der Thoriumgehalt. Um genaue Angaben machen zu können, sollte die Messapparatur auch für Thorium geeicht werden; zudem sollte noch das Th/U-Verhältnis in jeder Probe bekannt sein. Über die Strahlungsanteile des Urans und des Thoriums in derselben Probe lässt sich in erster Näherung folgendes sagen:

Die totale γ -Aktivität der Probe setzt sich zusammen gemäss

$$(1) \quad \alpha_{\text{tot}} = f_U \cdot c_U + f_{Th} \cdot c_{Th} + f_K \cdot c_K, \text{ oder}$$

$$(2) \quad \alpha_{\text{tot}} - f_K \cdot c_K = \alpha_r = f_U \cdot c_U + f_{Th} \cdot c_{Th}.$$

Hier bedeuten c_U , c_{Th} und c_K die Uran-, Thorium- und Kalium-Konzentrationen in ppm bzw. %; f_U , f_{Th} und f_K die entsprechenden Eichfaktoren in cpm/g, ppm bzw. %. Gleichung (2) kann man folgendermassen schreiben:

$$(3) \quad \frac{\alpha_r}{c_{Th}} = f_U \frac{c_U}{c_{Th}} + f_{Th}.$$

Mit den Annahmen, dass

- a) für sämtliche Gesteinsproben $c_U/c_{Th} \cong \text{konst} \cong 1/3,2$ (KEEVIL, 1944), ferner
- b) für die verwendete Apparatur (welche ein integrales γ -Spektrum misst) $f_{Th} \cong \frac{1}{2} f_U$ ($f_U = 0,075$ cpm/g, ppmU) gilt,

erhalten wir

$$(4) \quad c_{\text{Th}} \cong 16,4 \alpha_r, \text{ und auf ähnliche Art}$$

$$(5) \quad c_{\text{U}} \cong 5,12 \alpha_r.$$

Dies bedeutet, dass zum Beispiel eine Probe mit $\alpha_r = 2,00$ cpm/g (was 26,6 ppm eU entspricht), etwa 10,2 ppm U und 32,8 ppm Th enthält.

4. Chemische Bestimmungen

Die einzelnen pulverisierten Gesteinsproben wurden systematisch bis auf eine Menge von etwa 0,5 g verjüngt, in einem Stahlmörser weitgehend zerkleinert und schliesslich in einer Achatschale fein zerrieben. Als Analyseverfahren dienten die Schnellmethoden nach WEIBEL (1961).

a) *Aufschluss*. Je 100 mg der Gesteinspulver wurden mit HF und HClO_4 in Platintiegeln aufgeschlossen. Die überschüssige Flusssäure wurde durch zweimaliges Abrauchen mit Perchlorsäure verdrängt.

b) *Na_2O - und K_2O -Bestimmung*. Vor der flammenphotometrischen Messung wurden die zwei- und mehrwertigen Kationen mittels Ammoniak und Ammoncarbonat ausgefällt. Die alkalischen Lösungen wurden mitsamt dem Niederschlag in Poliäthylenfläschchen über Nacht stehen gelassen und darauf die überstehende, klare Lösung für die definitive Messung abgenommen. Das EEL-Flammenphotometer Modell A (Evans Electroselenium Ltd.) wurde mit Lösungen von 12 mg Na_2O und 12 mg K_2O pro Liter auf Vollausschlag gestellt. Für die Flamme wurde — im Gegensatz zu WILLGALLIS (1957), der mit Leuchtgas arbeitete — Propangas verwendet. Um die Schwankungen der Galvanometermarke zu verhindern, wurde der Gasdruck mit Hilfe von Druckreduzierventilen auf rund 400 mm WS konstant gehalten. Der Luftdruck betrug 0,68 atü.

Jeder Aufschluss wurde zweimal wiederholt, grobe Fehler sind dadurch ausgeschlossen. Die Reproduzierbarkeit beträgt auf diese Weise 0,05 Gew.%, das heisst rund ein Rel.% des betreffenden Mittelwertes (siehe auch MEHNERT und WILLGALLIS, 1957).

c) *CaO-Bestimmung*. Calcium wurde titrimetrisch mit Komplexon III (EDTA) 0,01 m bestimmt. Als Indikator diente HHSNN (2-Hydroxy-4-sulfo-1-naphtylazo-3-naphtoesäure). Durch Zugabe von NaOH wurde der pH auf 13 gebracht, so dass Al und Mg nicht mehr störten. Der Einfluss von Fe und Ti wurde mit Triäthanolamin ausgeschaltet.

