

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN

Nr. 42

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

**Das Radioaktivitätsprofil
Fuorcla da Punteglias–Alp da Punteglias
(Graubünden)**

von

P. FÖHN und L. RYBACH

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

Die nachfolgende Studie „Das Radioaktivitätsprofil Fuorcla da Punteglias–Alp da Punteglias (Graubünden)“ von P. Föhn und L. Rybach widmet sich den Uran- und Thoriumgehalten einer mannigfaltigen Erup-tivgesteinsserie im östlichen Aarmassiv. Sie erfolgte im Rahmen des Forschungsprogrammes des Arbeitsausschusses, der seine finanziellen Mittel dem Schweizerischen Nationalfonds verdankte. Die Laborunter-suchungen wurden am Institut für Geophysik an der ETH, zum Teil als Diplomarbeit von Herrn P. Föhn ausgeführt. Den beiden Autoren sei für ihre gründliche Untersuchung bestens gedankt.

Für den Inhalt von Text und Figuren sind die Autoren allein ver-antwortlich.

Zürich, den 3. Januar 1968.

Der Präsident der
Schweiz. Geotechnischen Kommission
und des Arbeitsausschusses

Prof. F. DE QUERVAIN

Erscheint gleichzeitig in
„Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen“
Band 47, Heft 2, 1967

Das Radioaktivitätsprofil Fuorcla da Punteglias–Alp da Punteglias (Graubünden)*)

Von *Paul Föhn* und *Ladislaus Rybach* (Zürich)**)

Mit 4 Textfiguren, 4 Tabellen und 2 Tafeln

Abstract

Abundance and distribution of U, Th and K was studied within a 4.5 km long profile through the Eastern end of the Aar massif (Switzerland). This part of the massif consists of igneous rocks of great chemical variability (acidic and basic derivatives of the same magma, dykes etc.). 33 samples taken during the radiometric field measurements have been investigated by laboratory gamma ray spectrometry. The results are given on a foldout. Th increases markedly, U slightly towards the rim of the main granitic body crossed by the profile, the Punteglias granite. The Th/U ratio is low ($\sim 1-2$) in the basic, high ($\sim 4-6$) in the acidic rocks investigated.

Inhalt

I. Einleitung	582
II. Geologie und Petrographie	583
1. Geologie	583
2. Petrographie	583
III. Messungen	584
1. Feldmessungen	584
1.1. Voraussetzungen	584
1.1.1. Nulleffekt im Gelände	584
1.1.2. Absorptions- und Streuungsverhältnisse	585
1.1.3. Radioaktives Gleichgewicht	586
1.2. Geräte	586

*) Erscheint gleichzeitig als „Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen Nr. 42“.

**) Institut für Geophysik und Institut für Kristallographie und Petrographie, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich.

2. Labormessungen	587
2.1. Voraussetzungen	587
2.1.1. Nulleffekt und Abschirmung	588
2.1.2. Probenvorbereitung	589
2.1.3. Absorptions- und Streuungsverhältnisse.	589
2.2. Aufbau der Apparatur	590
2.3. Arbeitsweise	591
2.3.1. Energieeichung	591
2.3.2. Peak-Wahl, Auswertung	591
2.3.3. Eichmessungen	593
2.3.4. Stabilität der Apparatur	593
2.3.5. Fehlerbetrachtung	594
IV. Resultate	595
V. Literatur.	597

I. EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit entstand auf Anregung der Herren Prof. F. DE QUERVAIN und TH. HÜGI und enthält Teile einer an der Abt. für Naturwissenschaften der ETH ausgeführten Diplomarbeit von P. FÖHN. Die im Sommer 1964 ausgeführten Feldarbeiten wurden in verdankenswerter Weise durch den „Arbeitsausschuss für die Untersuchung schweizerischer Gesteine auf Atombrennstoffe und seltene Elemente“ finanziell unterstützt. Die Laboruntersuchungen erfolgten im Sommer 1965 am Institut für Geophysik der ETH (Vorsteher: Prof. F. GASSMANN). Allen diesen Dozenten sei hier für ihre stete Unterstützung herzlich gedankt.

In den letzten Jahren wurden am Institut für Geophysik der ETH mehrere radiometrische Arbeiten ausgeführt. Anfangs waren es flächenmässige Aktivitätsaufnahmen von geologisch-petrographisch interessanten Gebieten (RYBACH 1961, SCHELLER 1964), hierauf kamen radiometrische Profilmessungen hinzu (RYBACH und HAFNER 1962, HUONDER 1964). Ebenfalls zu erwähnen ist die Arbeit von BOSSHARD (1964) über Radon-Verluste. Jede dieser Arbeiten löste z. T. früher aufgeworfene Fragen, deckte aber zugleich neue Probleme auf, die ihrerseits wieder der Lösung harren.

Diese Arbeit soll nun die Fortsetzung dieser Reihe Untersuchungen sein, indem hier wiederum eine Profilvermessung, diesmal durch den östlichen Teil des Aarmassivs, durchgeführt wurde. Die Labormessungen an 33 Gesteinsproben aus dem Profil sollen aber nicht nur Auskunft über die Summenaktivität geben, sondern die verschiedenen strahlenden Elemente werden mit Hilfe der γ -Spektrometrie näher identifiziert.

II. GEOLOGIE UND PETROGRAPHIE

1. Geologie

Das gemessene Profil liegt nördlich Trun (Kanton Graubünden, siehe Situationsskizze an der Profiltafel), geht quer durch das Ostende des Aarmassivs, von Fuorcla da Punteglias, 2808 m ü.M., bis Alp da Punteglias, 1630 m ü.M.

Das Aarmassiv besteht zur Hauptsache aus alten, steilgestellten Graniten und Gneissen grosser struktureller und petrographischer Variabilität. Sein herzynisches Alter ist durch absolute Altersbestimmungen (siehe z. B. WÜTHRICH, 1963) gesichert. Beim gemessenen, östlichen Querprofil ist die Altersabfolge der einzelnen Intrusionen noch nicht restlos abgeklärt; doch scheint sicher zu sein, dass die basischen und ultrabasischen randlichen Gesteinskomplexe (Diorite, Gabbrodiorite) älter sind als die eher zentralen Granite (saurer Granit, normaler Puntegliasgranit). Die Hauptintrusionen sind durch vielfältige Gänge (Aplite, Granitporphyre, Quarzporphyre usw.) begleitet (siehe Kartenskizze und Profil).

Als Gesteinskomplex hat das Aarmassiv keine grossen Umwandlungen erfahren, und die wohl grösste Beanspruchung geschah durch die alpine Metamorphose, obwohl auch diese nur geringen Einfluss hatte (teilweise Rekristallisation der Glimmer, siehe hierzu WÜTHRICH, 1965).

2. Petrographie

Die vorkommenden Gesteine gehören entweder der pazifischen (saure Granite, Diorite) oder der mediterranen Provinz (Syenite, Monzonite, Punteglias-Granit) an. Von den meisten im Labor untersuchten Proben wurde ein Dünnschliff angefertigt, um damit die einzelnen Gesteine, die makroskopisch oft schwer einzureihen sind, besser charakterisieren zu können. Auf eine ausführliche Schliffbeschreibung muss hier allerdings verzichtet werden, doch sollen die gesammelten Gesteine anhand der Schliffe kurz beschrieben werden (als Anhaltspunkt für die radiometrisch zu bestimmenden K-Gehalte: K_2O -Werte aus NIGGLI et al., 1930):

Monzonit: feinkörniges Gestein, meist Hornblendemonzonit. Hauptbestandteile: Plagioklas (Albit-Oligoklas), Hornblende, Biotit (z. T. chloritisiert), etwas Quarz und Kalifeldspat. K_2O -Gehalt: 3–4%

Saurer Biotitgranit: massiges, mittelkörniges Gestein. Hauptbestandteile: Quarz, perthitischer Orthoklas, Plagioklas (Albit-Oligoklas), Mikroklin, Biotit. K_2O -Gehalt: ca. 5%.

