Radioaktivitätsmessungen an Gesteinen des St. Gotthard-Profils

Autor(en): **Rybach, Ladislaus / Hafner, Stefan**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **42 (1962)**

Heft 1

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-32671

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Radioaktivitätsmessungen an Gesteinen des St. Gotthard-Profils *)

Von *Ladislaus Rybach* und *Stefan Hafner* (Zürich)

Mit 4 Tabellen, 5 Textfiguren und 1 Tafel

Zusammenfassung

Die γ-Aktivität von 67 typischen Gesteinsproben des Profils längs der St. Gotthardstrasse (Göschenen–Airolo) wurde gemessen und mit dem im Feld aufgenommenen Aktivitätsprofil verglichen. An 33 dieser Proben wurden die Na_2O-, K_2O- und CaO-Konzentrationen analytisch bestimmt. Die aus den Messungen ermittelten Uran- und Thorium- sowie Na_2O-, K_2O- und CaO-Gehalte der Gesteine sind in einer Tabelle zusammengestellt. Die Ergebnisse — insofern sie die granitischen Gesteinskörper des zentralen Aaregranits, des Gamsbodengneises, des Fibbiagneises und des Rotondogranits betreffen — werden petrographisch kurz diskutiert.

Abstract

The γ-activities of 67 typical rock samples from a profile along the St. Gotthard road (Göschenen–Airolo) were measured and compared with the activity profile measured in the field. The Na_2O, K_2O and CaO contents of 33 samples were determined analytically. The uranium and thorium contents obtained from the measurements as well as the Na_2O, K_2O and CaO contents of the rocks are given in a table. The results — as far as they concerne to the granite bodies of the central Aar massif, the Gamsboden gneiss, the Fibbia gneiss and the Rotondo granite — are discussed petrographically.

1. Einleitung

Im Bestreben, die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung von Gesteinen der Schweizer Alpen — insbesondere des *Gehalts an radioaktiven Elementen (U, Th, K)* — zu erweitern und zu verfeinern, schien es wünschenswert, die Radioaktivität einiger ausgewählter Gesteinsproben am

*) Erscheint gleichzeitig als „Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Kleinere Mitteilungen Nr. 25".

Profil längs der St. Gotthardstrasse zu messen. Quantitative Angaben über die Strahlungsintensität von Gesteinen sind vielleicht vor allem dann von gewissem Wert, wenn es sich um ein Gebiet handelt, dessen Geologie und Petrographie schon einigermassen erforscht und bekannt ist. Es gibt bis heute im Raum der Schweizer Alpen nur ganz wenige Arbeiten, die sich mit einer ausführlichen regionalen Beschreibung der Gesteinsradioaktivität befassen. Unsere Wahl fiel auf das Profil der St. Gotthardstrasse, weil es sich um eines der bestbekannten Alpenprofile handelt, das ein zentrales, petrographisch gut untersuchtes Gebiet, das Gotthardmassiv mit seinen nördlichen und südlichen Grenzregionen, durchquert.

Die ersten Untersuchungen über die Radioaktivität im Gotthardmassiv stammen von JOLY (1912). Das mittels einer grossen Zahl von Gesteinproben aus dem *St. Gotthardtunnel* aufgestellte Radioaktivitätsprofil ist wohl die erste Beschreibung der Gesteinsradioaktivität eines geschlossenen Gebietes überhaupt. In der Folge war es vor allem das Verdienst von HIRSCHI, in den dreissiger Jahren Messungen der Strahlungsintensität schweizerischer Gesteine durchgeführt zu haben, in einer Zeit, als über diese physikalische Erscheinung noch sehr wenig gesprochen wurde. Seine zahlreichen, während mehr als 10 Jahren gesammelten Messresultate, die damals noch grossen Zeitaufwand erforderten, besitzen heute freilich nur noch historischen Wert. Die in jener Zeit für die Bestimmungen gebrauchten Apparaturen lieferten verschiedene systematische Fehler. Die erhaltenen Werte waren zu hoch (vgl. hierüber zum Beispiel FAUL, 1954, S. 75). HIRSCHI fasste seine Untersuchungen wohl mit Recht nicht nur als rein beschreibende Beiträge zur Kenntnis der chemischen Zusammensetzung der Gesteine auf. Er betonte mehrmals, dass die Radioaktivitätsmessung eine neue, von den üblichen petrogra-

Tabelle 1. *Uran- und Thoriumgehalte von granitischen Gesteinen des Gotthardmassivs. Alte und neue Werte*

	HIRSCHI (1928)		Neue Mittelwerte	
	U_{ppm}	Th_{ppm}	$(U+Th)_{ppm\,eU.}$	Probenzahl
Gamsbodengneis	17,7	41	16,3	7
Fibbiagneis	9,2	—	16,0	6
Rotondogranit „Tremolagranit“	14,7	65	13,5	4

phischen Untersuchungsmethoden unabhängige Information liefere, die bei Betrachtungen über Entstehung und Geschichte der Gesteine zu berücksichtigen sei (vgl. zum Beispiel den heute noch richtigen Aufsatz „Anregungen zu absoluten Altersbestimmungen radioaktiver Gesteine der Schweiz", 1919). HIRSCHI beschäftigte sich hauptsächlich mit granitischen Gesteinen des *Aarmassivs* (1920, 1924, 1925, 1927, 1931), des *Bergells* (1920) und des *Gotthardmassivs* (1928). In Tabelle 1 können seine Resultate, insofern sie gleiche Gesteine betreffen, mit unseren Werten verglichen werden.

2. Messungen

Im Gegensatz zu JOLY (1912) wurden die neuen Aktivitätsmessungen nicht an Gesteinsproben des Gotthardtunnels, sondern an solchen der Passstrasse durchgeführt. Im Tunnel sind verschiedene Gesteinskörper, die an der Oberfläche aufgeschlossen sind, nicht angeschnitten. Von dort stehen auch nur die vom Tunnelgeologen STAPFF (1877—1882) während des Baus gesammelten, beschränkten Probenserien zur Verfügung (eine hiervon war von JOLY verwendet worden). Geologie und Petrographie sind ferner an der Oberfläche besser untersucht. Sie sind teilweise so kompliziert, dass sie mit den alten Tunnelaufnahmen nicht korreliert werden können.