Die CaO-Bestimmungen wurden an der zweiten Aufschlussreihe wiederholt; der mittlere Fehler beträgt hier etwa 0,02 Gew.% (rund 5% des bestimmten Wertes).

5. Diskussion

a) Einfluss der Verwitterung

In den Figuren 1 bis 4 sind die chemisch, beziehungsweise radio-metrisch bestimmten Werte eingezeichnet. Sie sind nach dem Verwitterungsgrad der betreffenden Gesteinsprobe geordnet. Die Indizes a bis d bedeuten: a = sehr frisch, b = frisch, c = rel. frisch, d = angewittert.

Danach ist der Streubereich des U-Th beziehungsweise des Ca für frische und verwitterte Proben etwa gleich gross (Fig. 1 und 2). Bei Na und K nimmt die Streuung mit zunehmendem Verwitterungsgrad etwas

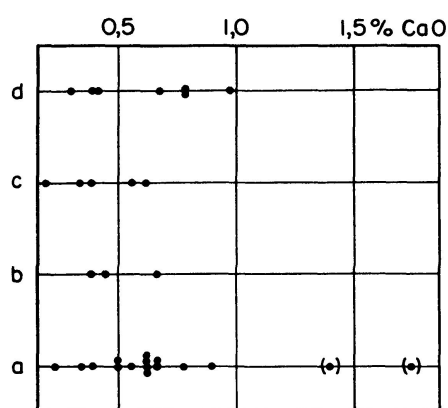


Fig. 1. Gesteinsverwitterung und CaO-Gehalt. Sämtliche untersuchten Proben sind eingetragen.
(·): Gneisschollen.

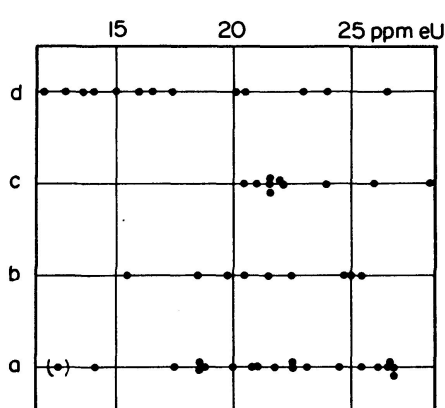


Fig. 2. Gesteinsverwitterung und U-Th-Gehalt. Die Proben aus dem westlichen Hauptmassiv sind eingetragen.
(·): Gneisscholle.

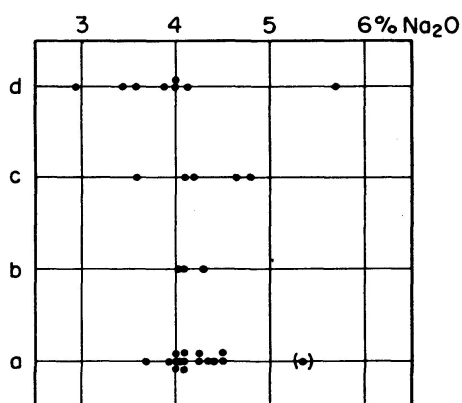


Fig. 3. Gesteinsverwitterung und Na₂O-Gehalt. Sämtliche untersuchten Proben sind eingetragen.
(·): Gneisscholle.

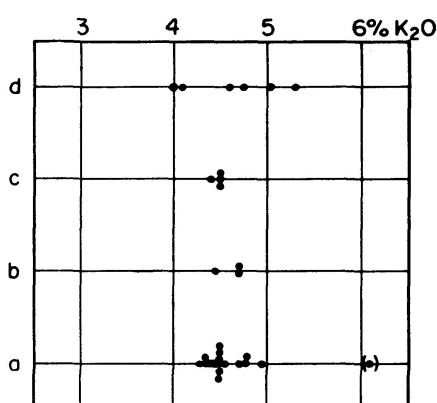


Fig. 4. Gesteinsverwitterung und K₂O-Gehalt. Sämtliche untersuchten Proben sind eingetragen.
(·): Gneisscholle.

berechneten k-Werte (Tab. 3). Die Werte — etwa 9 analysierte Proben liegen innerhalb 200 Meter von der Kontaktgrenze — geben somit keine Hinweise für die Existenz einer natriumreichen, aplitischen Randfazies

