Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 56 (1976)

Heft: 3

Artikel: Radioaktivitätsprofile durch den Zentralen Aaregranit im Bereich der Schweizer Geotraverse

Autor: Labhart, T.P. / Rybach, L.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-43712

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 56, 669–673, 1976

Radioaktivitätsprofile durch den Zentralen Aaregranit im Bereich der Schweizer Geotraverse *)

Von *T. P. Labhart*[1]) und *L. Rybach*[2])

Abstract

Radioactivity measurements in hydroelectric, road and pipeline tunnels which cut the Central Aare Granite (Aar Massif, Switzerland) together with gamma spectrometric U and Th determinations on rock samples are reported. Within the granitic rocks of the Aar Massif there is a systematic trend of increasing U contents and decreasing Th/U ratios from the older to the younger units: Grimsel Granodiorite, 7.0 ppm U, Th/U = 2.7; Central Aare Granite, 11.0 ppm U, Th/U = 2.5; Mittagfluh Granite, 14.3 ppm U, Th/U = 2.4; Aplitegranite stocks, 14.4 ppm U, Th/U = 2.4; Aplitic veins, 18.7 ppm U, Th/U = 1.8 (mean values). In all profiles the radioactivity as well as the U and Th contents increase towards the rim of the Central Aare Granite. Possible explanations for this distribution pattern (migration mechanisms) are discussed.

Im Zusammenhang mit der Prospektion auf Atombrennstoffe haben wir in den letzten Jahren in den Schweizer Alpen mehrere hundert Kilometer Stollen radiometrisch vermessen. Die systematische Aufnahme von Kraftwerkstollen, Strassentunneln usw. ermöglichte das Studium kontinuierlicher Gesteinsserien und die Entnahme von unverwittertem Probenmaterial. Die *radiometrische Vermessung* erfolgte in den meisten Fällen mit tragbaren Szintillometern vom Typ SRAT (Ablesung in cps-Einheiten: 100 cps $\approx$ 25 μr/h). Von Anfang an wurde versucht, die Zusammenhänge zwischen der Lithologie/Petrographie der durchfahrenen Gesteine und der variierenden Gesteinsradioaktivität zu erfassen. Eine erste qualitative Auswertung der über 100000 gezielten Messungen ist bereits erfolgt (LABHART, 1976). Zusätzlich war es nun möglich, an mehr als 1000 Stollenproben quantitative Uran-Thorium-Bestimmungen durchzuführen. Die gammaspektrometrische Simultanbestimmung von U, Th (und K) erfolgt an Gesteinspulver; über die Analytik siehe RYBACH (1971). Es zeigt sich, dass die im Felde gemessene, unterschiedliche Radioaktivität der Gesteine grundsätzlich auf die entsprechend variablen Gehalte

*) Mitteilung Nr. 156 aus dem Institut für Geophysik der ETH Zürich.

[1]) Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität, CH-3012 Bern.

[2]) Institut für Geophysik der ETH Zürich, CH-8093 Zürich.

an Uran und Thorium zurückgeführt werden kann. Die Resultate liegen in Form der Gehalte c_U(ppm), c_{Th}(ppm) und c_K(%) vor; ferner wird für jede untersuchte Gesteinsprobe das Th/U-Verhältnis sowie die radiogene Wärmeproduktion A (in HGU-Einheiten) errechnet. Die radiogene Wärmeproduktion ist eine wichtige Grösse für die Berechnung von geothermischen Modellen (näheres siehe in RYBACH, 1976a). Ihr Wert stimmt, infolge der relativ einfachen Verhältnisse hinsichtlich der Messgeometrie im Stollen, im allgemeinen recht gut mit der Gesteinsradioaktivität (Gesamtaktivität, SRAT-Messung) an der entsprechenden Stelle überein.