Die Messungen erfolgten auf zwei verschiedene Arten:

a) Es wurden *Feldmessungen* längs der Passstrasse von Göschenen bis Airolo vorgenommen.
b) An *normierten Pulvern* von Gesteinen desselben Profils wurden Messungen im Laboratorium durchgeführt. Die Gesteinsproben wurden auf Grund der provisorischen Feldmessungen ausgewählt. Es wurde besonders darauf geachtet, möglichst alle Gesteinskörper durch typische Handstücke zu erfassen. Eine Nebenabsicht bestand ferner darin, den Wert der Feldmessungen zu überprüfen.

a) Feldmessungen

Die γ-Aktivität der an der Gotthardstrasse anstehenden Gesteine wurde alle 10 Meter mit einem tragbaren Szintillometer Berthold Typ LgS/B (Wildbad, Schwarzwald) gemessen. Der Raumwinkel variierte zwischen 2,0 π (Rundhöcker auf der Passhöhe) und 2,8 π (hohe, fast senkrechte Felswände). Da ein Teil der gemessenen Strahlungsintensität von der kosmischen Strahlung sowie dem natürlichen Radongehalt und den künstlichen Spaltprodukten der Atmosphäre stammt, der nicht

vernachlässigt werden kann, wurde der Bestimmung des *Nulleffekts* besondere Aufmerksamkeit zugewendet. Dieser wurde einerseits mit der von RYBACH (1961) beschriebenen *Bleiabschirmungsmethode* (Fig. 1) ermittelt, andererseits durch Messungen auf dem zugefrorenen Ritomsee am 5. 3. 1961 überprüft (Koord. der Messstelle 695.000/154.600; Stauhöhe 1827,5 m; 45 cm Eis, mindestens 35 m Wassertiefe). Der gemessene Nulleffekt von 4,5 Imp/sec entspricht 1,5 μr/h und stimmt mit dem nach Fig. 1 berechneten Wert von 5,0 Imp/sec (1,56 μr/h) innerhalb der zu erwartenden Fehlergrenze überein. Es ist bemerkenswert, dass diese Grössen etwa fünfmal niedriger sind als jene, die im Sommer 1958 auf dem Lago d'Osso im Misox gemessen und berechnet wurden (vgl. RYBACH, 1961) Die Tatsache erklärt sich durch die häufigen Kernwaffenexperimente des Jahres 1958 in der Atmosphäre. Die längs der Gotthardstrasse gemessenen Strahlungsintensitäten wurden nach der Berücksichtigung des Nulleffektes in μr/h-Einheiten umgerechnet. Sie sind auf der Tafel, unten, aufgetragen.

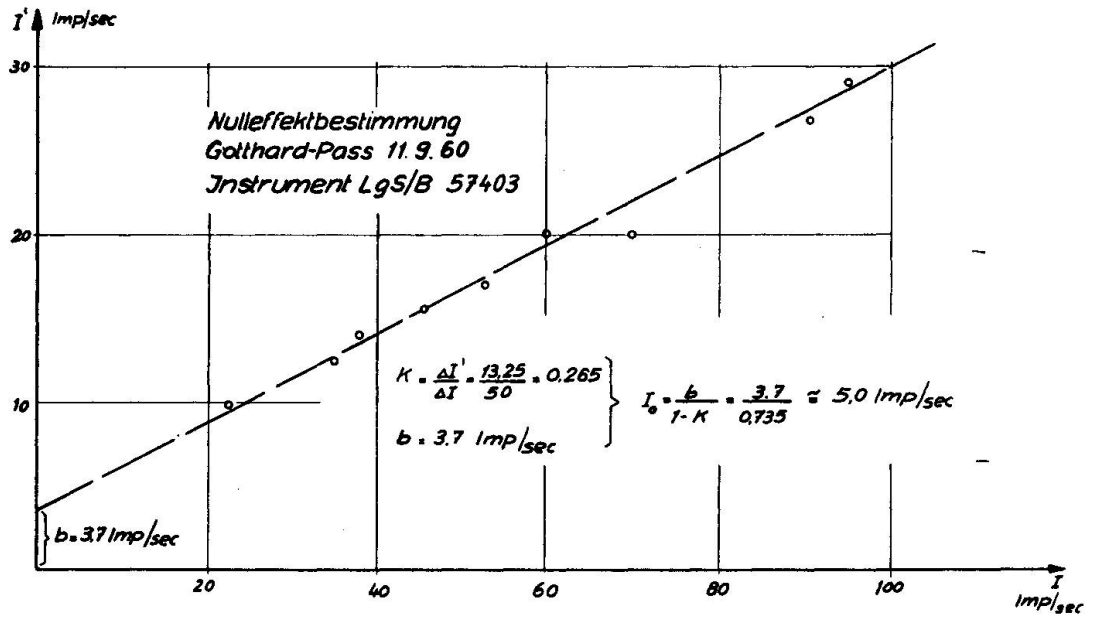


Fig. 1. Bestimmung des Nulleffektes I_0.

b) Quantitative Messungen an Gesteinspulver (Labormessungen)

Die quantitativen Bestimmungen der radioaktiven Elemente (Summe Uran, Thorium und Kalium) erfolgten mit Hilfe desselben, oben erwähnten Instruments nach der von RYBACH (1961) entwickelten und beschriebenen Methode. Die Messungen wurden jeweils vier Wochen

nach erfolgter Pulverisierung in Angriff genommen. Da die γ-Spektrometrie bei den hier vorhandenen geringen Aktivitäten nicht erlaubt, Uran, Thorium und Kalium voneinander zu trennen, musste das Kalium analytisch bestimmt werden (siehe unter c).

Die gesamte γ-Aktivität einer Gesteinsprobe setzt sich zusammen entsprechend der Gleichung

$$\alpha_{tot} = \alpha_r + f_K \cdot c_K$$

α_{tot} bedeutet die Totalaktivität (cpm/g)[1]), α_r die Restaktivität von Uran und Thorium (cpm/g), f_K die durch 1% K_2O verursachte spezifische Aktivität (für unsere Apparatur f_K = 0,0485 cpm/g, $\%K_2O$) und c_K die analytisch ermittelte K_2O-Konzentration der Probe. Die Restaktivität $\alpha_r = \alpha_{tot} - f_K \cdot c_K$ wurde mit Hilfe einer Uran-Eichkurve (Fig. 2) in *ppm Uran-Äquivalent* ausgedrückt. Für die Aufnahme dieser Kurve diente eine Konzentrationsreihe reinen Urans der USA-Atomenergiekommission[2]). Die