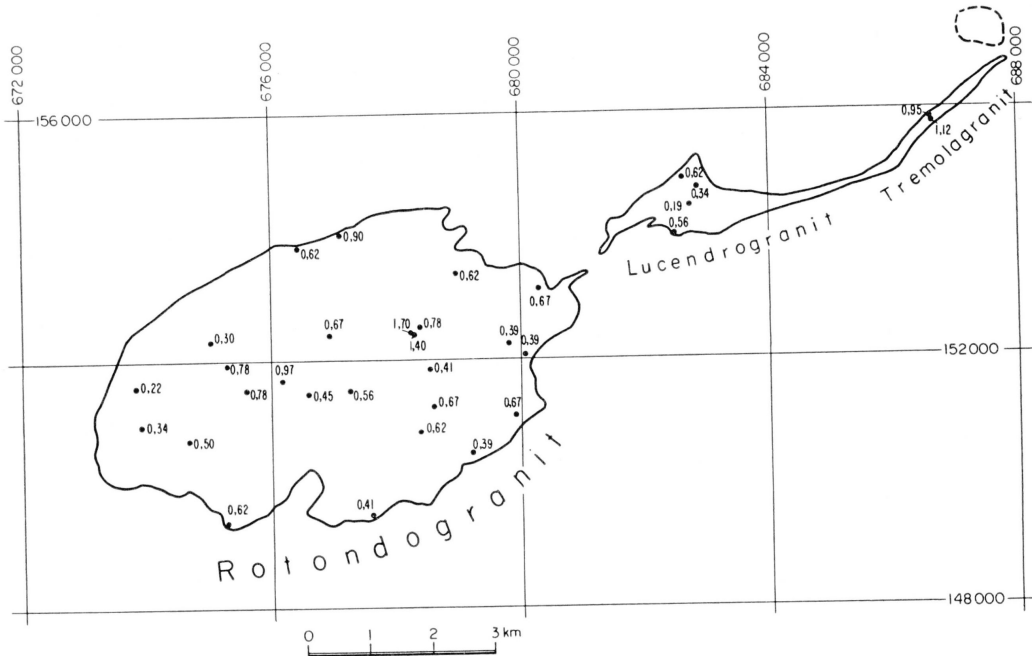


Fig. 6. CaO-Gehalte einiger Proben des Rotondogranits in Gew. %.

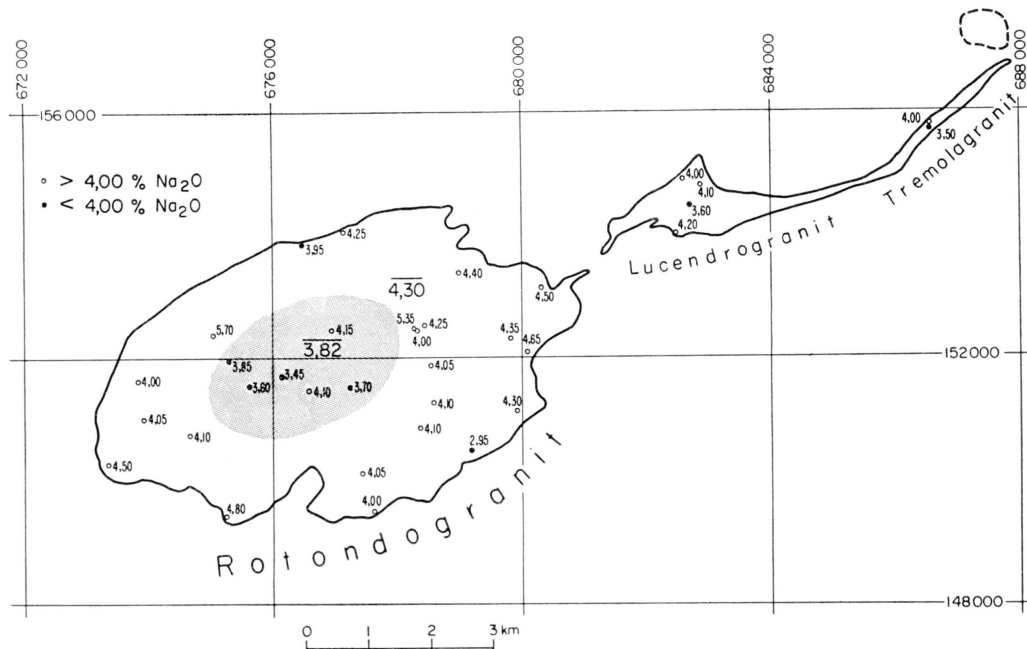


Fig. 7. Na_2O -Gehalte einiger Proben des Rotondogranits in Gew. %. Die dunkle Fläche markiert den etwas Na-ärmeren Kern. Mittelwert im Kern: 3,82%, in der Randzone: 4,30%.

im Sinne zum Beispiel **SONDERS** (1921, S. 341). Die früher mehrfach geäußerte Annahme, dass der Granit eine Natriumzufuhr in die Gesteine der Tremolaserie (südlich des Rotondogranits gelegene Paragesteinsserie) verursacht habe (**HEZNER**, 1909; **NIGGLI**, 1929), findet vorläufig keine Bestätigung. Mehrere in Kontaktnähe gelegene Proben haben hingegen einen leicht erhöhten Gehalt der Summe der Alkalien.