Der Schwerpunkt unserer Untersuchungen liegt bei den *granitischen Gesteinen*, deren relativ hohe Radioaktivität in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung ist (kontinentaler Wärmefluss, Genese von Uranvorkommen usw.). Zudem waren dank den Stollenbauten in letzter Zeit – zumindest kurzfristig – viele einmalige Profile durch alpine Granite zugänglich. Es soll in diesem Rahmen nur über vorläufige *Resultate* von Untersuchungen in drei Stollen im engeren Bereich der Schweizer Geotraverse berichtet werden, welche Querprofile durch den Zentralen Aaregranit im Aarmassiv erschlossen haben. Es sind dies der nördlichste Teil des Gotthard-Strassentunnels, die Zuleitungsstollen zum Stausee Göscheneralp und die Stollen der Transitgas-Pipeline im Grimselprofil. Die Stollen-Radioaktivitätsprofile («Gamma-logs») sind meist durch kurzwellige Schwankungen der Gesteinsradioaktivität gekennzeichnet. Die Aktivitätsspitzen sind in der Regel durch aplitische Einlagerungen (oft nur dm-breit) bedingt; anderseits sind niedrige Radioaktivitätswerte oft an Lamprophyre gebunden, starke radiometrische Anomalien meist an Störungszonen (LABHART und RYBACH, 1974). Filtriert man diese Schwankungen heraus, so verbleibt noch oft ein stetiger Anstieg der Gesteinsradioaktivität gegen den Rand von Granitkörpern (Kontakt zum Nebengestein, meist Altkristallin).

Im *Gotthard-Strassentunnel* sind nur die südlichsten 3,4 km des im Reussquerschnitt rund 9 km mächtigen Zentralen Aaregranits angeschnitten. Das im Stollen gemessene Gammalog zeigt ein stufenartiges Ansteigen der Radioaktivität gegen den Südkontakt des Aaregranits. Dieser Anstieg ist bedingt durch eine entsprechende Zunahme der Uran- und Thorium-Gehalte (beim Uran von 6–8 ppm U auf 11–14 ppm U). In den Zuleitungsstollen zum *Stausee Göscheneralp* war ein komplettes Querprofil durch den hier rund 8 km mächtigen Aaregranit aufgeschlossen. Das Gammalog lässt eine ausgeprägte zonare Verteilung der Radioaktivität erkennen, mit einem sukzessiven Ansteigen vom Kern zum Rand. Der Urangehalt des Granits sinkt von 15–20 ppm im Norden auf 4–6 ppm im Zentralteil, um dann im Süden wieder auf 8–11 ppm anzusteigen, ganz analog zum Profil im Gotthard-Strassentunnel. Auch petrographisch ist ein Zonarbau festzustellen: zwischen einer recht einheitlichen, kilometermächtigen nördlichen und südlichen (Rand-) Fazies liegt eine unein-

heitliche, von zahlreichen Aplitgranitstöcken und Aplitgängen (mit erhöhter Radioaktivität) durchsetzte Zentralzone. Im Grimselgebiet erschlossen die *Stollen der Transitgas-Pipeline* ein Profil durch den hier viel differenzierteren Aaregranit-Komplex. Im Norden sondert sich der Mittagfluh-Granit als selbständige, randliche Teilintrusion ab; der Zentrale Aaregranit s.str. geht ohne scharfe Grenze aus dem wohl etwas älteren Grimsel-Granodiorit hervor. Endlich findet sich am Südrand des Komplexes der langgestreckte Südliche Aaregranit. Entsprechend der petrographischen Vielfalt ist das Gammalog recht kompliziert. Eine zonare Verteilung der Radioaktivität ist in zweifacher Hinsicht realisiert: einerseits zeigen die nördlichsten und die südlichsten Granite die höchsten Werte (Mittagfluh-Granit und Südlicher Aaregranit), anderseits stellt man an den einzelnen Granitkörpern beidseitig ein randliches Ansteigen fest. Ordnet man die Gesteine nach dem mutmasslichen *Alter*, so ergibt sich – von den älteren zu den jüngeren Gesteinen hin – eine Zunahme der mittleren Urangehalte und eine Abnahme der Th/U-Verhältnisse:

Gestein	c_U ppm (Mittel)	Th/U (Mittel)
Grimsel-Granodiorit	7,0	2,7
Zentraler Aaregranit	11,0	2,5
Mittagfluh-Granit	14,3	2,4
Aplitgranitstöcke	14,4	2,4
Aplitgänge	18,7	1,8

Eine Sonderstellung nimmt der Südliche Aaregranit ein mit 16 ppm U und dem aussergewöhnlich niedrigen Th/U-Verhältnis von 1,7.

