

# Geophysik-Praktikum – Versuch „Radiometrie“

Gruppe 3

Christoph Moder, Silke Richter, Michael Wack

Datum: 24.04.2003

## Einführung

Die radioaktiven Elemente, die in natürlichem Gestein vorkommen, sind i.W. Uran-238 und -235, Thorium-232, Kalium-40, sowie deren radioaktive Zerfallsprodukte. Wenn man überprüfen möchte, welche dieser Elemente in welchem Verhältnis in einem Gestein enthalten sind, reicht es, die entstehende Strahlung zu messen. Aus der Gammastrahlung kann man auf die verursachenden Elemente schließen, denn die Kernanregung, die nach dem Zerfall in Form eines oder mehrerer Gammaquanten abgegeben wird, ist spezifisch für jeden Kern. Anwendungsgebiete dafür sind z.B. die Suche nach Uranlagerstätten, oder die Altersbestimmung von Gestein mit Hilfe von Uran oder Kalium-40. Da letzteres zum flüchtigen Edelgas Argon zerfällt, ist das Verhältnis des im Gestein eingeschlossenen Argons zum Kalium-40 ein Maß für das Alter – weil sich durch die hohen Temperaturen bei der Entstehung des Gesteins sämtliche gasförmigen Bestandteile verflüchtigen, muss das Argon später entstanden sein.

## Messverfahren

In einem Szintillationszähler erzeugt ein Gammaquant durch Fotoeffekt, Compton-Effekt oder Paarbildung (Elektron-Positron) schnelle Elektronen, die stark ionisierend wirken und weitere Elektronen aus dem Kristallverbund reißen. Bei der Rekombination entstehen Photonen im optischen Wellenlängenbereich, die in einer Fotokathode wiederum per Fotoeffekt Sekundärelektronen freisetzen. Im anschließenden Photomultiplier werden diese Sekundärelektronen durch eine Hochspannung beschleunigt, wodurch sie weitere Elektronen ionisieren, diese werden ebenfalls beschleunigt und ionisieren weiter – es entsteht eine Elektronenlawine, die dann von der Messelektronik registriert werden kann. Dabei ist nicht die kinetische Energie der Sekundärelektronen ein Maß für die Gamma-Wellenlänge, sondern deren Anzahl. Ein Fensterdiskriminator ordnet alle Elektronen, die während eines bestimmten Zeitintervalls im Detektor eingehen, einem gemeinsamen Gammaquant zu – dadurch können mehrere Zerfälle, die in das gleiche Zeitfenster fallen, prinzipiell nicht getrennt werden, was vor allem bei hoher Aktivität ins Gewicht fällt (das ist bei diesem Praktikumsversuch nicht der Fall). Den durchschnittlichen Anteil der Zeit, in der sich der Detektor in so einem Zeitfenster befindet, zeigt er als Totzeit an.

Weil vom Detektor nicht alle Gammaquanten erfasst werden, ist eine Eichung nötig. Mit Proben aus Uran, Thorium und Kalium (der Anteil des radioaktiven Kalium-40 ist bekannt) wird diese Eichung bei drei verschiedenen Energien durchgeführt; aus der Masse und dem Atomgewicht wird die Anzahl der Atome berechnet, und mit Hilfe der Halbwertszeit daraus die zu erwartende Aktivität. Der Vergleich mit der tatsächlich gemessenen Aktivität gibt den Wirkungsgrad des Detektors bei der entsprechenden Energie an.

## Theoretischer Hintergrund

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_h}$$

$$A_k = -\frac{dA}{dt} = \frac{N}{A} \cdot \lambda \cdot m$$

## Auswertung

### Kalium-40

In der flachen Dose:  $m=35,315\text{ g}$ ; davon ist  $0,0119\%$   $^{40}\text{K}$ , und nur  $10,5\%$  der Zerfälle emittieren ein  $\gamma$ -Quant, d.h. die Aktivität ist theoretisch:

$$A = \frac{6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,73 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1} \cdot 0,000119 \cdot 0,105 \cdot 0,522 \cdot 35,315 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 60 \text{ Bq}$$

(Der Massenanteil von Kalium in KCl beträgt  $52,2\%$ .)

Die gemessene Aktivität ist  $2,5 \text{ Bq}$  ( $3536$  Zerfälle in  $1412 \text{ s}$ ), d.h. der Detektor registriert  $4,17\%$  der emittierten Gammaquanten.

Marinelli-Becher:  $m=400,6 \text{ g} \Rightarrow A=680,5 \text{ Bq}$ ; gemessen:  $18 \text{ Bq}$  ( $9164$  Zerfälle in  $506 \text{ s}$ ), d.h. der Detektor registriert hier  $2,65\%$  der Gammaquanten.