Fig. 8 zeigt den aus der γ -Aktivität berechneten Uran-Thoriumgehalt des Rotondogranits. In der *regionalen* Verteilung der Aktivität spiegelt

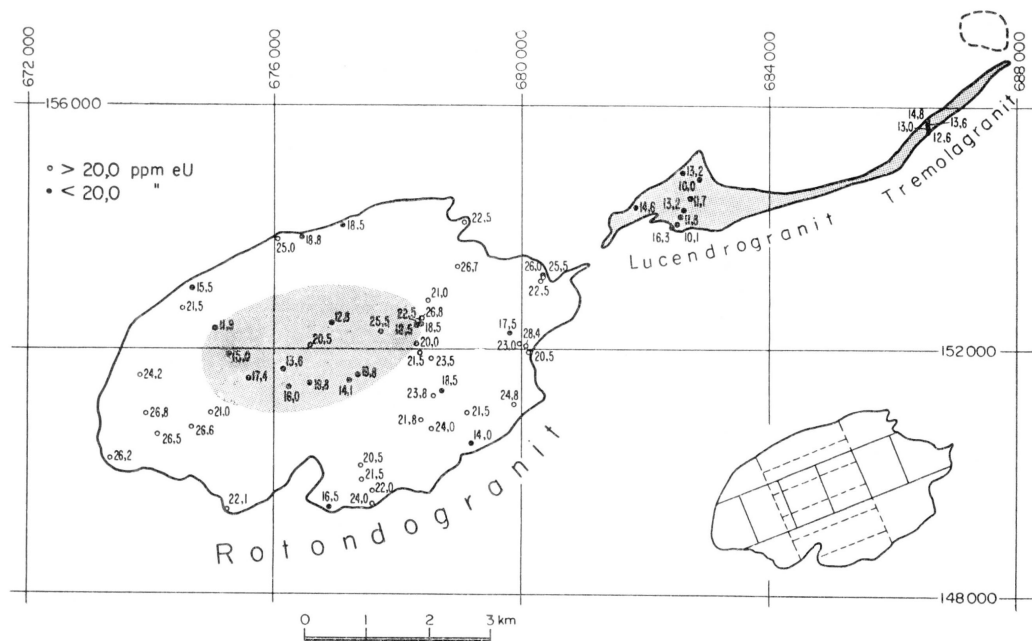


Fig. 8. Uran-Thoriumgehalte einiger Proben des Rotondogranits in ppm eU. Die dunkle Fläche markiert den deutlich U-Th-ärmeren Kern. Mittelwert im Kern: 17,0 ppm eU, in der Randzone 22,4 ppm eU. Im Kärtchen rechts ist das Netz eingezeichnet, das für die Bildung der Mittelwerte der Fig. 9 verwendet wurde.

sich ein *deutlicher Zonarbau des Granitstocks* wider. Fig. 9a und 9b geben ein Längs- und ein Querprofil durch das Massiv. Man beachte die Zunahme der γ -Aktivität und somit des Uran-Thoriumgehalts gegen die Randgebiete des Granits hin. Die Zonarverteilung entspricht sehr weitgehend derjenigen verschiedener in ähnlicher Hinsicht untersuchter Granitmassive: die vier kanadischen Batholite des Bourlamaque-Granodiorits, des Elzevir-Granodiorits, des Cheddar-Granits (**INGHAM** und **KEEVIL**, 1951) und des Round-Lake-Granits (**SLACK** und **WHITHAM**, 1951), ferner der Malsburger Granit im Südschwarzwald (**LEIBLE**, 1959), haben

ganz ähnliche Kernpartien verhältnismässig niedriger Aktivität. Der Verteilung ist möglicherweise noch der Einfluss der morphologischen Verhältnisse überlagert. Eine deutliche Abhängigkeit der γ -Aktivität der Proben von der Meereshöhe (verschiedene Erosionsniveaus) konnten wir allerdings nicht feststellen (im Gegensatz zu LEIBLE, 1959).

Die obengenannte Zonarstruktur bestimmt auch die *statistische* Verteilung der Radioaktivität im Granitkörper. Die Ansichten von JEFFREYS (1952, S. 277) und AHRENS (1954), die eine logarithmische Verteilung im Sinne des III. PEIRSONSchen Gesetzes angegeben haben, konnten in unserem Falle nicht bestätigt werden.