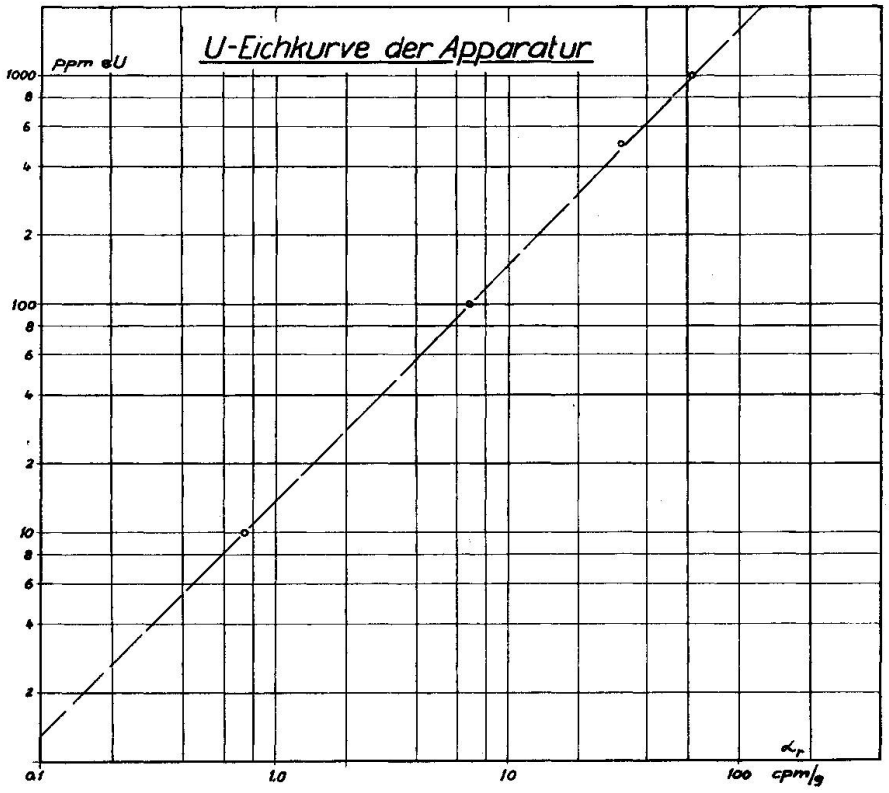


Fig. 2. Für Angabe der Restaktivität α_r (Aktivität von U und Th) in ppm Uran-Äquivalent (eU) verwendete Eichkurve.

[1]) cpm/g: "counts pro minute" pro Gramm.

[2]) New Brunswick Laboratory, Atomic Energy Commission, New Brunswick, N. J.

Resultate der gemessenen Gesteinsproben sind in Tabelle 4 sowie der Tafel, oben, aufgetragen.

c) Analytische Bestimmung des K_2O-, Na_2O- und CaO-Gehalts

Um genauere Anhaltspunkte über die in den 67 gesammelten Gesteinsproben vorhandenen Konzentrationen von K_2O zu gewinnen, wurden 33 petrographisch besonders typische Proben ausgewählt und K_2O nach den von WEIBEL (1961) aufgestellten Leitlinien mit einem EEL-Flammenphotometer Modell A (Evans Electroselenium Ltd.) bestimmt. Die Analysen wurden an gut durchmischten Proben der radiometrisch ausgemessenen Gesteinspulver vorgenommen. Da der Strahlungsanteil des Kaliums im Vergleich zur Gesamtaktivität gering ist, wurden für die restlichen, nicht analysierten Gesteinsproben K_2O-Mittelwerte angenommen und die Messwerte entsprechend korrigiert. Tabelle 4 liefert hierüber nähere Angaben. Im gleichen Arbeitsgang mit der K_2O-Bestimmung erfolgte auch eine quantitative, photometrische Ermittlung des Na_2O- sowie eine komplexometrische Titration des CaO-Gehaltes. Als mittlerer Fehler einer einzelnen Bestimmung können für K_2O und Na_2O etwa 0,1 Gew.% ($\sim$2—3% des bestimmten Wertes) und für CaO etwa 0,05 Gew.% angegeben werden. Alle Analysenwerte finden sich in Tabelle 4.

d) Kurze Bemerkung zu den petrographischen Angaben und zum geologischen Profil (Tabelle 4 und Tafel)

In der Absicht, ein ungefähres Bild über den Gehalt an Uran und Thorium der einzelnen Gesteinskörper des zentralen Gotthardmassivs und des südlichen Aarmassivs zu erhalten, wurde die petrographische Bezeichnung der Gesteinsproben möglichst sorgfältig durchgeführt. Der Mineralbestand wurde in einem Dünnschliff ausgezählt, der am selben Handstück angefertigt worden war, das nachher pulverisiert wurde.

Das in der Tafel, oben, aufgeführte geologische Profil durch Aar- und Gotthardmassiv längs der St. Gotthardstrasse wurde im Gegensatz zu den bisherigen Profilen (zum Beispiel im Geologischen Führer der Schweiz) als Westkulisse Airolo–Göschenen gezeichnet, weil die meisten Aufschlüsse westlich der Strasse liegen und weil das westlich angrenzende Gebiet heute geologisch besser bekannt ist. Die Profil- und Kulissenspuren sind in der Skizze auf der Tafel, links unten, angegeben. Die Profilteile A–B und C–D sowie die Kulissen E–F und G–H wurden auf die Richtung T–K normalprojiziert. Die Projektion wurde anschliessend auf die Summe der beiden Abschnitte A–B und C–D gestreckt. Der Mass-

stab 1 : 50 000 ist somit durchschnittlich erfüllt. Der im Profil angegebene Neigungswinkel der Schichten wurde aus dem heute an der Oberfläche messbaren Schichtfallen berechnet. Dieses ist allerdings durch rezente Sackungen oft stark verändert. Insbesondere der Abschnitt zwischen P. 2048,8 (südlich Airolo) und Motto Bartola und der Südhang nördlich Andermatt sind als versackt anzusehen.

3. Diskussion der Resultate

In Tabelle 4 und in der Tafel sind unsere Ergebnisse zusammen mit dem geologischen Profil dargestellt. Der Durchmesser der Kreise im Diagrammteil „Labormessungen" entspricht der durchschnittlichen Messgenauigkeit. Die Aktivitätsunterschiede der verschiedenen Gesteinskörper sind daraus klar ersichtlich. Die Variation des Uran- und Thoriumgehalts in der Tremolaserie, Cavannaserie, in den Muldenzügen und im Aarmassiv-Südrand scheint grösser zu sein als in Gesteinen, die im Feld über grössere Strecken gleichförmig sind (Fibbia-Gamsbodengneis, zentraler Aaregranit). Der Massstab der *Feldmessungen* wurde in der Tafel demjenigen der Labormessungen angepasst, was eine erhöhte Fluktuation des Diagramms erzeugt. Diese erklärt sich daraus, dass der natürlichen Variation der Gesteinsradioaktivität noch der Einfluss des unterschiedlichen Raumwinkels (Oberflächengeometrie) überlagert wird. Die Feld-Aktivitätswerte zeigen jedoch *im Mittel* einen mit den Labormessungen durchaus vergleichbaren Verlauf.