„*Puntegliasgranit*“ (Quarzsyenit): grobkörniges, porphyrtartiges Gestein, durch die cm-grossen Orthoklastafeln gekennzeichnet. Nach WEBER

(1922) normale, rötliche und basische, grünliche Varietäten. Hauptbestandteile: perthitischer Orthoklas, Mikroklin, Oligoklas, Quarz, Biotit, Hornblende. K_2O -Gehalt hoch: 5—7%.

Augitporphyrit: meist schmale Gänge, sehr häufig vorkommend. Einsprenglinge: Augit und basischer Plagioklas; Grundmasse: Plagioklas (z. T. saussuritisiert), Augit, Zoisit, Epidot, Serizit. K_2O -Gehalt variabel: 1,3—5%.

Diorit: massiges, mittel- bis grobkörniges Gestein. Hauptbestandteile: basischer Plagioklas, Hornblende (z. T. umgewandelt in Klinozoisit), Biotit. K_2O -Gehalt niedrig: 0,5—3%.

III. MESSUNGEN

I. Feldmessungen

1.1. Voraussetzungen

Die meisten bis jetzt in der Radiometrie ausgeführten Feldmessungen hatten im wesentlichen qualitativen oder höchstens halbquantitativen Charakter. Der Grund liegt darin, dass für die endgültige Beurteilung von Feldmessungen sehr viele Faktoren berücksichtigt werden müssen, die z. T. schwierig zu erfassen sind:

- a) der Nulleffekt, der sich seinerseits wiederum aus mehreren Komponenten zusammensetzt,
- b) die Absorptions- und Streuungsverhältnisse,
- c) das radioaktive Gleichgewicht,
- d) der Beitrag verschiedener Radioisotope zur Gesamtaktivität.

In dieser Arbeit sollen diese Faktoren ein wenig diskutiert werden, damit die Feldmessungen eine gewisse Aussagekraft erhalten; gleichzeitig aber soll die Problematik solcher Feldmessungen dargelegt werden.

1.1.1. Nulleffekt im Gelände

Unter Nulleffekt versteht man all jene Strahlung, die vom Messgerät angezeigt wird, die man aber eigentlich nicht messen will.

Anteile: a) kosmische Strahlung.

b) Umgebungsstrahlung, herrührend vom das Messobjekt umgebenden Gestein und den Emanationen in der Luft: Rn^{222} , Rn^{220} , Rn^{219} .

c) Spaltprodukte von nuklearen Explosionen (Cs^{137} , La^{140} , Ce^{144} , Rh^{102} , Ru^{103} , Ru^{106} , Rh^{106} , Zr^{95} , Nb^{95}).

Nach HERBST (1964) beträgt der Beitrag der *kosmischen Strahlung* an den Nulleffekt für eine mittlere Geländehöhe von 2200 m ü.M. in der Schweiz rund $9 \mu\text{r/h}$. Um Effekte der *Umgebungsstrahlung* möglichst auszuschalten, wurde den Geometrie- bzw. Raumwinkelverhältnissen im Feld besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Im allgemeinen wurde direkt auf dem Fels gemessen. Der Beitrag der *Emanationen* kann nach ROTHE (1959) mit $0,2 \mu\text{r/h}$ angenommen werden, wobei dieser Betrag noch starken Änderungen (tägliche Variation, meteorologische Einflüsse) unterworfen ist. Die *Spaltprodukt*-Aktivität betrug im Zeitpunkt der Profilmessung bestimmt weniger, als der von HERBST und HÜBNER (1962) angegebene Wert von $2 \mu\text{r/h}$.

Bei Summierung all der erwähnten Anteile ergäbe sich ein Nulleffekt-Wert von ca. $11 \mu\text{r/h}$. Wie wir später sehen werden, ist dieser Betrag im Vergleich zu gewissen gemessenen Gesteins-Aktivitätswerten zu hoch und bedarf noch der Erklärung.

1.1.2. Absorptions- und Streuungsverhältnisse

Die am Fels registrierte γ -Strahlung kommt aus einer relativ dünnen Gesteinsschicht. Wie ALEKSEJEW et al. (1955) für Granit zeigten, macht die aus der Tiefe von 0 bis 6 cm stammende Strahlung 70% der an der Oberfläche registrierten Gesamtstrahlung aus; aus einer Tiefe von mehr als 15 cm stammt nur noch 5%. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt man auch, wenn man die sog. Halbwertsdicke für Granit berechnet. Mit $\mu = 0,2 \text{ cm}^{-1}$ (mittlerer linearer Absorptionskoeffizient für Bi^{214} in Granit, nach ROTHE, 1959) erhält man

$$D_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{0,2} \doteq 3,5 \text{ cm.}$$

Danach wird durch 3,5 cm Gestein die Hälfte der Strahlung absorbiert, was ungefähr den Angaben von ALEKSEJEW et al. (1955) gleichkommt.

Auch die energiereichsten Strahlen haben also wenig Aussicht, durch mehr als max. einen halben Meter Gestein zu gelangen. Dazu kommt noch, dass als Absorptionsvorgang im Gestein vor allem der Compton-Effekt in Frage kommt, der bei günstiger Geometrie und hochenergetischer Strahlung (vom Bi^{214} , Tl^{208} , K^{40}) die Zahl der Quanten wenig ändert, dafür aber die Energie der γ -Quanten schwächt. Dies geschieht in einer schrittweisen Verringerung der γ -Energie, also durch eine Art „Verschmieren“ der ursprünglich monoenergetischen Energiebereiche.

Integrale Ratemetermessungen, die nur die Totalzahl der Quanten über einer gewissen „Mindestenergie“ registrieren, werden durch dieses Verschmieren wenig betroffen.

1.1.3. Radioaktives Gleichgewicht

Fast sämtliche γ -Strahlung der U^{238} -Reihe stammt vom Bi^{214} , während die Intensität der übrigen Glieder sehr klein ist. Ebenso stammt die Hauptaktivität der Th^{232} -Reihe vom Tl^{208} . Wir werden nun auf Grund der Strahlung eines (Labormessung) oder einiger weniger (Feldmessung) Tochterelemente auf die Menge des Mutterelementes schliessen, und aus diesem Grunde sollte zwischen all den Gliedern ein konstantes Verhältnis (radioaktives Gleichgewicht) bestehen.

Durch Verwitterungs- und Auslaugungsvorgänge könnten Gleichgewichtsstörungen auftreten, doch da einerseits die Feldmessungen fast ausschliesslich an senkrechten Felswänden ausgeführt wurden, andererseits als Laborproben möglichst unverwitterte Probestücke gewählt wurden, darf diese Fehlerquelle als klein betrachtet werden.

Durch Rn^{222} - und Rn^{220} -Verluste während der Vorbereitung der Laborproben (Mahlen, Umschütten) entsteht theoretisch eine neue Fehlerquelle. Dieses Problem wurde eigens in einer Diplomarbeit von BOSSHARD (1964) untersucht, wobei sich daraus entstehende Fehler als klein erwiesen.

Im gesamten dürfen wir also für das untersuchte Gebiet radioaktives Gleichgewicht voraussetzen sowie die bei der Präparation der Proben entstehenden Radon-Verluste vernachlässigen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, aus den gemessenen Zählraten, herrührend von der Strahlung der Reihenglieder (Bi^{214} und Tl^{208}), auf die gesuchte Menge des wichtigen Mutterelementes (U^{238} , Th^{232}) zu schliessen.

1.2. Geräte

Die radiometrische Profilmessung erfolgte, soweit dies die Aufschlüsse erlaubten, kontinuierlich. Durchschnittlich alle 5 m wurde der Messwert notiert. Die Proben für die Laboruntersuchung wurden entsprechend dem Gesteinswechsel genommen (Entnahmestellen siehe auf Tafel 1). Für die Feldarbeit wurden die folgenden zwei Geräte benutzt:

Gerät I

Tragbarer Szintillometer „Scintillator“ SN 11 PB/4522, Modell 111B der Fa. Precision Radiation Instruments Inc., Los Angeles, USA. Technische Daten: Messkopf mit einem $38,1 \times 25,4$ mm NaJ-Kristall, mit Elektronenvervielfacher Typ RCA 5199. Das batteriebetriebene Röhren-Gerät misst die Impulse integrierend und liefert direkt als Anzeige mr/h. 6 verschiedene Messbereiche: 0,025—5 mr/h; 3 verschiedene Zeitkonstanten: 2, 10, 30 sec. Kontrollen: Nullpunktkontrolle, Spannungskontrolle

(um die durch Batterieabnutzung bedingte Spannungsänderung auszugleichen, konnte mit einem mitgelieferten Ra-Präparat von bekannter Dosisleistung — 0,14 mr/h — die Anzeige des Instrumentes kontrolliert und, wenn nötig, mit einer Schraube justiert werden).