Die Uran- und Thorium-Gehalte der Proben aus den drei Stollen sind in Fig. 1 aufgetragen (insgesamt 134 Werte, ohne Grimsel-Granodiorit und Südlicher Aaregranit). Die Analysenpunkte der Proben aus dem Zentralen Aaregranit s.str. belegen im U-Th-Variationsdiagramm ein gut umgrenztes Feld – ein Indiz für die deutlich positive Korrelation der beiden Radioelemente einerseits und für die geochemische Homogenität der Hauptmasse des grössten schweizerischen Granits anderseits. Die Punkte für Aplitgranitstöcke und für Aplitgänge (Kreise in Fig. 1) fallen oft aus dem Granitfeld heraus, häufig in Richtung höherer Urangehalte und niedrigerer Th/U-Verhältnisse. Alle von uns untersuchten alpinen Granite weisen diese Geschlossenheit der U- und Th-Verteilung auf. Als Beispiele haben wir in Fig. 1 die Umgrenzung der Variationsfelder für den Vallorcine-Granit (Labhart und Rybach, 1972), den Mont-Blanc-Granit (Labhart und Rybach, 1974) und den Giuv-Syenit (Labhart und Rybach, 1971) eingetragen. In die betreffenden Felder fallen jeweils über 85% aller Werte bei 40–60 Analysen. Die Felder sind sich in der Form ähnlich und überlagern sich nur teilweise oder gar nicht. Der Gehalt an den Spurenelementen Uran und Thorium wird auf diese Weise – abgesehen von seiner geophysikalischen Bedeutung – zum wichtigen geochemischen Charakteristikum granitischer Gesteine.

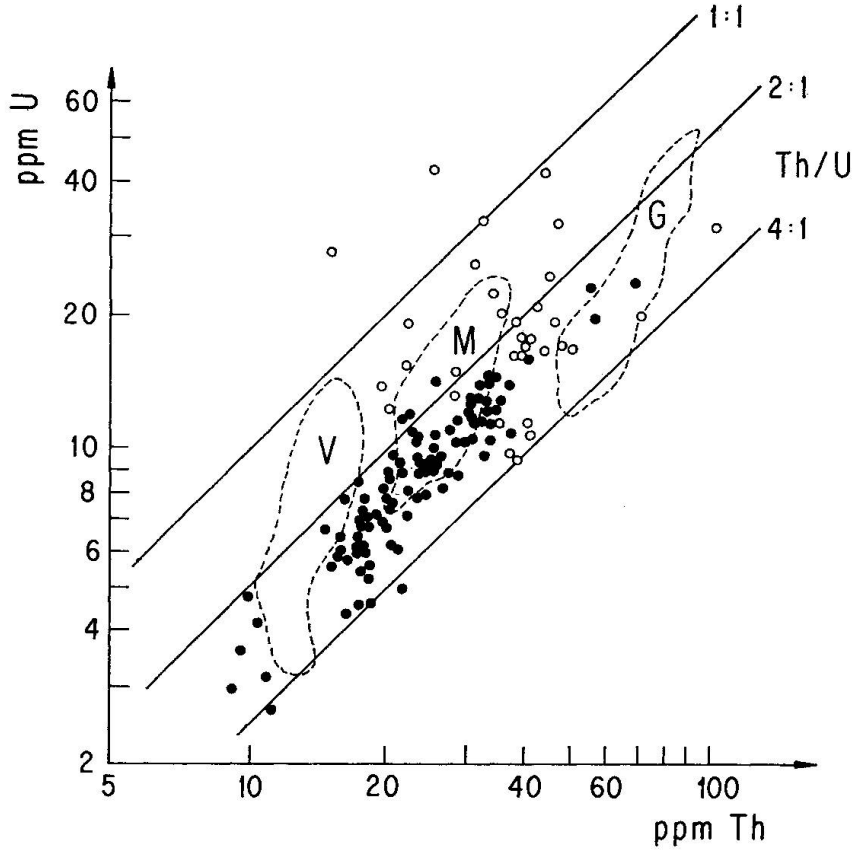

Fig. 1. Uran-Thorium-Variationsdiagramm des Zentralen Aaregranits s.str. Die Analysenpunkte der untersuchten Proben belegen ein gutdefiniertes, langgezogenes Variationsfeld bei einem Th/U-Verhältnis von rund 3,0; die Werte für Aplitgranitstöcke und Aplitgänge (Kreise) fallen oft aus dem Granitfeld heraus, meist in Richtung höherer U-Gehalte und niedrigerer Th/U-Verhältnisse. Zum Vergleich sind die Variationsfelder des Vallorcine-Granits (V), des Mont-Blanc-Granits (M) und des Giuv-Syenits (G) eingetragen (siehe Text).