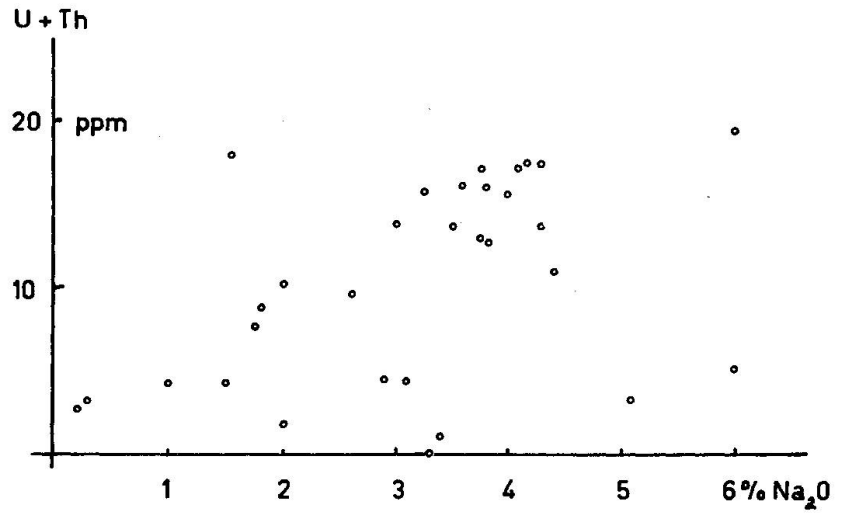


Fig. 3. Restaktivität und Natriumgehalt. Sämtliche Gesteine eingetragen.

In Fig. 3 ist der Uran- und Thoriumgehalt der Gesteine gegen die Na_2O-Konzentration aufgetragen. Fig. 4 zeigt die Messpunkte der Gesteine aus der Urserenmulde, der Tremolaserie und der Bedrettomulde, während Fig. 5 alle Punkte des Altkristallins ohne Tremolaserie gibt. Im Altkristallin scheint eine Abhängigkeit zwischen dem Uran- und Thoriumgehalt einerseits und der Natriumkonzentration andererseits vorhanden zu sein. Dies kann durch die Ähnlichkeit der Ionenradien von U^{4+} und Th^{4+} mit demjenigen von Na^{1+} gut erklärt werden (vgl. Tabelle 2). U^{4+} und Th^{4+} dürften somit Na^{1+} in den natriumführenden Gesteinen des Altkristallins als „Verunreinigung" ersetzen („Abfangen" von U^{4+} und Th^{4+} und Einbau als Spurenelement in die Kristallstruktur im Sinne von V. M. GOLDSCHMIDT). Dass diese Abhängigkeit in den Proben der Tremolaserie und der Muldengesteine nicht besteht, mag vielleicht darin begründet sein, dass hier Uran und Thorium zum Teil in natriumfreien Silikaten und Erzen vorkommen, die in unterschiedlichen Konzentrationen sedimentiert wurden.

Tabelle 2. *Goldschmidt-Radien*[3]) *von* U^{4+}, Th^{4+}, Na^{1+}, K^{1+}, Ca^{2+}

U^{4+}	0,97 Å	Na^{1+}	0,94 Å
Th^{4+}	1,02 Å	K^{1+}	1,33 Å
		Ca^{2+}	0,99 Å

FAUL (1954, S. 88) wies darauf hin, dass U^{4+} und Th^{4+} in den Kristallen zur Hauptsache an der Stelle von Ca^{2+} sitzen. Dies kann auch bei unseren Gesteinen durchaus zutreffen. Die Variation der CaO-Konzentration ist aber zu klein, um diese Regel nachprüfen zu können. Ein Zusammengehen der beiden Ionen mit K^{1+} ist unwahrscheinlich.

Die Radioaktivität von zentralem Aaregranit, Gamsbodengneis, Fibbiagneis und Rotondogranit ist sehr ähnlich. Die von HIRSCHI (1928) gemessenen deutlichen Unterschiede haben sich nicht bestätigt (vgl. Tabelle 1). Es ist auffallend, dass der Rotondogranit bezüglich der Radioaktivität nicht aus der Reihe fällt, obwohl in neueren petrographischen Arbeiten die Möglichkeit einer anderen, von Fibbia- und Gamsbodengneis unabhängigen Entstehung des Granits diskutiert wurde (vgl. HAFNER, 1958, und GRÜNENFELDER und HAFNER, 1962). Für genaue Vergleiche der Radioaktivität sind allerdings Messungen im eigentlichen Rotondomassiv westlich des St. Gotthardpasses notwendig. Eine entsprechende Arbeit wird beabsichtigt.

---

[3]) Werte nach AHRENS (1952), zu finden in STRUNZ (1957).

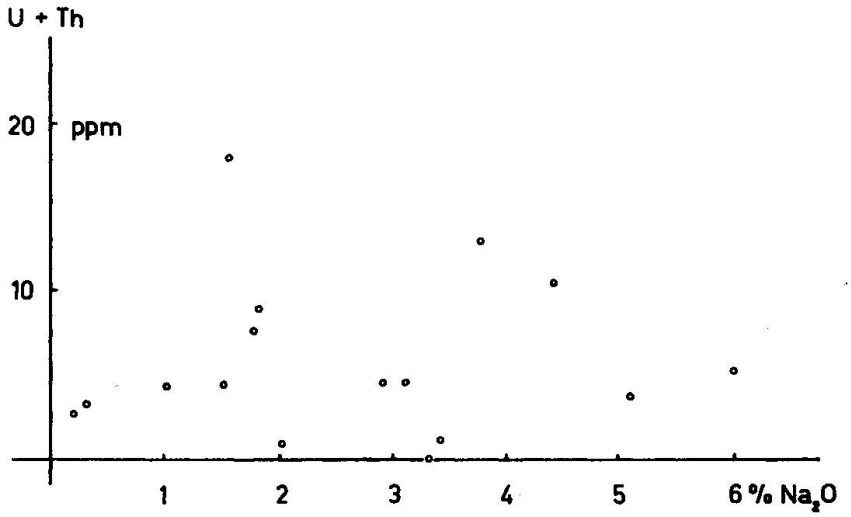


Fig. 4. Restaktivität und Natriumgehalt. Gesteine der Urserenmulde, Tremolaserie und Bedrettomulde.