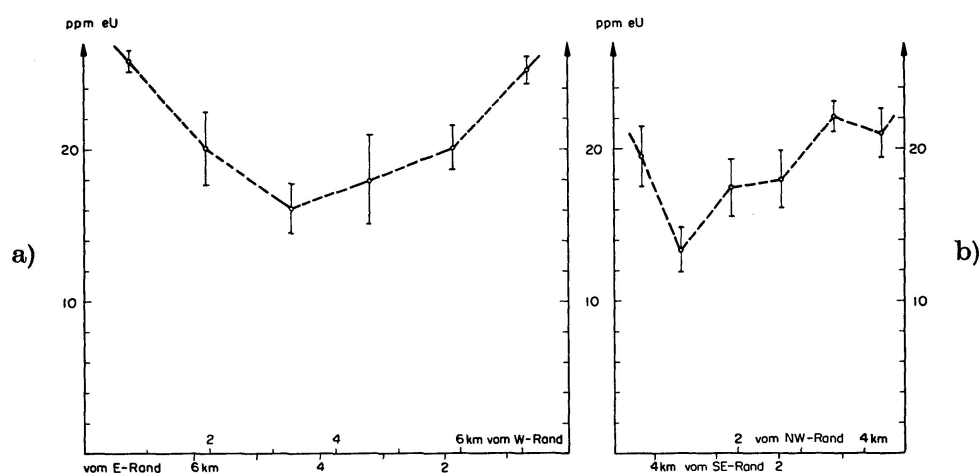


Fig. 9. U-Th-Profil durch das Rotondomassiv: a) West-Ost-Profil, b) Nord-Süd-Profil. Die Punkte sind Mittelwerte der Proben, welche in die Flächen des in Fig. 8 rechts unten angegebenen Netzes fallen. Die senkrechten Striche geben die mittleren Fehler an.

Über die Verteilung *im Gefüge* lässt sich folgendes sagen³⁾: Anhand der zur Verfügung stehenden Daten über die durchschnittlichen Uran-gehalte gesteinsbildender Mineralien in Graniten (LARSEN und PHAIR in FAUL, 1954, S. 75; PICCIOTTO, 1950), ferner anhand des von GRÜNENFELDER und HAFNER (1962) bestimmten Werts des Zirkons in der Chüebodenhorn-Probe lässt sich berechnen, dass mindestens die Hälfte der Aktivitätsträger intergranular vorhanden sein muss.

Die Radioaktivität des Rotondogranits ist im Vergleich zu anderen granitischen Gesteinen des Gotthardmassivs ausserordentlich hoch. Der

³⁾ Die gefügeanalytischen Daten des Rotondogranits siehe in GRÜNENFELDER und HAFNER (1962, Tab. 1).

Granit zeichnet sich von den Gesteinen herzynischen Alters, wie Fibbia- und Gamsbodengneis deutlich ab (vgl. Tab. 2). Wir sehen darin einen weiteren Hinweis, dass der Rotondogranit mit den erwähnten herzynischen Granitgneisen vielleicht weniger verwandt ist, als es bisher angenommen wurde (vgl. auch GRÜNENFELDER und HAFNER, 1962). Die Proben R 23 und R 24 (Tab. 3) betreffen die von HAFNER (1958, S. 264) angeführten Gneisschollen im Zentrum des Granitstocks. Dieser Gneiskörper besitzt scharfe Kontakte zum Granit. Die Probe R 24 ist nach Mineralgehalt, Struktur und Textur dem Fibbiagneis sehr ähnlich. Die Ähnlichkeit wird durch den hohen CaO-Gehalt beider Proben sowie durch den niedrigen U-Th-Gehalt von Probe R 24 unterstrichen.

Tabelle 2. *Uran-Thorium-Gehalte von granitischen Gesteinen des Gotthardmassivs* (siehe auch RYBACH und HAFNER, 1962).

	(U + Th) _{ppm eU}	Proben- zahl	Gew.- % Na ₂ O	Gew.- % K ₂ O	Gew.- % CaO	Proben- zahl
Rotondogranit (Kern)	17,0	11	3,82			
„ (Randzone)	22,4	39	4,30	4,45	0,56	26
Lucendrogranit	12,6	8	3,98	4,62	0,43	4
Tremolagranit	13,5	4	3,75	4,80	1,04	2
Fibbiagneis	16,0	6	4,00	4,70	1,40	3

Interessant sind die γ -Aktivitätswerte des „Lucendrogranits“ und des „Tremolagranits“. Die beiden Granite sind bezüglich ihrer Aktivität eher dem Fibbiagneis ähnlich als dem Rotondogranit (Fig. 8 und Tab. 2). Würden sie mit Sicherheit einen Ausläufer des Rotondogranits darstellen, so sollte ihre Aktivität mindestens die Intensität der Randzone des Rotondomassivs erreichen, wie dies zum Beispiel bei einem ganz ähnlichen Ausläufer des Bourlamaque-Batholits der Fall ist. Immerhin haben SONDER (1921) und HAFNER (1958) darauf hingewiesen, dass Lucendro- und Tremolagranit petrographisch dem Rotondogranit sehr gleichen, sich aber vom Fibbiagneis deutlich unterscheiden.