Gerät II

Tragbarer Szintillometer LgS/B, Fa .Berthold, Wildbad, Deutschland. Technische Daten: Messkopf mit einem 30×30 mm NaJ-Kristall, Elektronenvervielfacher Typ FSA/9. Das transistorisierte Gerät misst ebenfalls integrierend, liefert aber als Anzeige Imp/sec. 6 verschiedene Messbereiche: 30—10 000 Imp/sec; 3 verschiedene Zeitkonstanten: 2, 5, 10 sec. Kontrollen: Durch einen Schalter kann die Arbeitsspannung (1000 V) kontrolliert werden. Eichung: Aus berechneter Dosisleistung ($\mu\text{r/h}$) eines geeigneten Präparates (Ra^{226} , Dosiskonstante $0,84 \text{ r} \cdot \text{m}^2/\text{h, curie}$) und gemessener Impulsrate (Imp/sec) ergab sich, dass 26,4 Imp/sec 10 $\mu\text{r/h}$ entsprechen.

Im Feld wurde die Summe der Beiträge von verschiedenen Radioisotopen (K^{40} , Bi^{214} , Tl^{208}) gemessen. Die Gammaskopie im Labor erlaubt die Auftrennung dieser Summenaktivität und den Rückschluss auf die vorhandene U^{238} - und Th^{232} -Menge.

2. Labormessungen

2.1. Voraussetzungen

Das für die Labormessungen benutzte Verfahren wurde einerseits durch verschiedene ähnliche Arbeiten (HURLEY, 1956, KELLER, 1958, ADAMS, 1964, WOLLENBERG and SMITH, 1964) angeregt, andererseits durch die zur Verfügung stehende γ -Spektrometrie-Apparatur (Philips) in den Einzelheiten bestimmt. Um die folgenden messtechnischen und apparativen Anordnungen besser charakterisieren zu können, soll das gedachte Verfahren hier kurz skizziert werden: ein normiertes Gesteinspulver wird in der γ -Spektrometrie-Anordnung gemessen. Nach erfolgter Energieeichung der Apparatur kann man mit einer manuellen Diskriminator-Einheit einen bestimmten Teil des Spektrums quantitativ erfassen. Im Vergleich mit Standards und mit einem System von Gleichungen wird die endgültige strahlende Menge eines Radioisotops eruiert. Es sei schon hier kurz vorausgeschickt, dass sich dieses „ideale“ Vorgehen, der schlechten Stabilität der Apparatur und der kleinen Aktivitätswerte wegen, nicht voll anwenden liess.

2.1.1. Nulleffekt und Abschirmung

Das grundsätzliche Nulleffektproblem wurde schon im Kapitel Feldmessungen erörtert, doch da die Verhältnisse im Labor ein wenig anders sind, soll nochmals kurz darauf eingegangen werden.

Im allgemeinen sind die zu messenden Gesteine schwach aktiv, so dass der Nulleffekt zum grossen Teil die Nachweisgrenze der Messanordnung bestimmt. Um den Nulleffekt möglichst klein zu halten, wurde gegen die kosmische Strahlung und die Umgebungsstrahlung (Aktivität des Apparatenuntergrundes, der Mauern usw.) eine Bleikammer konstruiert. Die Bleikammer (Fig. 1) besteht aus einzelnen Pb-Blöcken ($5 \times 10 \times 20$ cm) der Fa. Schärer & Söhne, Zürich. Diese Blöcke sind so gegeneinander versetzt, dass nie ein durchgehender Spalt vorhanden ist und überall mindestens 10 cm Blei der unerwünschten Nulleffekt-Strahlung entgegenstehen (vgl. Anordnung von WOLLENBERG and SMITH, 1964). In die Bleikammer ist noch eine Stahlkammer von 1 cm Wandstärke eingeschlossen.

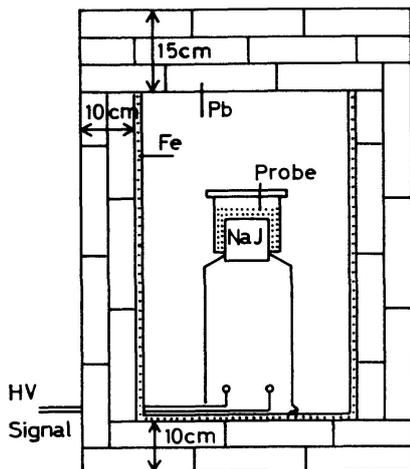


Fig. 1. Querschnitt durch das Abschirmungsgehäuse mit Messkopf.

Hinter der Abschirmung registriert nun der Detektor, natürlich vermehrt durch eine gewisse Eigenstrahlung der Bauelemente (Pb, Fe, Al) bei 5 V Schwelle, d. h. $0,2\text{--}3,6$ MeV: (310 ± 17) cpm.

Eine vollständige Abschirmung gegen kosmische Strahlung und Umgebungsstrahlung kann man mit einer solchen Bleikammer nie erreichen, doch absorbiert sie einen beträchtlichen Teil dieser unerwünschten Strahlungen. Bei einer einfachen Messanordnung kann durch Verlängerung der Messdauer und Erhöhung der Impulsrate mit Hilfe eines grossen Kristalls eine Verbesserung der Zählstatistik erreicht werden. Deshalb wurde in dieser Arbeit jede Messung über mindestens 1000 Impulse erstreckt und ein relativ grosser Kristall ($3'' \times 3'' = 7,6 \times 7,6$ cm) verwendet. Jener Null-

effektanteil, der trotz der Abschirmung mitgemessen wurde, wurde von Zeit zu Zeit separat gemessen und von den einzelnen Resultaten abgezogen.

2.1.2. Probenvorbereitung

Wie im Kapitel Feldmessungen erwähnt wurde, ist bei der Profilermessung von jeder Gesteinsart je nach ihrer räumlichen Ausdehnung und Lage ein oder mehrere Probenstücke von ca. 500 g gesammelt worden. Dabei wurde darauf geachtet, möglichst unverwitterte Stücke zu erhalten.

Um bei der Labormessung eine möglichst einheitliche Geometrie der Messanordnung zu erzielen, wurden die Probenstücke pulverisiert. Dies geschah in der Abt. für Brennstoffuntersuchungen der EMPA in Dübendorf. In zwei getrennten Arbeitsgängen (Brechen, Mahlen) wurde eine Korngrösse von $< 0,2$ mm erreicht. Das Pulver wurde in Glasflaschen aufbewahrt und nach 3–4 Wochen wurde mit den Messungen begonnen (Grund: Wiedererlangung des radioaktiven Gleichgewichts).

2.1.3. Absorptions- und Streuverhältnisse

Im Gegensatz zu den Feldmessungen, wo das Messobjekt fester, anstehender Fels war, haben wir es bei den Labormessungen mit beschränkten Mengen von Gesteinspulver zu tun. Dieses wurde zur Messung in einen speziell angefertigten Al-Topf (Antikorodal) geschüttet. Auf diese Weise umgibt das Messgut den NaJ-Kristall allseitig mit einer Schichtdicke von 2,0 cm (siehe Fig. 1).