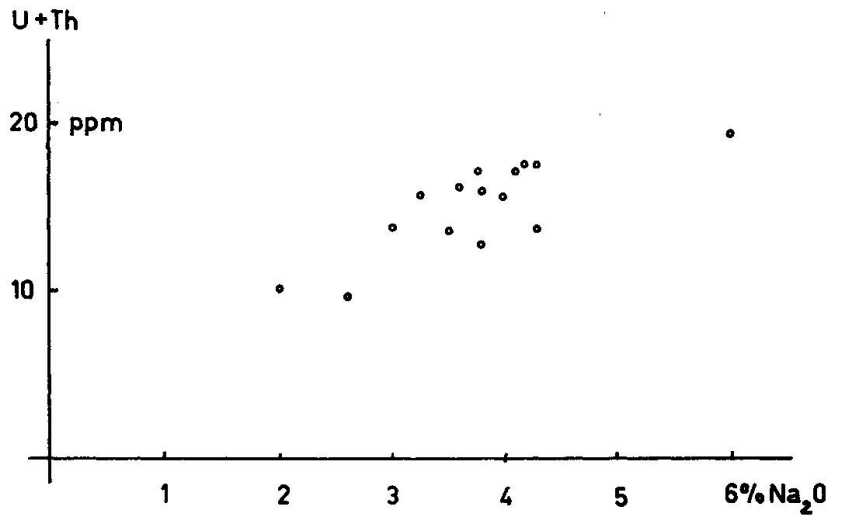


Fig. 5. Restaktivität und Natriumgehalt. Altkristallin des Aar- und Gotthardmassivs ohne Tremolaserie.

Bei der Betrachtung der gemessenen Aktivitätskurve auf der Tafel ist ein schwacher Anstieg des Uran- und Thoriumgehalts im zentralen Aaregranit, Gamsbodengneis und Fibbiagneis gegen den Kontakt hin zu bemerken (bei der Schöllenenbrücke, beim Gamssteg und bei der Lucendrobrücke). Vielleicht handelt es sich dabei um einen tatsächlichen Anstieg des Urangehalts gegen den Rand hin, wie dies schon mehrfach bei Granitstöcken nachgewiesen wurde (vgl. zum Beispiel Ingham und Keevil, 1951; Slack und Whitham, 1951). Die Beobachtung könnte mit der von Sonder (1921) erwähnten aplitischen Randfazies der ein-

zelnen Granitstöcke zusammenhängen. Beim Fibbiagneis ist die Erscheinung vielleicht darum weniger deutlich, weil dieser Gesteinskörper durch das Profil nur randlich geschnitten wird. Die im Abschnitt des zentralen Aaregranites aus der Reihe fallende Probe Nr. 990 stammt aus einem Aplitgang.

In Tabelle 3 sind die Mittelwerte und die Gesamtstreuung von Uran und Thorium sowie Na_2O, K_2O und CaO der im Profil geschnittenen granitischen Gneiskörper zusammengestellt. Die bereits von SONDER (1921) geäusserte Vermutung, dass der Gamsbodengneis einen besonders niedrigen K_2O-Gehalt aufweise, hat sich vorläufig bestätigt. Fibbia- und Gamsbodengneis wurden im geologischen Profil der Tafel allerdings zusammengefasst, weil sie zwischen Lucendrosee und der St. Gotthardstrasse an der Oberfläche miteinander verbunden sind. Bereits HEIM (1921, S. 194) wies darauf hin, was in den späteren Jahren in Vergessenheit geriet. Abgesehen vom K_2O-Gehalt sind die neu bestimmten Messwerte der beiden Gneise sehr ähnlich.

Die Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes des „Arbeitsausschusses für die Untersuchung schweizerischer Mineralien und Gesteine auf Atombrennstoffe und seltene Elemente" durchgeführt. Die Feldmessungen wurden durch diesen Ausschuss mit Mitteln der Kommission für Atomwissenschaft des Schweizerischen Nationalfonds finanziert.

Wir danken den Herren Professoren Th. Hügi, F. de Quervain sowie den Herren Dr. M. Weibel und Dr. M. Grünenfelder herzlich für ihre freundliche Mithilfe.

Literaturverzeichnis

SMPM = Schweiz. Mineralog. und Petrogr. Mitteilungen

FAUL, H. (1954): Nuclear Geology, New York.

FEHR, W. (1926): Geologische Karte der Urserenzone (Grenzregion Gotthard-Aarmassiv zwischen Andermatt und Obergestelen). Schweiz. Geol. Kommission, Spezialkarte Nr. 110.

GRÜNENFELDER, M. und HAFNER, S. (1962): Über das Alter und die Entstehung des Rotondogranits. SMPM 42, 157—195.

HAFNER, S. (1958): Petrographie des südwestlichen Gotthardmassivs (zwischen St.-Gotthardpass und Nufenenpass). SMPM 38, 255—362.

HEIM, ALB. (1921/22): Geologie der Schweiz, 2. Band. Leipzig.

HIRSCHI, H. (1919): Anregung zu absoluten Altersbestimmungen radioaktiver Gesteine der Schweiz. Vjschr. Natf. Ges. Zürich 64, 65—76 (Heim-Festschrift).

— (1920): Radioaktivität einiger Schweizergesteine. (Erster Teil.) Vjschr. Natf. Ges. Zürich. 45, 209—247.

— (1921): Radioaktivität einiger Schweizergesteine. (Dritter Teil.) SMPM 1, 1—18; 310—322.

Tabelle 3. *Mittlere Na_2O-, K_2O-, CaO- und (U + Th)-Gehalte granitischer Gesteine des Aar- und Gotthardmassivs*

	Proben-zahl	$(U+Th)_{ppm\,eU}$		Proben-zahl	Na_2O %		K_2O %		CaO %	
		Mittel	Streubereich		Mittel	Streubereich	Mittel	Streubereich	Mittel	Streubereich
Zentraler Aaregranit	10	**17,1**	12,1—27,0	5	**3,80**	3,25—4,0	**4,26**	3,8—4,9	**2,24**	1,26—3,22
Gamsbodengneis	7	**16,3**	12,9—19,6	4	**4,21**	3,75—6,0	**3,73**	3,5—4,0	**1,54**	0,56—2,24
Fibbiagneis	6	**16,0**	12,4—17,8	3	**4,0**	3,6 —4,3	**4,70**	4,1—5,45	**1,40**	0,98—1,82
Rotondogranit „Tremolagranit"	4	**13,5**	12,6—15,0	2	**3,75**	3,5 —4,0	**4,8**	4,5—5,1	**1,03**	0,95—1,12

Tabelle 4. *Gesteinsprofil der St. Gotthardstrasse (Göschenen–Airolo). Mineralbestand, Radioaktivität, Na_2O-, K_2O- und CaO-Gehalt*)*