Die Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes des „Arbeitsausschusses für die Untersuchung schweizerischer Mineralien und Gesteine auf Atom-brennstoffe und seltene Elemente“ durchgeführt. Wir danken den Herren Professoren Th. Hügi, F. de Quervain sowie den Herren F. Waldner und Dr. M. Grünenfelder herzlich für ihre freundliche Mithilfe.

Tabelle 3. Radioaktivität, U-Th-, Na₂O-, K₂O- und CaO-Gehalte einiger Gesteinsproben des Rotondo-, Lucendro- und Tremolagranits. Analytiker: L. RYBACH und M. WEIBEL.

Nr. der Probe	Makroskopische Merkmale	Verwitterungs-grad	Koordinaten	Höhe über Meer	Totalaktivität α_{tot} (cpm/g)	Restaktivität α_r (cpm/g)	Restaktivität in ppm eU	Na ₂ O-Gehalt in Gew. %	K ₂ O-Gehalt in Gew. %	CaO-Gehalt in Gew. %	CaO-Gehalt in Gew. %	k = Mol. $\frac{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O}}$
Proben aus dem westlichen Hauptmassiv												
R 2	grobkörnig	d	676.680/152.110	2260	1,812	1,543	20,5					
R 17	aplitisch	c	680.390/153.150	2580	2,222	1,953	26,0					
R 18	Normaltyp	a	680.390/153.150	2580	2,180	1,911	25,5					
R 19	quarzreich	a	680.410/153.150	2570	1,965	1,712	22,5	4,50	4,40	0,67		0,3915
R 21	Normaltyp	a	678.420/152.600	2810	1,690	1,421	18,5					
R 23	Scholle, stark vergneist, quarzarm, biotitreich	a	678.280/152.550	2760	2,060	1,710	22,5	5,35	6,10	1,74		0,4289
R 24	Scholle, vergneist, biotitreich	a	678.280/152.550	2760	1,219	0,953	12,5	4,00	4,45	1,40		0,4226
R 50	Normaltyp	c	674.970/150.980	2390	1,860	1,591	21,0					
R 51	biotitreich, leicht vergneist	a	674.670/150.740	2600	2,272	2,013	26,6	4,10	4,50	0,50		0,4197
R 52	feinkörnig	d	674.100/150.640	2440	2,260	1,991	26,5					
R 53	Normaltyp	a	673.880/151.000	2260	2,320	2,047	26,8	4,05	4,75	0,34		0,4356
R 54	feinkörnig, leicht vergneist	a	673.850/151.630	2200	2,100	1,824	24,2	4,00	4,80	0,22		0,4416
R 55	Normaltyp	b	676.230/153.730	2480	2,168	1,899	25,0					
R 56	Normaltyp	a	676.580/153.920	2700	1,702	1,426	18,8	3,95	4,80	0,62		0,4446

Tabelle 3 (Forts.)