Um möglichst einheitliche Bedingungen für alle Proben zu erhalten, muss auf drei Dinge geachtet werden: Einfüllhöhe, Gewicht, Schüttdichte. Da die spezifische Aktivität (Aktivität/Gramm) der Probe mit zunehmender Einfüllhöhe abnimmt, wurde die *Einfüllhöhe* wenn immer möglich konstant (7,7 cm) gehalten. 1 mm Abweichung verursachte $\sim 3\%$ Fehler. Das *Gewicht* der gemessenen Proben lag je nach Dichte des Materials zwischen 390 und 470 g. Dieses wird bei der Berechnung der spezifischen Aktivität (cpm/g) berücksichtigt. Was die Konstanz der *Schüttdichte* anbelangt, so stossen wir hier auf eine prinzipielle Schwierigkeit: sobald wir eine einheitliche Füllhöhe bei verschiedenem Pulvermaterial fordern, können wir nicht gleichzeitig auch die Schüttdichte konstant halten. Da aber die spezifische Aktivität, wie BOSSHARD (1964) anhand von Versuchen zeigte, bei Schüttdichten von 1,1 bis 1,4 g/cm³ ziemlich konstant bleibt (d. h. geringe Absorptionsverluste) und unser Pulvermaterial einheitlich aus Graniten, Dioriten usw. mit ähnlichem spezifischen Gewicht besteht, so wurde der Konstanthaltung der Einfüllhöhe der Vorrang eingeräumt. Auf diese Weise ergaben sich für Proben und Standards Schüttdichten von 1,37–1,68 g/cm³.

2.2. Aufbau der Apparatur

Für die Labormessungen wurde ein Einkanal-Gammaspektrometer der Fa. Philips eingesetzt. Im Detektor (NaJ-Kristall 76 SEF mit Elektronenvervielfacher-Röhre EMI 9530, beides der Fa. Quartz & Silice, Paris) werden die auftreffenden γ -Quanten in energieproportionale Spannungsimpulse umgewandelt. Diese Impulse werden in den verschiedenen Verstärkungs- und Abschwächungseinheiten der Apparatur in die gewünschte, gut messbare Form gebracht, wobei natürlich die ursprünglichen Energieverhältnisse gewahrt bleiben müssen (gute Linearität der Verstärker). Der nachfolgende Diskriminator trennt das Impulsgemisch nach Impulshöhen (0—100 V) und leitet die Impulse innerhalb eines gewünschten Intervalls („Kanal“) dem Ratemeter und/oder dem Zähler weiter. Während das Ratemeter die jeweilige mittlere Impulsrate nur durch einen Zeiger anzeigt, kann mit dem zusätzlichen Schreibgerät das ganze Spektrum aufgezeichnet werden. Zur eigentlichen Messung der meist nur schwach aktiven Proben wurde der Zähler verwendet (dekadische Anzeige der gemessenen Impulszahl durch ELT-Röhren).

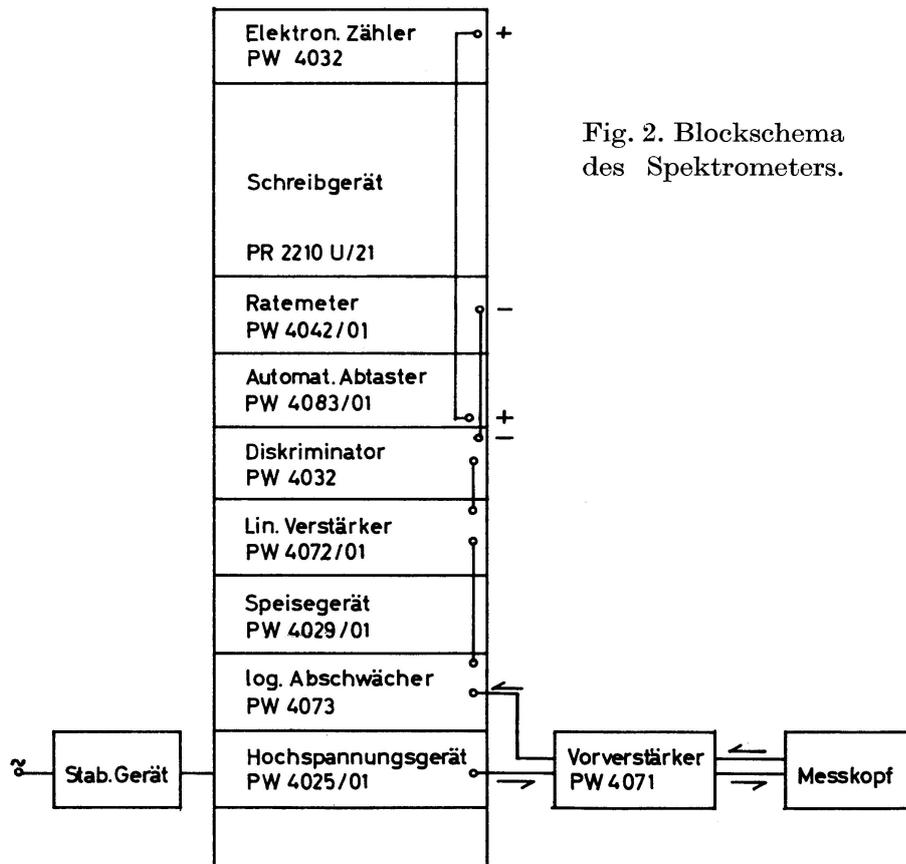


Fig. 2. Blockschema des Spektrometers.

Die ganze Apparatur besteht aus 10 Einheiten, abgesehen vom Strahlungsdetektor und einem separaten Netzstrom-Stabilisiergerät (Fig. 2).

2.3. Arbeitsweise

2.3.1. Energieeichung (MeV gegen Diskriminatorspannung)

Gamma-Linien von Co^{60} -, Cs^{137} -Quellen sowie des Bi^{214} wurden eingemessen. Gute Linearität, Auflösung mit $0,66 \text{ MeV Cs}^{137}$: $7,7\%$, Peak-valley-Verhältnis für die beiden Co^{60} -Linien: $3,6$ sowie ein 0-Fehler von $\sim 40 \text{ keV}$ wurden gefunden. Die Neigung der Eichgerade kann durch Einstellungen des logarithmischen Abschwächers variiert werden.

2.3.2. Peak-Wahl, Auswertung

Die Mengenbestimmung der γ -strahlenden Substanzen geschieht i. a. durch Vergleichsmessungen, da absolute Messmethoden zu kompliziert würden; dabei geht diese Bestimmung in jedem Fall über die Strahlungsintensität. Für jede strahlende Komponente wird ein charakteristischer Photopeak zur Messung ausgesucht. Über die gewählten Peaks gibt Tab. 1 Auskunft (vgl. ADAMS, 1964, sowie ADAMS and FRYER, 1964). Betriebsdaten der Apparatur, die den Spektrumsbereich (0— $2,75 \text{ MeV}$ innerhalb der 100 V Diskriminator-Spannung) und damit die Peak-Lagen für die weitere quantitative Arbeit festlegen:

Hochspannung: 960 V

Abschwächung: $10^{1,8}$; $10^{0,18}$; 10^0

Linearverstärker: Diff. Zeitk.: $1 \mu \text{ sec}$; Att.: 0 ; Int. Zeitk.: 0

Innerhalb der gewählten Intervalle („Kanäle“) haben die drei Komponenten-Spektren (K, U, Th) gute gegensätzliche Gestalt (Fig. 3).

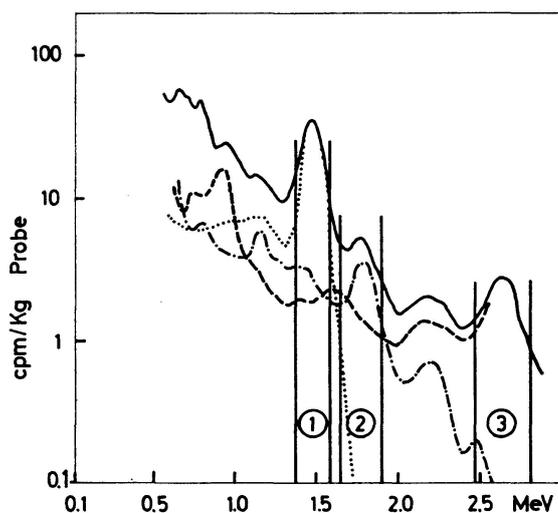


Fig. 3. Gammaspektrum einer pulverisierten Gesteinsprobe (nach GUSTAFSON and BRAR, 1964) mit Anteilen von U (—), Th (---) und K (.....) sowie mit den gewählten Kanalstellungen (1), (2), (3).