Nr. der Probe	Koordinaten	Höhe über Meer	Gestein	Q Quarz	Kf Na-Kaliumfeldspat	P Plagioklas	B Biotit	S Muskowit-Serizit	Restliche Gemengteile	Gemengteile 1 % und weniger	Totalaktivität a_{tot} (ppm/g)	Einfluss von Kalium $f_K \cdot a_K$ (ppm/g)	Restaktivität a_r (ppm aqu. U)	Na_2O %	K_2O %	CaO %
100	687.925/168.750	1125	Zentraler Aaregranit	35	25	25	5	3	4 E	A, M, **O**, T, Z	1,11	0,20	**12,2**			
990	687.750/168.000	1220	Zentraler Aaregranit Apligang	35	30	30	3		3 E	A, **G**, M, T, Z	2,15	0,24	**27,0**	**3,9**	**4,9**	**1,26**
412	687.500/167.850	1245	Zentraler Aaregranit	35	25	30	4	2	3 E	A, M, T, Z	1,12	0,22	**12,1**			
868	687.650/167.650	1275	Zentraler Aaregranit	20	15	45	10	4	3 E	A, M, T, Z	1,35	0,21	**15,8**	**4,0**	**4,25**	**2,38**
853	687.925/167.150	1330	Zentraler Aaregranit	35	45	20	1		1 E	A, M, T, Z	1,205	0,20	**13,8**			
244	688.050/167.100	1370	Schöllenensyenit	15	20	45	10	5	3 E	A, M, **O**, T, Z	1,43	0,18	**17,2**	**4,1**	**3,8**	**3,22**
1853	688.075/167.050	1375	Schöllenensyenit	20	5	50	15	4	5 E	A, M, T, Z	1,36	0,20	**16,0**	**3,8**	**4,2**	**2,8**
444	688.150/167.000	1380	Zentraler Aaregranit	35	21	30	5	3	4 E	A, **G**, M, T, Z	1,35	0,20	**15,9**	**3,25**	**4,2**	**1,54**
979	688.175/166.800	1410	Zentraler Aaregranit	35	25	30	5	2	1 E	A, **G**, M, **O**, Z	1,81	0,20	**22,5**			
658	688.200/166.700	1425	Zentraler Aaregranit	30	30	30	3	3	3 E	A, **G**, M, Z	1,55	0,20	**18,6**			
852	688.300/166.450	1435	Aarmassiv Südrand Epidotbiotitgneis	25		50	15		5 E 2 K	M	0,495	0,090	**5,4**	**6,0**	**1,8**	**3,78**
922	688.300/166.450	1435	Aarmassiv Südrand Epidot-Biotitserizitgneis	5		20	20	25	13 E 3 G 3 K	A, M, **T**	1,235	0,21	**13,9**	**3,0**	**4,0**	**5,46**
650	688.600/166.100	1460	Urserenmulde, Marmor	10				3	70 Cl 15 D	M, S	0,237	0,014	**2,8**	**0,2**	**0,3**	**43,3**
387	688.600/166.075	1460	Urserenmulde, Dolomitquarzit	60				3	5 Cl 30 D	M	0,163	0,014	**2,0**			
1166	679.000/160.550	2070	Urserenmulde Rauhwacke Furkapass						35 Cl 55 D	M, P, Q, S	0,266	0,029	**3,2**	**0,3**	**0,6**	**35,3**
383	688.800/165.400	1445	„Karbon" v. Andermatt Kohle-Serizitschiefer	25				50	20 Kl		1,52	0,220	**18,0**	**1,55**	**4,6**	**4,2**
1033	688.800/165.375	1445	Permokarbon Muskowitbiotitgneis	20		20	20	25	3 E 10 K	M	0,689	0,220	**6,3**			
177	686.500/163.450	1540	Gurschengneis Biotitserizitgneis	25		20	15	35	5 K	E, M, Z	0,760	0,150	**8,3**			
				Sp	Tk											
K	686.500/163.200	1640	Serpentin von Kemleten	40	40				10 K 10 M		0,065	0,040	**0,5**			
				Q	Kf											
994	686.725/163.200	1590	Gurschengneis Biotit-Muskowitgneis	50		20	10	20		**G**, M, **Tm**, Z	0,895	0,150	**10,1**	**2,0**	**3,1**	**1,54**
1387	686.400/162.300	1645	Gamsbodengneis	40	20	30	3	4	4 E	A, **G**, M, O, T, Z	1,51	0,18	**18,3**			
615	686.350/162.200	1650	Gamsbodengneis	25	20	45	2	5		A, E, M, Z	1,12	0,18	**12,9**	**3,8**	**3,7**	**0,56**
833	686.100/160.875	1745	Gamsbodengneis	50	10	30	4	3	4 E	A, M, T, Z	1,44	0,19	**17,4**	**3,75**	**4,0**	**2,24**
1610	685.700/160.350	1835	Gamsbodengneis	35	15	35	3	5	3 E	A, **G**, M, T, Z	1,375	0,18	**16,8**			
454	685.850/159.500	1920	Gamsbodengneis	40	10	35	4	5	3 E	A, **G**, M, T, Z	1,285	0,18	**15,1**			
1148	685.900/158.750	1950	Gamsbodengneis	40	5	33	10	10	3 E	A, **K**, M, T, Z	1,18	0,17	**13,8**	**4,3**	**3,5**	**1,4**
1258	685.800/158.575	1955	Gamsbodengneis	10	15	55	20	2	2 E	A, **G**, **K**, M, T, Z	1,585	0,18	**19,6**	**6,0**	**3,7**	**1,96**
					Hb											
78	685.650/157.800	2000	Guspisserie Chloritgneis	30		50	4		10 C 3 E 2 M	A, Z	0,630	0,050	**7,5**			
79	685.650/157.750	2005	Guspisserie Amphibolit	10	60	25	2		2 E	A, E, Z	0,128	0,100	**0,7**			
1177	685.675/157.700	2010	Guspisserie Biotitgneis	10		45	40			A, E, M	0,860	0,095	**10,5**	**4,4**	**1,95**	**1,82**
					Kf											
1543	685.700/157.650	2020	Fibbiagneis	35	15	25	4	20	2 E	A, M, T, Z	1,495	0,265	**17,2**	**4,3**	**5,45**	**0,89**
1896	685.750/157.350	2055	Fibbiagneis	20	40	30	4	2	2 E	A, **G**, M, T, Z	1,115	0,214	**12,4**			
1650	686.000/157.125	2105	Fibbiagneis	40	10	35	5	5	3 E	A, **G**, M, T, Z	1,48	0,214	**17,8**			
1034	686.300/157.000	2100	Fibbiagneis	40	15	30	10	3	4 E	A, **G**, M, T, Z	1,45	0,220	**17,2**	**4,1**	**4,6**	**1,82**