Nr. der Probe	Makroskopische Merkmale	Verwitterungs-grad	Koordinaten	Höhe über Meer	Totalaktivität α_{tot} (cpm/g)	Restaktivität α_r (cpm/g)	Restaktivität in ppm eU	Na ₂ O-Gehalt in Gew. %	K ₂ O-Gehalt in Gew. %	CaO-Gehalt in Gew. %	k = Mol. K ₂ O · $\frac{Na_2O + K_2O}{K_2O}$
R 57	Normaltyp	a	677.180/153.980	2880	1,650	1,400	18,5	4,25	4,35	0,90	0,4024
R 67	Normaltyp	c	675.220/149.400	2700	1,928	1,669	22,1	4,80	4,50	0,62	0,3818
R 68	Normaltyp	b	679.900/151.100	2000	2,121	1,865	24,8	4,30	4,45	0,67	0,4048
R 69	Normaltyp	b	679.340/154.290	2740	1,961	1,692	22,5	4,40	4,55	0,62	0,4049
R 70	leicht vergneist	a	678.960/153.260	2820	2,261	2,000	26,7	4,25	4,30	0,78	0,3999
R 71	feinkörnig	a	678.450/152.820	2760	2,260	2,013	26,8	4,25	4,30	0,56	0,4447
R 72	grobkörnig	b	676.850/152.260	2660	2,202	1,933	25,6	4,10	4,70	0,45	0,4302
R 73	grobkörnig	a	677.400/151.660	2690	1,337	1,078	14,1	3,70	4,50	0,50	0,3889
R 74	grobkörnig	b	676.690/151.450	2450	1,763	1,493	19,8	4,10	4,95	0,67	0,4431
R 79	aplitisch	b	674.600/152.650	1840	1,888	1,619	21,5	4,50	4,35	0,50	0,3889
R 80	grobkörnig	b	674.730/152.850	2010	1,450	1,181	15,5	4,50	4,35	0,50	0,3889
R 81	quarzreich	a	673.350/150.280	2575	2,218	1,968	26,2	4,50	4,35	0,50	0,3889
R 148	grobkörnig	a	678.670/151.260	2720	1,855	1,570	20,8	4,10	4,95	0,67	0,4431
R 166	Normaltyp	b	678.760/151.290	2720	1,665	1,396	18,5	4,10	4,95	0,67	0,4431
R 177	aplitisch	c	677.630/149.710	2420	1,920	1,651	22,0	4,10	4,95	0,67	0,4431
R 244	relativ grobkörnig	c	677.425/149.930	2690	1,900	1,631	21,5	4,10	4,95	0,67	0,4431
R 254	feinkörnig, deutlich vergneist	d	679.250/150.490	2280	1,308	1,072	14,0	2,95	4,10	0,39	0,4775
R 383	Normaltyp	c	678.560/150.680	2390	2,088	1,799	24,0	4,10	4,95	0,39	0,4775
R 453	Normaltyp	d	676.270/151.470	2140	1,479	1,210	16,0	4,00	4,60	0,41	0,4307
R 461	aplitisch	d	677.630/149.490	2290	2,068	1,803	24,0	4,00	4,60	0,41	0,4307
R 462	Normaltyp	a	677.270/151.600	2640	1,770	1,501	20,0	4,65	4,40	0,39	0,3837
R 509	aplitisch	c	680.150/152.100	2400	2,373	2,120	28,4	4,05	4,50	0,41	0,4226
R 658	Normaltyp	a	678.560/151.820	2810	2,040	1,784	23,5	4,05	4,50	0,41	0,4226

R 771	relativ grobkörnig, biotitarm	a	677.850/152.200	2580	1,589	1,330	17,5	4,35	4,50	0,39	0,4051
R 845	Normaltyp	b	677.330/150.080	2700	1,822	1,552	20,5	4,05	4,70	0,39	0,4332
R 868	grobkörnig	d	678.340/152.140	2800	1,781	1,512	20,1				
R 900	Normaltyp, etwas ver- gneist	d	676.950/152.460	2300	1,210	0,980	12,8	4,15	4,00	0,67	0,3885
R 922	aplitisch	c	680.150/152.000	2380	1,820	1,551	20,5				
R 979	Normaltyp	a	678.430/152.940	2800	1,845	1,576	21,0				
R 990	feinkörnig	d	676.930/149.450	2390	1,529	1,260	16,5				
R 994	biotitreich	c	679.160/150.940	2450	1,881	1,612	21,5				
R 1043	Normaltyp	c	678.440/149.930	2200	1,905	1,636	21,5				
R 1078	aplitisch	d	680.050/152.150	2460	2,005	1,736	23,0				
R 3871	Normaltyp	d	675.100/152.370	1960	0,969	0,912	11,9	5,70	1,08	0,30	0,1112
R 5291	Normaltyp	d	676.150/151.740	2200	1,317	1,044	13,6	3,45	4,75	0,97	0,4750
R 5431	grobkörnig	d	675.300/151.950	2000	1,450	1,145	15,0	3,85	5,30	0,78	0,4755
R 6551	Normaltyp	d	675.570/151.540	2020	1,610	1,320	17,4	3,60	5,05	0,78	0,4799
G-H	Normaltyp	a	678.450/150.800	2620	1,910	1,640	21,8	4,10	4,70	0,62	0,4302
Proben aus dem „Lucendrogranit“											
L 1	leicht vergneist	a	682.620/154.910	2740	1,280	1,021	13,2	4,00	4,50	0,62	0,4256
L 12	Normaltyp	b	681.850/154.330	2690	1,390	1,121	14,6				
L 450	aplitisch	c	682.520/154.060	2450	1,500	1,241	16,3	4,20	4,50	0,56	0,4135
L 451	Normaltyp	c	682.530/154.080	2450	1,058	0,790	10,1				
L 452	Normaltyp	c	682.550/154.120	2470	1,181	0,913	11,8				
L 454	Normaltyp	c	682.600/154.220	2495	1,280	1,012	13,2				
L 456	Normaltyp	c	682.790/154.500	2680	1,164	0,905	11,7	3,60	4,50	0,19	0,4514
L 509	biotitreich, leicht ver- gneist	c	682.910/154.740	2963	1,068	0,780	10,0	4,10	5,00	0,34	0,4455
Proben aus dem „Tremolagranit“											
T 178	leicht vergneist	c	686.700/155.925	2000	1,210	0,990	13,6	3,50	4,50	0,12	0,4590
T 1254	Normaltyp	b	686.725/155.950	2005	1,315	1,067	14,8	4,00	5,10	0,95	0,4562
T 1363	leicht vergneist	a	686.650/155.850	1970	1,170	0,952	13,0				
T 1386	Normaltyp	a	686.600/155.800	1965	1,120	0,902	12,6				