Tabelle 1. *Daten der verwendeten Photo-Peaks*

Isotop	Cs ¹³⁷	K ⁴⁰	Bi ²¹⁴ für U ²³⁸	Tl ²⁰⁸ für Th ²³²
γ -Energie (MeV)	0,66	1,46	1,76	2,62
Mittlere Kanalhöhenstellung (V)	21,0	41,5	50,0	70,5
Kanalbreite (V)	2	4	8	8
Kanal Nr.	—	1	2	3

Zur Berechnung der K-, U- und Th-Gehalte der Gesteinsproben wurde ein ähnlicher Weg wie bei HURLEY (1956) eingeschlagen.

Es bedeuten:

K_i = spezifische Nettoaktivität (cpm/g) des K-Standards im i -ten Kanal ($i = 1, 2, 3$)

U_i = spezifische Nettoaktivität des U-Standards im Kanal i

T_i = spezifische Nettoaktivität des Th-Standards im Kanal i

R_i = spezifische Nettoaktivität der Probe im Kanal i

K_{pi} = spezifische Nettoaktivität im i -ten Kanal, nur vom K-Gehalt der Probe her-rührend

U_{pi} = spezifische Nettoaktivität im i -ten Kanal, nur vom U-Gehalt der Probe her-rührend

T_{pi} = spezifische Nettoaktivität im i -ten Kanal, nur vom Th-Gehalt der Probe her-rührend

K_s = K-Gehalt des K-Standards (%)

U_s = U-Gehalt des U-Standards (ppm)

T_s = Th-Gehalt des Th-Standards (ppm)

Prinzip der Vergleichsmessung:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{U_{p2}}{U_{p1}},$$

$$R_1 = U_{p1} + T_{p1} + K_{p1}, \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{U_2 U_{p1}}{U_1} + \frac{T_2 T_{p1}}{T_1} + \frac{K_2 K_{p1}}{K_1},$$

$$R_3 = \frac{U_3 U_{p1}}{U_1} + \frac{T_3 T_{p1}}{T_1} + \frac{K_3 K_{p1}}{K_1}.$$

Falls die Zählraten von K_2 und K_3 praktisch Null ergeben, vereinfachen sich die letzten zwei Gleichungen und wir erhalten:

$$R_2 = \frac{U_2 U_{p1}}{U_1} + \frac{T_2 T_{p1}}{T_1}, \quad (2)$$

$$R_3 = \frac{U_3 U_{p1}}{U_1} + \frac{T_3 T_{p1}}{T_1}. \quad (3)$$

Indem man das System von 3 Gleichungen (1), (2), (3) auflöst, erhält man für U_{p1} , T_{p1} und K_{p1} :

$$U_{p1} = U_1 \frac{R_2 T_3 - R_3 T_2}{U_2 T_3 - U_3 T_2},$$

$$T_{p1} = T_1 \frac{R_3 U_1 - U_3 U_{p1}}{U_1 T_3},$$

$$K_{p1} = R_1 - U_{p1} - T_{p1}.$$

Durch Einsetzen der obigen Werte erhalten wir für die Probe:

$$U \text{ (ppm)} = \frac{U_{p1} \text{ (cpm/g)} U_s \text{ (ppm)}}{U_1 \text{ (cpm/g)}} = k_1 U_{p1} = 185,6 U_{p1},$$

$$Th \text{ (ppm)} = \frac{T_{p1} \text{ (cpm/g)} T_s \text{ (ppm)}}{T_1 \text{ (cpm/g)}} = k_2 T_{p1} = 775,8 T_{p1},$$

$$K \text{ (%) } = \frac{K_{p1} \text{ (cpm/g)} K_s \text{ (%)}}{K_1 \text{ (cpm/g)}} = k_3 K_{p1} = 2,08 K_{p1}.$$

2.3.3. Eichmessungen

Wie vorne beschrieben, stützt sich die Berechnungsmethode auf den Vergleich der Proben mit drei Standards. Als U- und Th-Standards dienten vom New Brunswick Laboratory der U.S. Atomic Energy Commission analysierte Eichpulver (0,1% U, bzw. 0,1% Th), als K-Eichprobe wurde reines KCl (53,2% K) der Fa. Riedel-De Haen AG, Hannover, verwendet. Sie sind alle fein pulverisiert und der Gehalt an Fremdstoffen (z. B. U-Gehalt des Th-Standards) wurde in Rechnung gezogen. Die Messresultate sind in Tab. 2 angegeben.

Tabelle 2. *Eichmessungen (U-, Th- und K-Standards)*

	K ₁	K ₂	K ₃	U ₁	U ₂	U ₃	T ₁	T ₂	T ₃
Spezifische Nettoaktivität (cpm/g)	2,547	0	0	5,388	4,366	0,042	1,289	0,912	0,935
Nulleffekt-Zählrate (cpm)	7,2	3,4	—	7,3	3,7	0,92	7,4	3,7	0,92
Gewicht (g)		388,0			441,0			460,0	

2.3.4. Stabilität der Apparatur

Die Apparatur steht in einem Raum ohne Klimaanlage. Elektronische Instabilitäten erzeugen eine relative Verschiebung Kanal-Peak, womit sich die Zählrate ändert. Um diese unerwünschte Verschiebung möglichst auszuschalten, wurde vor jeder Messung das Maximum des betreffenden Peaks manuell aufgesucht. Dies ging so vor sich, dass die Kanalhöhe bei möglichst kleiner Kanalbreite um je 0,1 oder 0,2 V verschoben, dann die jeweilige Impulsrate gemessen und aufgezeichnet wurde. Dass die Peak-Lokalisierung vor jeder Messung nötig war, zeigt Fig. 4 deutlich, wo die Lage der 3 Peaks in Funktion der Zeit dargestellt ist. Wie daraus ersichtlich ist, ist diese Peak-Drift nach anfänglichem Einpendeln nicht mehr sehr gross, doch könnten bei Nichtbeachtung dieser Verschiebung Fehler von 6—8% in der Impulsrate entstehen.

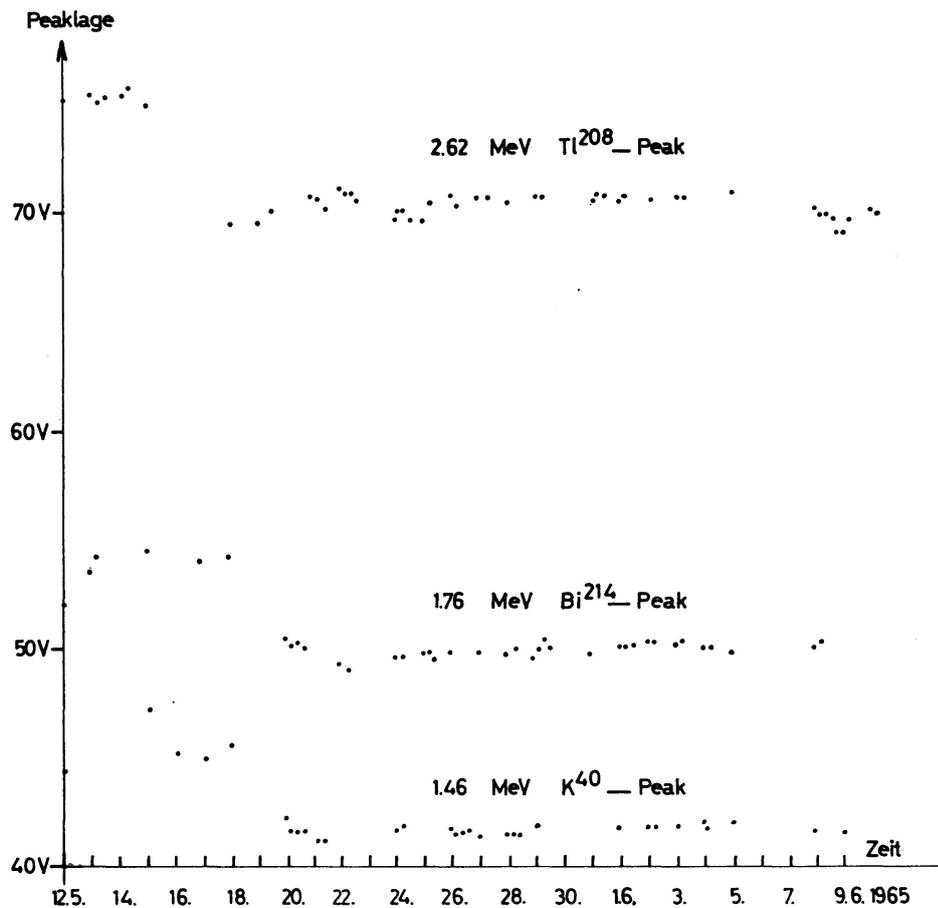


Fig. 4. Verschiebungen der Kanalstellungen im Laufe der Zeit (Hochspannung: 960 V, Abschwächung: $10^{1,8}$, $10^{0,18}$, 10^0).