Auffallend ist die räumlich ungleichmässige Verteilung der Radioelemente in den Granitkörpern. Randzonen enthalten zwei- bis fünfmal mehr Uran und Thorium als die Kernzonen, wobei das Phänomen beim Uran ausgeprägter ist. Der Ursprung dieser *zonaren Verteilung*, wie sie bei keinem anderen Element in diesem Ausmass angetroffen wird und die wir an fast allen alpinen Graniten feststellen konnten, ist sicherlich komplexer Natur. Wie die Anreicherung in bestimmten Granittypen und der oben beschriebene Trend in der Altersfolge zeigen, wird diese Verteilung einerseits petrologisch kontrolliert. Anderseits liegt hier vermutlich eine an hydrothermale Abkühlungsphasen gebundene Redistribution des geochemisch sehr mobilen Urans vor (Rybach und Labhart, 1973; Rybach, 1976b), das sich generell in den Randzonen anzureichern scheint und dort unter Umständen gar Lagerstätten-Konzentrationen erreichen kann (Labhart und Rybach, 1974). Möglicherweise kann das auf diese Weise entstandene «primäre» Verteilungsbild bei einer späteren mechanisch-thermischen Beanspruchung noch überprägt werden. Buntebarth (1975)

hat ein Migrationsmodell für die randliche Anreicherung von Uran entwickelt (kombinierte Diffusion und Migration des intergranularen Urans in Form von wässrigen Lösungen). Temperaturgradient, Druckgradient und chemisches Potential (zum Beispiel Ionenschichten an Kornoberflächen) kommen als Antriebskräfte in Frage. Für den Rotondo-Granit (Gotthardmassiv), dessen Zonarbau hinsichtlich U und Th von RYBACH, HAFNER und WEIBEL (1962) beschrieben wurde, errechnet sich mit diesem Modell eine Migrationszeit von rund 10^6 Jahren. Dieser Wert stimmt grössenordnungsmässig mit der Abkühlungszeit des Granitkörpers überein (BUNTEBARTH, 1976). Ferner resultiert für den Rotondogranit eine Migrationskonstante von $4 \cdot 10^{-4}$ cm²/sec und eine mittlere Migrationsgeschwindigkeit von 0,08 cm/Jahr. Analoge Modellrechnungen für die von uns untersuchten Granitkörper sind in Vorbereitung.

Die Stollenmessungen wurden finanziert durch den «Arbeitsausschuss für die Untersuchung schweizerischer Mineralien und Gesteine auf Atombrennstoffe und seltene Elemente», die Laboruntersuchungen durch den «Entwicklungsfonds Seltene Metalle». Für die gammaspetrometrischen Messungen stand ein Messplatz, angeschafft aus Mitteln des Schweizerischen Nationalfonds (Projekt Nr. 2.550.71), zur Verfügung. Ein Teil der Messungen wurde im Rahmen des Nationalfondsprojektes Nr. 2.230-0.74 durchgeführt.

Literaturverzeichnis

BUNTEBARTH, G. (1975): Geophysikalische Untersuchungen über die Verteilung von Uran, Thorium und Kalium in der Erdkruste sowie deren Anwendung auf Temperaturberechnungen für verschiedene Krustentypen. Diss. TU Clausthal.

BUNTEBARTH, G. (1976): Distribution of uranium in intrusive bodies due to combined migration and diffusion. Earth Planet. Sci. Lett. *32*, 84–90.

LABHART, T. P. (1976): Die Radioaktivität alpiner Gesteine. Schweizer Strahler *4*, 3–14.

LABHART, T. P. and RYBACH, L. (1971): Abundance and distribution of uranium and thorium in the syenite of Piz Giuv (Aar Massif, Switzerland). Chem. Geol. *7*, 237–251.

LABHART, T. P. und RYBACH, L. (1972): Der Vallorcine-Granit und seine radiometrischen Anomalien. SMPM *52*, 571–574.

LABHART, T. P. und RYBACH, L. (1974): Granite und Uranvererzungen in den Schweizer Alpen. Geol. Rundschau *63*, 135–147.

RYBACH, L. (1971): Radiometric Techniques. *In:* Modern Methods of Geochemical Analysis, Wainerdi, R. E. and Uken, E. A., eds., p. 271–318, New York (Plenum Press).

RYBACH, L. (1976a): Die Gesteinsradioaktivität und ihr Einfluss auf das Temperaturfeld in der kontinentalen Kruste. J. Geophys. *42*, 93–101.

RYBACH, L. (1976b): Radioactive heat Production: A physical property determined by the chemistry of rocks. *In:* The Physics and Chemistry of Minerals and Rocks, R. G. J. Strens, ed., p. 309–318, London, Wiley & Sons.

RYBACH, L. und LABHART, T. P. (1973): Regelmässigkeiten der Radioaktivitätsverteilung in granitischen Gesteinskörpern (Beispiele aus den Schweizer Alpen). SMPM *53*, 379–394.