133	686.750/156.425	2065	Fibbiagneis	45	10	20	10	10	4 E	A, **G**, **K**, M, T, Z	1,325	0,214	**15,2**			
1927	686.700/156.300	2045	Fibbiagneis	30	25	35	5	3		A, E, **G**, **K**, M, T, Z	1,39	0,20	**16,2**	**3,6**	**4,1**	**1,4**
1254	686.725/155.950	2005	Rotondogranit „Tremolagranit"	40	30	20	5	3		A, E, **G**, M, T, Z	1,315	0,248	**14,8**	**4,0**	**5,1**	**0,95**
178	686.700/155.925	2000	Rotondogranit „Tremolagranit"	45	20	20	10	3		A, E, M, T, Z	1,21	0,22	**13,6**	**3,5**	**4,5**	**1,12**
1363	686.650/155.850	1970	Rotondogranit „Tremolagranit"	40	20	35	4	4		A, E, M, T, Z	1,17	0,218	**13,0**			
1386	686.600/155.800	1965	Rotondogranit „Tremolagranit"	30	35	30	2	2		A, E, **G**, M, T, Z	1,12	0,218	**12,6**			
1900	686.750/155.650	1935	Soresciagneis Muskowitbiotitgneis	30		30	20	15	2 K	A, E, **Kf**, M, T, Z	0,766	0,204	**7,8**			
1994	686.800/155.500	1845	Soresciagneis Biotitserizitgneis	40		15	15	25		A, E, **G**, **K**, M, T, Z	0,889	0,21	**9,3**	**2,6**	**4,3**	**2,38**
					Hb											
1852	686.850/155.400	1810	Pratoserie Epidothornblendeschiefer	20	60	5	2		15 E 2 M	**K**, M, T	0,241	0,092	**2,0**			
					Kf											
1842	686.800/155.300	1755	Pratoserie Muskowit-Biotitkali-feldspatgneis	40	20	25	10	10		A, E, M, T, Z	1,18	0,23	**13,0**	**3,75**	**4,8**	**0,84**
					Hb											
1655	687.000/155.100	1735	Pratoserie Hornblendeschiefer	20	60	10	4		5 E	M, T	0,177	0,092	**1,1**	**3,4**	**1,9**	**8,4**
1833	687.250/155.025	1720	Tremolaserie Hornblende-Chloritfeld-spatschiefer	20	10	55	4		20 C 5 K 3 M	A, E, T	0,128	0,036	**1,2**	**7,0**	**0,75**	**7,7**
1028	687.550/154.825	1680	Tremolaserie Karbonat-Silikatgestein	4	3	30	15		30 E 16 K	M	0,068	0,063	**0**	**3,3**	**1,3**	**14,4**
1397	687.800/154.375	1550	Tremolaserie Chloritbiotitgneis	30		30	15		15 C 10 E	A, M	0,391	0,048	**4,6**	**3,1**	**1,0**	**2,38**
1529	687.900/154.300	1560	Tremolaserie Quarzhornblendeschiefer	10	80	10				M	0,057	0,017	**3,5**			
28	688.250/154.250	1520	Tremolaserie Serizitquarzit	70		10	5	10	2 A 3 M	E, Z	0,415	0,102	**4,4**	**1,0**	**2,1**	**0,7**
1025	688.050/154.100	1490	Tremolaserie Muskowitschiefer mit grossen Granaten	25		5		55	10 G 3 M	A, **B**, **E**, **St**, Z	0,686	0,100	**7,7**			
737	688.200/154.125	1470	Tremolaserie Chloritgneis	35		35			30 C	A, E, **G**, M, T, Z	0,403	0,060	**4,7**	**2,9**	**1,25**	**1,96**
1078	687.975/153.900	1440	Tremolaserie Biotitmuskowitschiefer mit grossen Granaten	30		5	15	35	10 G 5 M	A, E, **St**, Z	0,600	0,102	**6,7**			
462	687.900/153.850	1430	Tremolaserie Hornblendechloritgneis	10	20	35			30 C 2 M	A, E, Z	0,060	0,060	**0**			
166	688.100/153.925	1415	Tremolaserie Amphibolit m. porphyro-blastischer Hornblende	5	30	45			5 C 10 K	A, **B**, E, M, Z	0,283	0,010	**3,6**	**5,1**	**0,3**	**6,86**
1	688.400/154.075	1380	Tremolaserie Glimmerführender Gneis	50		35	5	5	2 M		0,290	0,090	**2,6**			
771	688.350/153.950	1350	Tremolaserie Biotitgneis	20	3	40	20	10	5 C 2 E 3 M	A, **K**, **Tm**	0,736	0,170	**7,6**	**1,75**	**3,4**	**1,12**
33	688.400/153.900	1300	Tremolaserie Biotitgneis	20		30	20	20	4 E 3 M	A, **G**, **K**, T, Z	0,715	0,120	**8,1**			
415	688.700/153.725	1220	Tremolaserie Hornblendebiotitschiefer	3	20	20	45		5 K 2 M	A, **E**, T, Z	0,226	0,150	**1,0**	**2,0**	**3,15**	**7,0**
453	688.850/153.500	1140	Tremolaserie Biotitmuskowitgneis	45		15	10	25	5 G	A, **E**, M, **Tm**, Z	0,670	0,120	**7,5**			
460	688.900/153.275	1160	Rauhwacke Fontana	5				5	15 Cl 75 D	Q, P, M, **S**	0,240	0,029	**2,8**			
1043	685.975/153.025	1260	Serizitgneis Triaskontakt Fontana	60		15		25	2 M	A, E, Z	0,409	0,090	**4,4**	**1,5**	**2,0**	**1,12**
610	686.000/153.000	1260	Vererzter, glimmerarmer Gneis, Triaskontakt Fontana	50		25	3	5	14 M	A, E	0,255	0,097	**4,2**			
845	686.025/153.000	1260	Mylonitisierter Quarzit Triaskontakt Fontana								0,286	0,025	**3,5**			
435	684.550/151.350	1500	Bedrettomulde Serizitgneis Ossasco	15		25	5	25	25 Kl	A, **E**, **G**, M, T, **Tm**, Z	0,835	0,185	**8,9**	**1,8**	**3,8**	**1,54**
145	684.550/151.300	1500	Bedrettomulde Marmor Ossasco	10					90 Cl	E, M, P	0,208	0,014	**2,5**			
					Kf											
509	684.525/151.300	1510	Bedrettomulde Serizitquarzit Ossasco	60	2		3	15	3 K	A, E, M	0,297	0,015	**2,2**			