2.3.5. Fehlerbetrachtung

Der eigentliche Fehler am Messresultat setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen: Wiegefehler, Fehler infolge verschiedener Füllhöhen, Fehler infolge verschiedener Schüttdichten, Zeitmessfehler, Totzeitfehler (Zählverluste), Eichpräparate-Fehler, Fehler infolge ungenauer Nulleffekterfassung, Fehler infolge Instabilitäten, statistischer Fehler der Impulsraten.

Die ersten vier Fehlerquellen dürfen dank der getroffenen Massnahmen als sehr klein betrachtet werden. Der Totzeitfehler ist ebenfalls vernachlässigbar, da die gemessenen Gesteinsproben durchwegs schwach aktiv sind. Die Eichpräparate-Fehler wurden durch Berücksichtigung der Gehalte an strahlendem Fremdmaterial beseitigt und die mittleren statistischen Fehler der Eichprobenmessung durch Zählung von mindestens $2 \cdot 10^5$ Impulsen praktisch vollständig eliminiert.

Eine gewisse Fehlerquelle stellt die Nulleffektbestimmung dar; der Nulleffekt kann nämlich bei langen Messzeiten während der Messung variieren, so dass wir immer nur einen angenäherten Betrag für den Nulleffekt erhalten.

Die zwei Hauptfehlerquellen bildeten aber zweifellos die zeitweise beträchtlichen Instabilitäten und der natürliche statistische Zählratenfehler. Wegen Drift während des Messvorganges könnten fehlerhafte Impulsraten-Beträge erhalten werden. Anhand von Schwankungen in der Kanalhöhe und -breite, die man vor und nach der eigentlichen Messung beobachten konnte, sollte dieser Fehler $\pm 6\%$ nicht überschreiten. Der mittlere statistische Fehler der Zählrate pro Kanalstellung wurde dem Diagramm in LOEVINGER and BERMAN (1951) entnommen. Er konnte bei schwach aktiven Proben bis $\pm 7\%$ betragen. Damit ist der mittlere relative Gesamtfehler pro Komponente (K, U, Th) $\leq \pm 9\%$ (vgl. ADAMS, 1964).

IV. RESULTATE

Die im Labor bestimmten U-, Th- und K-Gehalte der untersuchten Proben sind in Tab. 3 angegeben und auf Tafel 2 zusammen mit den Aktivitätswerten der Profilvermessung dargestellt. Der unruhige Kurvenverlauf der Feldmessung lässt sich meist auf die vielen Gangsysteme zurückführen, wobei die basischen Gänge (Augitporphyrite) regelmässig einen deutlichen Aktivitätsabfall bedingen.

Wie eingangs bemerkt wurde, können Messungen an Gesteinen, die Aktivitäten von der Grössenordnung des Nulleffektes aufweisen, problematisch werden. Dies trifft in unserem Fall vor allem für die Sedimentgesteine auf der Fuorcla da Punteglias und für den Diorit auf der Alp da Punteglias zu. Über diesen Gesteinen wurde bloss $9\mu r/h$ gemessen, demzufolge muss der Nulleffekt unter diesem Wert liegen. Mittelwerte der Feldvermessung für die verschiedenen Gesteinstypen sind in Tab. 4 angegeben.

Die ähnliche Gestalt der vier Profilkurven auf Tafel 2 fällt sofort auf. Erstens liegt zwischen Feld- und Labormessungen eine i. a. gute Übereinstimmung vor; die anfängliche Befürchtung, die Werte der Profilvermessung im südlichen Teil des Profils seien durch Nachbargesteinsstrahlung und Geometrieeffekte (Raumwinkel stellenweise bis 3π) beeinflusst, hat sich nicht bestätigt. Zweitens stimmen die U-, Th- und K-Kurven recht gut überein, was wiederum beweist, dass Gesteine mit hohem K-Gehalt gleichzeitig auch U- und Th-reicher sind (vgl. WOLLENBERG and SMITH, 1964).

Auffällig ist, dass der basische Puntegliasgranit gegenüber der nor-

Tabelle 3. *Messresultate, U-, Th- und K-Gehalte, Th/U-Verhältnisse*

Nr.	Gestein	U _{p1} (cpm/g)	Th _{p1} (cpm/g)	K _{p1} (cpm/g)	Th/U	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)
3	Monzonit	0,022	0,014	0,115	3,66	4,1	10,9	2,4
4	Syenit	0,053	0,021	0,181	1,66	9,8	16,3	3,7
5	Monzonit	0,037	0,023	0,185	2,58	6,9	17,8	3,8
6	Saurer Granit	0,062	0,030	0,164	2,04	11,5	23,3	3,4
8	Monzonit	0,013	0,017	0,149	5,50	2,4	13,2	3,1
11	Monzonit	0,025	0,024	0,179	4,04	4,6	18,6	3,7
13	Saurer Granit	0,052	0,057	0,249	4,57	9,7	44,3	5,1
17 b	Syenitporphyr	0,050	0,022	0,155	1,84	9,3	17,1	3,2
22	Saurer Granit	0,032	0,050	0,203	6,58	5,9	38,8	4,2
26	Monzonit	0,047	0,033	0,232	2,94	8,7	25,6	4,8
28	Saurer Granit	0,037	0,058	0,201	6,52	6,9	45,0	4,1
29	Augit-Porphyr	0,026	0,020	0,115	3,23	4,8	15,5	2,4
29 n	Saurer Granit	0,060	0,046	0,156	3,19	11,2	35,7	3,2
29 g	Aplit	0,160	0,036	0,233	0,94	29,6	27,9	4,8
37	Augit-Porphyr	0,007	0,004	0,104	2,38	1,3	3,1	2,1
49	Qz-Monzonit	0,090	0,066	0,368	3,06	16,7	51,2	7,3
58 b	Augitminette	0,066	0,053	0,300	3,37	12,2	41,1	6,1
200	Normaler Punt.-Granit	0,066	0,043	0,145	2,74	12,2	33,4	3,0
110 b	Bas. Punteglias-Granit	0,048	0,053	0,318	4,62	8,9	41,1	6,5
88	Bas. Punteglias-Granit	0,037	0,028	0,323	3,14	6,9	21,7	6,6
86	Augit-Porphyr	0,016	0,005	0,065	1,30	3,0	3,9	1,3
84	Granitporphyr	0,141	0,070	0,163	2,08	26,2	54,3	3,3
95	Bas. Punteglias-Granit	0,050	0,067	0,245	5,59	9,3	52,0	5,0
101	Bas. Punteglias-Granit	0,051	0,061	0,215	4,98	9,5	47,3	4,4
122	Bas. Punteglias-Granit	0,035	0,079	0,283	9,43	6,5	61,3	5,8
124	Bas. Punteglias-Granit	0,059	0,075	0,244	5,29	11,0	58,2	5,0
129	Bas. Punteglias-Granit	0,064	0,075	0,237	4,93	11,8	58,2	4,9
141	Kontakt-Schiefer	0,044	0,018	0,168	1,75	8,2	14,0	3,5
143	Schiefriger Qz-Porphyr	0,008	0,006	0,065	3,13	1,5	4,7	1,3
153	Diorit	0,003	0,001	0,011	1,60	0,5	0,8	0,2
161	Diorit	0,001	0	0,020	—	0,2	—	0,4
41	Normaler Punt.-Granit	0,053	0,048	0,191	3,80	9,8	37,2	3,9
114	Augit-Porphyr	0,040	0,006	0,026	0,64	7,4	4,7	0,5
106	Bas. Punteglias-Granit	0,074	0,062	0,191	3,51	13,7	48,1	3,9