### Uran-238

Uranschiefer in der Dose:  $m=41,7 \text{ g}$ , davon ist  $960 \text{ ppm} = 0,0960\%$   $^{238}\text{U}$ . In der Zerfallskette entstehen Gammaquanten mit  $1,765 \text{ MeV}$  beim Zerfall zu  $^{214}\text{Bi}$  mit einer Wahrscheinlichkeit von  $16,7\%$  (weil die Zerfallskette im Gleichgewicht ist, kann man aus den  $^{214}\text{Bi}$ -Zerfällen auf die Uran-Aktivität schließen).

$$A = \frac{6,022 \cdot 10^{23} \cdot 4,88 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1} \cdot 0,000960 \cdot 0,167 \cdot 41,7 \text{ g}}{238 \text{ g/mol}} = 81,8 \text{ Bq}$$

Die gemessene Aktivität beträgt  $2,20 \text{ Bq}$  ( $2648$  Zerfälle in  $1205 \text{ s}$ ), d.h. der Detektor registriert  $2,69\%$  der Gammaquanten.

Uranschiefer im Marinelli-Becher:  $m=472,2 \text{ g}$ , Urangehalt  $1250 \text{ ppm}$ : theoretisch  $A=1217 \text{ Bq}$ , gemessen  $A=23,5 \text{ Bq}$  ( $11299$  Zerfälle in  $481 \text{ s}$ ), d.h.  $1,93\%$  Effizienz.

### Thorium-232

Im Marinelli-Becher:  $m=448,6 \text{ g}$  mit einem Thorium-Gehalt von  $119,5 \text{ ppm}$ , Gamma-Wahrscheinlichkeit  $36\%$ :

$$A = \frac{6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,58 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1} \cdot 0,0001195 \cdot 0,36 \cdot 448,6 \text{ g}}{232 \text{ g/mol}} = 79,16 \text{ Bq}$$

Gemessen:  $0,6 \text{ Bq}$  ( $751$  Zerfälle in  $1259 \text{ s}$ ), d.h.  $0,75\%$  Effizienz

## Bestimmung der Bestandteile von Kalkstein

Gesamtmasse:  $m=514,4 \text{ g}$ ; Messzeit  $1999 \text{ s}$

Messwerte:

- Kalium-Peak:  $0,98 \text{ Bq}$  ( $1952$  Zerfälle)
- Uran-Peak:  $4,2 \text{ Bq}$  ( $8372$  Zerfälle)
- Thorium-Peak:  $0,19 \text{ Bq}$  ( $375$  Zerfälle)

Multipliziert mit den ermittelten Effizienz–Werten (jeweils bei den Messungen mit Marinelli–Becher) sowie den Gamma–Wahrscheinlichkeiten pro Zerfall ergeben sich folgende korrigierte Aktivitäten und Massen:

Kalium  $A=353 \text{ Bq}$ ,  $m=1,35 \text{ mg}=2,63 \text{ ppm}$

Uran  $A=1301 \text{ Bq}$ ,  $m=106 \text{ mg}=205,16 \text{ ppm}$

Thorium  $A=1670 \text{ Bq}$ ,  $m=17,1 \text{ mg}=33,19 \text{ ppm}$

mit:

$$m = \frac{A \cdot M}{N_A \cdot \lambda}$$

## Bestimmung der Bestandteile von Granit

Gesamtmasse:  $m=547,69 \text{ g}$ ; Messzeit:  $65033 \text{ s}$

Messwerte:

- Kalium–Peak:  $2,1 \text{ Bq}$  (136526 Zerfälle)
- Uran–Peak:  $0,23 \text{ Bq}$  (15176 Zerfälle)
- Thorium–Peak:  $0,32 \text{ Bq}$  (20582 Zerfälle)

Multipliziert mit den ermittelten Effizienz–Werten:

Kalium  $A=756 \text{ Bq}$ ,  $m=2,9 \text{ mg}=5,30 \text{ ppm}$

Uran  $A=71,26 \text{ Bq}$ ,  $m=5,78 \text{ mg}=10,55 \text{ ppm}$

Thorium  $A=2813 \text{ Bq}$ ,  $m=28,6 \text{ mg}=52,51 \text{ ppm}$

## Tschernobyl–Probe (gespeicherte Messwerte)

Gesamtmasse:  $m=185,6 \text{ g}$ ; Messzeit  $72789 \text{ s}$

Weil es für Cäsium keine Eichpräparate gab, muss man die Effizienz des Detektors bei den Cs–Energien (Cs–134:  $605 \text{ keV}$ ; Cs–137:  $662 \text{ keV}$ ) aus den anderen Effizienz–Werten extrapolieren. Die Regressionsgerade im Energie–Effizienz–Diagramm (Energie logarithmisch aufgetragen) liefert die entsprechenden Werte:  $5,44\%$  (für Cs–134) bzw.  $5,15\%$  (für Cs–137).

- Cs–134:  $86,32 \text{ Bq}$ , Effizienz–korrigiert  $1859 \text{ Bq}$ ,  $m=3,88 \cdot 10^{-5} \mu\text{g}=2,09 \cdot 10^{-7} \text{ ppm}$
- Cs–137:  $86,14 \text{ Bq}$ , Effizienz–korrigiert  $1967 \text{ Bq}$ ,  $m=6,00 \cdot 10^{-4} \mu\text{g}=3,23 \cdot 10^{-6} \text{ ppm}$