Abkürzungen zum Mineralbestand

A Apatit
B Biotit (oft teilweise chloritisiert)
C Chlorit
Cl Calcit
D Dolomit
E Klinozoisit-Epidot
G Granat
Hb Hornblende
K Karbonat
Kf Na-Kaliumfeldspat (inkl. entmischtem Albit)
Kl Kohliges Pigment, Graphit
M Magnetit, Hämatit, Siderit
O Orthit
P Plagioklas (inkl. Albit; inkl. eingeschlossene Sekundärmineral)
Q Quarz
S Muskowit-Serizit
Sp Serpentin
St Staurolit
T Titanit
Tk Talk
Tm Turmalin
Z Zirkon

Fettgedruckte Symbole: Überdurchschnittlich gross kristallisierte Übergemengteile.

*) Analytiker: L. Rybach.

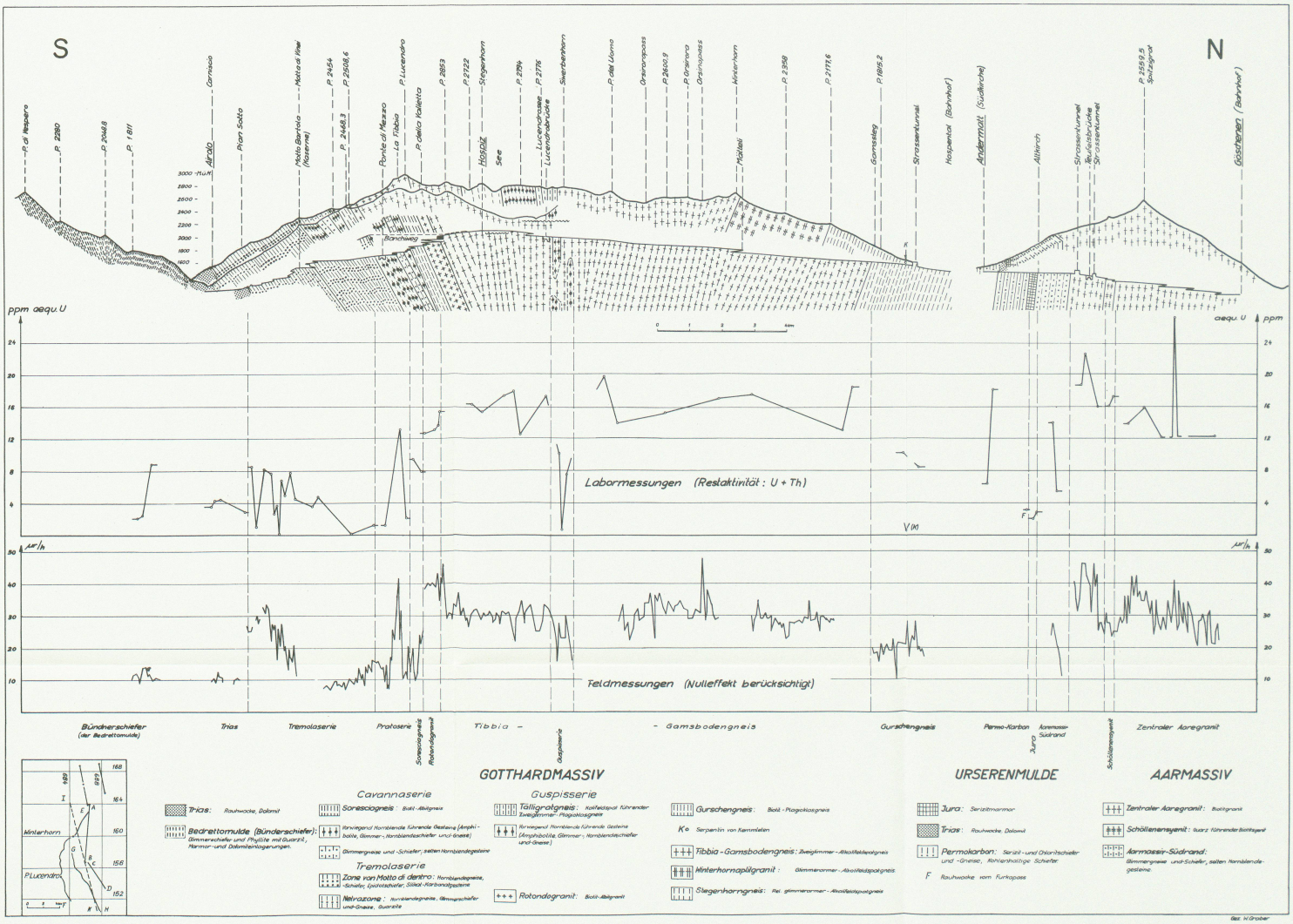
Leere Seite
Blank page
Page vide

Schweiz. Min. Petr. Mitt.
Band 42, Heft 1, 1962

Geologisches und radiometrisches Profil längs der St. Gotthard-Strasse zwischen Göschenen und Airolo

(Geologie nach Fehr (1926), Hafner (1958) und Hofmänner)

L. Rybach und S. Hafner: Radioaktivitäts-
messungen an Gesteinen des St. Gotthard-Profils



Leere Seite
Blank page
Page vide

Hirschi, H. (1924): Radioaktivität der Intrusivgesteine des Aarmassivs. SMPM 4, 64—88.
— (1925): Radioaktivität der Intrusivgesteine des Aarmassivs. (Fortsetzung.) SMPM 5, 173—180.
— (1927): Radioaktivität der Intrusivgesteine des Aarmassivs. (Fortsetzung.) SMPM 7, 98—114.
— (1928): Radioaktivität der wichtigsten Granitmassen des Gotthardmassivs. SMPM 8, 318—320.
— (1931): Radioaktivität von Quellen im Aargranit. SMPM 11, 264—265.
Hofmänner, F.: Noch nicht veröffentlichte geologische Kartierungen im zentralen Gotthardmassiv. Inst. f. Kristallographie u. Petrographie, ETH, Zürich.
Ingham, W. and Keevil, N. (1951): Radioactivity of the Bourlamaque, Elzevir, and Cheddar Batholits, Canada. Bull. Geol. Soc. Amer. 62, 131—148.
Joly, J. (1912): The Radioactivity of the Rocks of the St. Gotthard Tunnel. Phil. Mag. 23, 201—211.
Rybach, L. (1961): Radiometrische Untersuchungen in der Misoxer Muldenzone. SMPM 41, 85—102.
Slack, H. and Whitham, K. (1951): A Further Investigation of the Radioactivity of the Round Lake and Elzevir Batholits. Trans. Am. Geophys. Union. 32, 44—48.
Sonder, R. (1921): Untersuchungen über den Differentiationsverlauf der spätpaleozoischen Granitintrusionen im zentralen und westlichen Gotthardmassiv. SMPM 1, 323—391, und Diss. Univ. Zürich.
Stapff, F.: Geologische Tabellen und Durchschnitte über den grossen Gotthardtunnel. Spezialbeilage zu den Berichten des Schweizerischen Bundesrathes über den Gang der Gotthardbahn-Unternehmung. (10 Liefg.) Bern 1877—1882.
Strunz, H. (1957): Mineralogische Tabellen. 3. Aufl., Leipzig.
Weibel, M. (1961): Die Schnellmethoden der Gesteinsanalyse. SMPM 41, 285—294.

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

Manuskript eingegangen am 13. Januar 1962.