Tabelle 4. *Mittlere U-, Th- und K-Gehalte der ausgeschiedenen Gesteinstypen, Mittelwerte der Profilvermessung*

Gestein	Anzahl Proben	U ppm	Th ppm	K %	K ₂ O %	Feldmessung μ r/h
Monzonit	5	5,3	17,2	3,56	4,3	22
Saurer Biotitgranit	5	9,0	37,4	4,00	4,8	32
Normaler Puntegliasgranit	2	11,0	35,3	3,45	4,2	35
Basischer Puntegliasgranit	8	9,7	48,5	5,26	6,3	52—62 *)
Augitporphyr	4	4,1	6,8	1,57	1,9	18—40 **)
Diorit	2	0,35	0,4	0,30	0,4	< 10

*) Je nach Lage im Profil.

**) Je nach Breite der Gänge und Aktivität des Nebengesteins.

malen Varietät wesentlich mehr Th und K führt. Die gefundenen K-Werte stimmen mit früheren Analysen aus dem Untersuchungsgebiet (NIGGLI et al., 1930) i. a. überein. Zum Vergleich stehen U- und Th-Werte nur spärlich zur Verfügung. HIRSCHI (1927) erwähnt den recht hohen Th-

Gehalt (44 ppm) einer Punteglia-granit-Probe und weist darauf hin, dass infolge magmatischer Differentiation die höchsten Th-Werte am Ostende des Aarmassivs auftreten. Werte in HÜGI (1956) von einer Punteglia-granit-Probe (16 ppm U und 44 ppm Th) stimmen gut mit unserem Befund überein.

Die Th-Gehalte der *Granite*, besonders die des basischen Punteglia-granites, sind auffallend hoch (vgl. ADAMS et al., 1962), so dass diese Gesteine deutlich höhere, die *basischen Gesteine* deutlich niedrigere Th/U-Verhältnisse zeigen, als der für magmatische Gesteine angegebene Durchschnittswert von 3,5 (ADAMS et al., 1959).

Der auffallende Anstieg der Th- und z. T. der U-Gehalte gegen S kann durch die Zonarstruktur der Radioaktivität in Granitkörpern (vgl. z. B. RYBACH et al., 1966) erklärt werden¹⁾. Danach findet man die höchsten Radioaktivitätswerte in der Randphase einer Intrusion (die Randzonen sind am kältesten, hier beginnt die frühere Ausscheidung der U- und Th-führenden Akzessorien wie Zirkon, Titanit etc., was noch durch Konvektionsströmungen beeinflusst wird). Als Randzone muss in unserem Fall der basische Punteglia-granit angesehen werden, während der saure Granit und der Monzonit im obersten Teil des Profils dem Zentrum der Intrusion entspricht und demzufolge schwächer aktiv ist. Nach den jetzt zur Verfügung stehenden Daten scheint der südlich angrenzende Diorit nicht vom Punteglia-Magma abzustammen.

V. LITERATURVERZEICHNIS

SMPM = Schweiz. Mineralogische und Petrographische Mitteilungen.

NRE = ADAMS, J. A. S. and LOWDER, W. M., eds. (1964): The Natural Radiation Environment. The University of Chicago Press.

ADAMS, J. A. S., OSMOND, J. K. and ROGERS, J. J. W. (1959): The geochemistry of Thorium and Uranium. In *Physics and Chemistry of the Earth*, 3, 298—345. Pergamon Press.

ADAMS, J. A. S., KLINE, M. C., RICHARDSON, K. A. and ROGERS, J. J. W. (1962): The Conway granite of New Hampshire as a major low-grade thorium resource. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 48, 1898—1905.

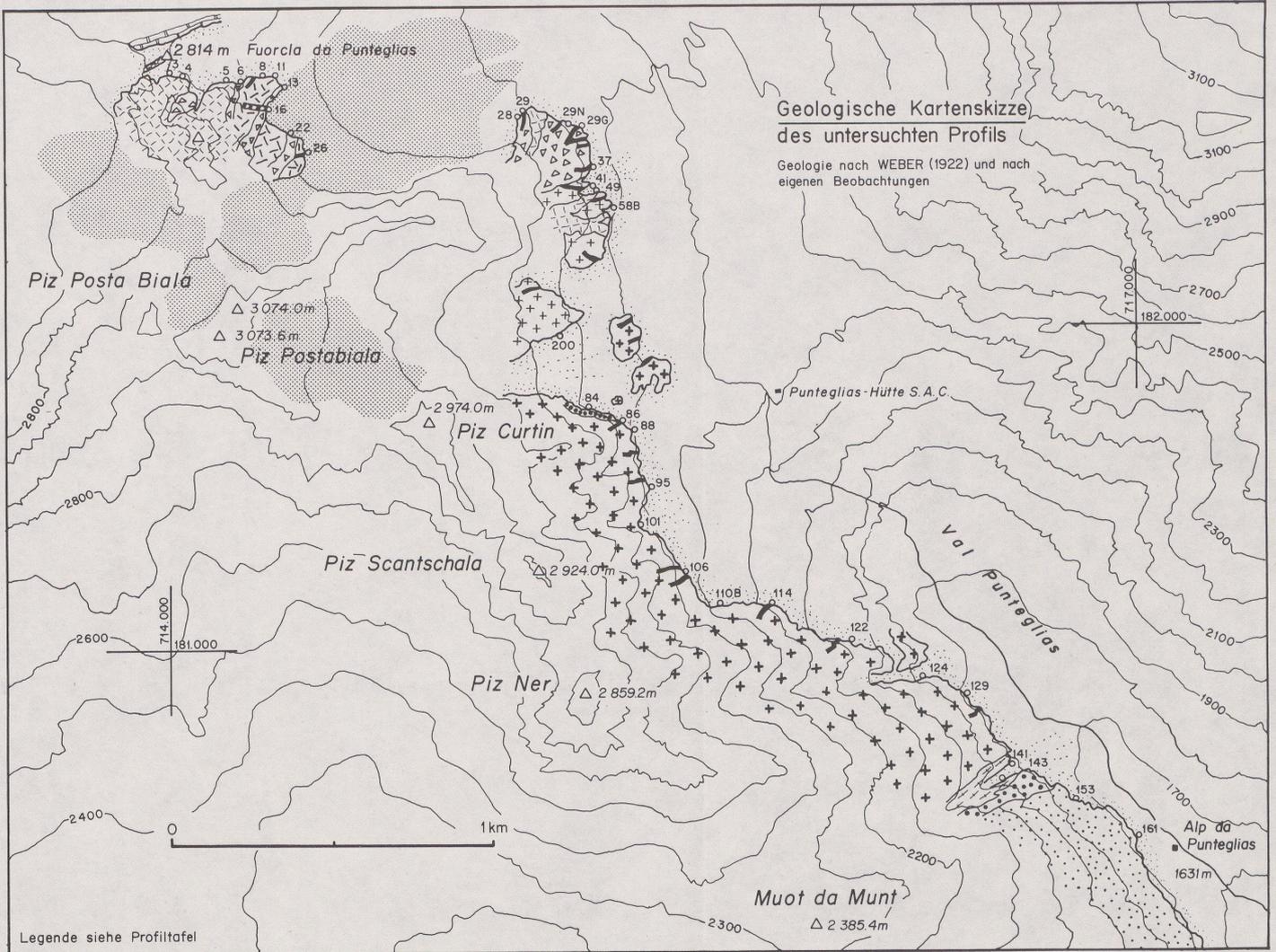
ADAMS, J. A. S. (1964): Laboratory γ -ray spectrometer for geochemical studies. NRE 485—497.