Literaturverzeichnis

SMPM = Schweiz. Mineralog. und Petrogr. Mitteilungen.

- AHRENS, L. H. (1954): The lognormal distribution of the elements. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 5, 49—73.
- FAUL, H. (1954): *Nuclear Geology*, New York.
- GRÜNFELDER, M. (1962): Mineralalter von Gesteinen aus dem Gotthardmassiv. SMPM 42, 6—7.
- GRÜNFELDER, M. und HAFNER, S. (1962): Über das Alter und die Entstehung des Rotondogranits. SMPM 42, 169—207.
- HAFNER, S. (1958): Petrographie des südwestlichen Gotthardmassivs (zwischen St.-Gotthardpass und Nufenenpass). SMPM 38, 255—362.
- HEZNER, L. (1909): Petrographische Untersuchungen der kristallinen Schiefer auf der Südseite des St. Gotthards (Tremolaserie). *N. Jb. Min. etc.* 27, 157—218.
- INGHAM, W. and KEEVIL, N. (1951): Radioactivity of the Bourlamaque, Elzevir, and Cheddar Batholiths, Canada. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 62, 131—148.
- JEFFREYS, H. (1952): *The Earth*, Cambridge.
- KEEVIL, N. (1944): Thorium-uranium ratios in rocks and minerals. *Amer. J. Sci.* 242, 309—321.
- LEIBLE, O. (1959): Die Verteilung der Radioaktivität, der Thorium- und Uran-gehalte im Malsburggranit (Südschwarzwald). *Z. Erzbergb. u. Metallhüttenw.* 12, 234—237.
- MEHNERT, K. R. und WILLGALLIS, A. (1957): Zum Alkalihaushalt der Granitisation im Schwarzwald an Hand flammenphotometrischen Reihenanalysen. *N. Jb. Miner., Abh.* 91, 104—130.
- (1961): Die Alkaliverteilung im Malsburger Granit (Südschwarzwald). *Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg* 5, 117—139.
- NIGGLI, P. (1929): Die chemisch-mineralogische Charakteristik der metamorphen Paragesteinsprovinz am Südrande des Gotthardmassivs. SMPM 9, 160—187.
- PICCIOTTO, E. (1950): Distribution de la radioactivité dans un granite. *Comptes rend.* 230, 2282—2284.
- RYBACH, L. (1961): Radiometrische Untersuchungen in der Misoxer Muldenzone. SMPM 41, 85—102.
- RYBACH, L. und HAFNER, S. (1962): Radioaktivitätsmessungen an Gesteinen des St. Gotthard-Profiles. SMPM 42, 209—219.
- SLACK, H. and WHITHAM, K. (1951): A Further Investigation of the Radioactivity of the Round Lake and Elzevir Batholiths. *Trans. Am. Geophys. Union* 32, 44—48.
- SONDER, R. (1921): Untersuchungen über den Differentiationsverlauf der spät-paläozoischen Granitintrusionen im zentralen und westlichen Gotthardmassiv. SMPM 1, 323—391, und Diss. Univ. Zürich.
- WEIBEL, M. (1961): Die Schnellmethoden der Gesteinsanalyse. SMPM 41, 285—294.
- WILLGALLIS, A. (1957): Beiträge zur flammenphotometrischen Alkalianalyse von Gesteinen. *Z. für analyt. Chem.* 157, 249—257.

Institut für Geophysik und Institut für Kristallographie und Petrographie der ETH, Zürich.

Manuskript eingegangen am 4. Juli 1962.