ADAMS, J. A. S. and FRYER, G. E. (1964): Portable γ -ray spectrometer for field determination of thorium, uranium and potassium. NRE 577—596.

¹⁾ Es sei hier darauf hingewiesen, dass ebenfalls am Südrande des Aarmassivs (zwischen Göschenen und Andermatt), vgl. RYBACH und HAFNER, 1962, eine deutliche Erhöhung des (U + Th)-Gehaltes festgestellt wurde.

- ALEKSEJEW, F. A., GRUMBKOW, A. P. und KIRSCHSFELDT, I. E. (1955): K voprosu o vozmožnosti ispol'zovanija radiometričeskich metodov dlja poiskov neftjanych mestoroždenij. Sessija Akad. Nauk. SSSR. po mirnomu ispol'zovanija atomnoj energii. 1.—5. Julji 1955. Izd. Akad. Nauk. SSSR, Moskva, 235—266.
- BOSSHARD, E. (1964): Radioaktives Gleichgewicht in Gesteinspulvern. Diplomarbeit ETH, Zürich (unveröffentlicht).
- GUSTAFSON, P. F. and BRAR, S. S. (1964): Gamma-emitting radionuclides in soil. NRE 499—512.
- HERBST, W. und HÜBNER, G. (1962): Zur Variabilität der terrestrischen Komponente der durchdringenden äusseren Umgebungsstrahlung im Freien. Atomkernenergie 7, 481—486.
- HERBST, W. (1964): Investigations of environmental radiation and its variability. NRE 781—796.
- HIRSCHI, H. (1927): Radioaktivität der Intrusivgesteine des Aarmassivs. SMPM 7, 98—115.
- HUONDER, N. (1964): Radiometrische und petrographische Untersuchungen an Stollenproben der Hinterrhein-Kraftwerke. Diplomarbeit ETH, Zürich (unveröffentlicht).
- HURLEY, P. M. (1956): Direct radiometric measurement by gamma-ray scintillation spectrometer. Bull. Geol. Soc. Amer. 67, 395—412.
- HÜGI, TH. (1956): Vergleichende petrologische und geochemische Untersuchungen an Graniten des Aarmassivs. Beitr. geol. Karte Schweiz, NF. 94.
- KELLER, P. (1958): Détermination de la teneur en Uranium et Thorium par la spectrométrie γ . Diss. Univ. Strasbourg.
- LOEVINGER, R. and BERMAN, M. (1951): Efficiency criteria in radioactivity counting. Nucleonics 9, 26—39.
- NIGGLI, P., DE QUERVAIN, F. und WINTERHALTER, R. U. (1930): Chemismus schweizerischer Gesteine. Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie XIV.
- ROTHE, K. (1959): Radiometrische Bestimmungen an Mineralien und Gesteinen. Freiburger Forschungshefte C 68.
- 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-Profls. SMPM 42, 209—218.
- RYBACH, L., VON RAUMER, J. and ADAMS, J. S. A. (1966): A gamma spectrometric study of Mont Blanc granite samples. Pure and Appl. Geophysics 63, 153—160.
- SHELLER, E. (1964): Radioaktivitätsmessungen an Verrucanogesteinen des Kärpfgebietes. Diplomarbeit ETH, Zürich (unveröffentlicht).
- WEBER, E. (1922): Tektonische Übersicht des Wurzelgebietes am Ostende des Aar- und Gotthardmassivs.
- WOLLENBERG, H. A. and SMITH, A. R. (1964): Studies in terrestrial γ radiation. NRE 513—566.
- WÜTHRICH, H. (1963): Rb-Sr-Altersbestimmungen an Gesteinen aus dem Aarmassiv. Eclogae geol. Helv. 56, 103—112.
- (1965): Rb-Sr-Altersbestimmungen am alpin metamorph überprägten Aarmassiv. SMPM 45, 875—971.

Manuskript eingegangen am 31. Dezember 1966.



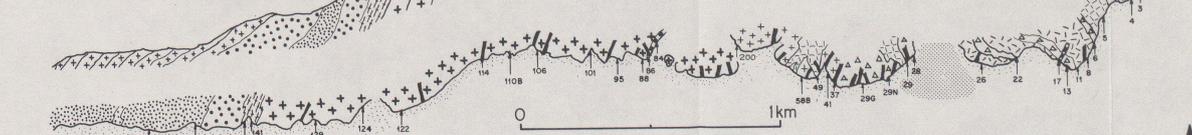
Leere Seite
Blank page
Page vide

Geologisches und radiometrisches Profil quer durch das östliche Aaremassiv

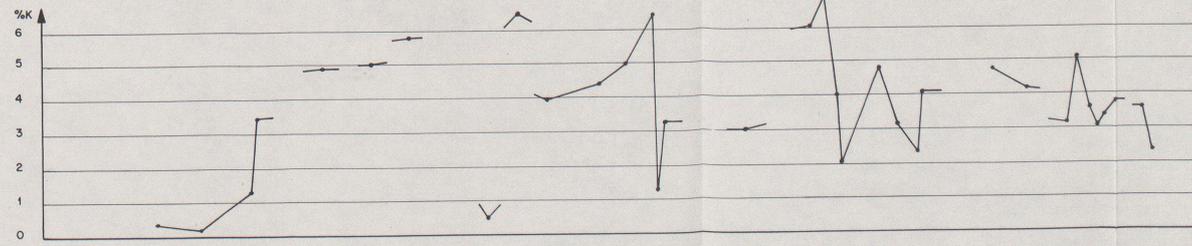
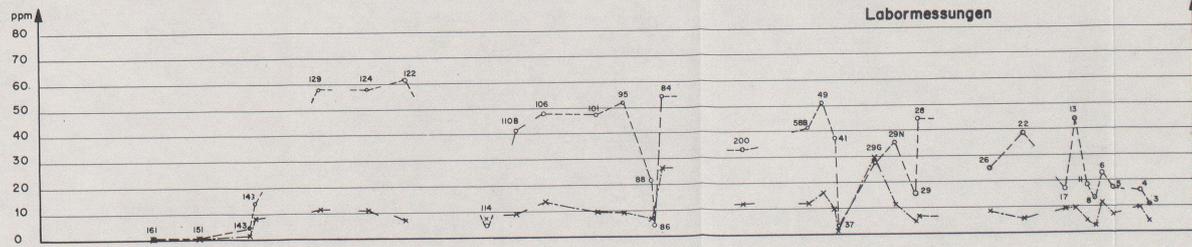
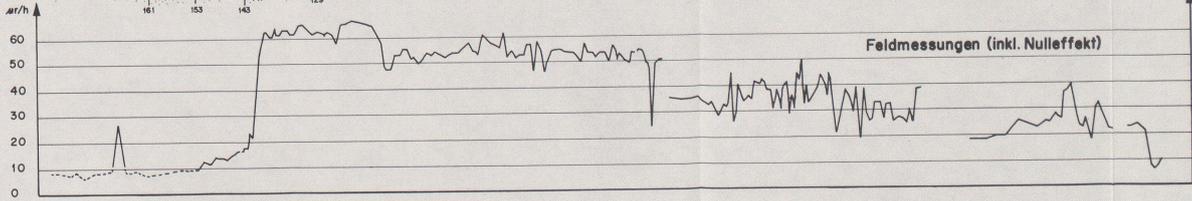
Geologie nach WEBER (1922)

S

N



- Rötildolmit
- Dogger-Schiefer
- Monzonit-Quarz - Monzonit
- bas. Monzonit
- Saurer Granit Quarzdiorit
- norm. Punteglias-Granit
- bas. Punteglias-Granit
- Kontaktschiefer
- Quarzporphyr
- Diorit - Dioritporphyr
- Moräne, Schutt
- Gletscher
- Augitporphyr - Gang
- Granitporphyr - Gang
- Syenitporphyr - Gang



- Th - Anteil
- U - Anteil

