

NR - Natürliche Radioaktivität

Blockpraktikum - Herbst 2005

Tobias Müller, Alexander Seizinger, Patrick Ruoff
Assistent: Dr. Thorsten Hehl

Tübingen, den 21. Oktober 2005

1 Vorwort

In diesem Versuch untersuchten wir die Radioaktivität von Gegenständen des täglichen Lebens wie zum Beispiel Gestein oder alten Uhren.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Halbwertszeit

Nicht alle in der Natur vorkommenden Atome sind auch dauerhaft stabil, die Kerne einiger Isotope sind instabil und zerfallen nach einer gewissen Zeit. Trägt man die Anzahl N in Abhängigkeit von der Zeit t auf, so stellt man fest, dass der Zerfall *exponentiell* erfolgt, das heißt in gleichen Zeitschritten ändert sich die Anzahl um den gleichen Faktor. Die sog. *Halbwertszeit* T bezeichnet die Zeit, nach der sich Anzahl um den Faktor 2 reduziert hat.

Nimmt man als Zerfallsfunktion $N(t)$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

an, wobei N_0 die Anzahl zum Startzeitpunkt ist, so ergibt sich mit der Bedingung

$$N(T) = \frac{1}{2} N(0)$$

für die Halbwertszeit T

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

2.2 Strahlungsarten

Bei radioaktiven Zerfällen unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Arten von Strahlung

- α -Strahlung
 α -Strahlung besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen (Heliumkerne). Sie ist die Strahlung mit der kürzesten Reichweite und wird bereits durch ein dünnes Blatt Papier vollständig abgeschirmt.
- β -Strahlung β -Strahlen bestehen aus schnellen Elektronen; auch ihre Reichweite ist auf wenige Zentimeter beschränkt.
- γ -Strahlung γ -Strahlen sind im Gegensatz zu den beiden anderen Arten keine direkten Zerfallsprodukte sondern entstehen dadurch, dass nach einem Zerfall ein Kern in angeregtem Zustand übrigbleibt, der beim Übergang in niedrigeres Energieniveau elektromagnetische Strahlung aussendet. Diese sind sehr kurzweilig und damit energiereich und können nur von meterdicken Stahlbeton/Bleiplatten ausreichend abgeschirmt werden.

2.3 Aktivität, Dosis und Äquivalenzdosis

- Aktivität A :
Als *Aktivität* A bezeichnet man die Anzahl der Zerfälle pro Zeiteinheit, also

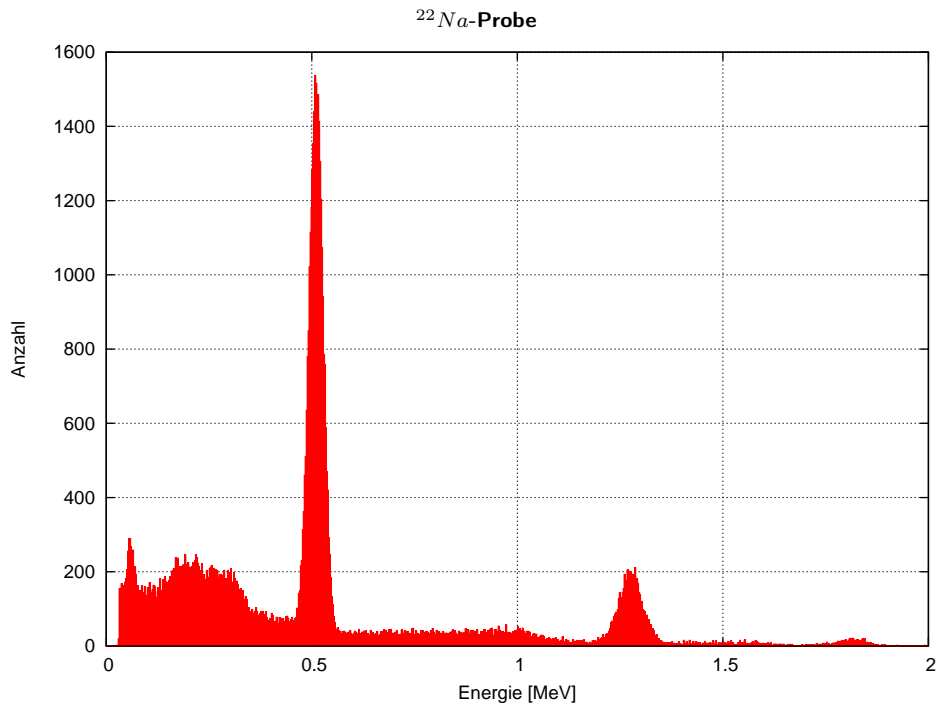
$$A = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N_0$$

Sie wird in Bequerel gemessen, wobei 1Bequerel einem Zerfall pro Sekunde entspricht.

- Energiedosis D :
Die Energiedosis D definiert man als übertragene Strahlungsenergie pro Masse, sie wird Gray bzw. $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$ gemessen.
- Äquivalenzdosis: Da bei der Energiedosis nicht die unterschiedliche Gefährlichkeit der Strahlungsarten für Gewebe berücksichtigt wird, ist für die Messung der Strahlenbelastung von Lebewesen die Äquivalenzdosis entscheidend. In ihr werden die einzelnen Strahlungsarten nach ihrer Gefährlichkeit für Gewebe gewichtet, ihre Einheit ist das Sievert Sv

3 Auswertung

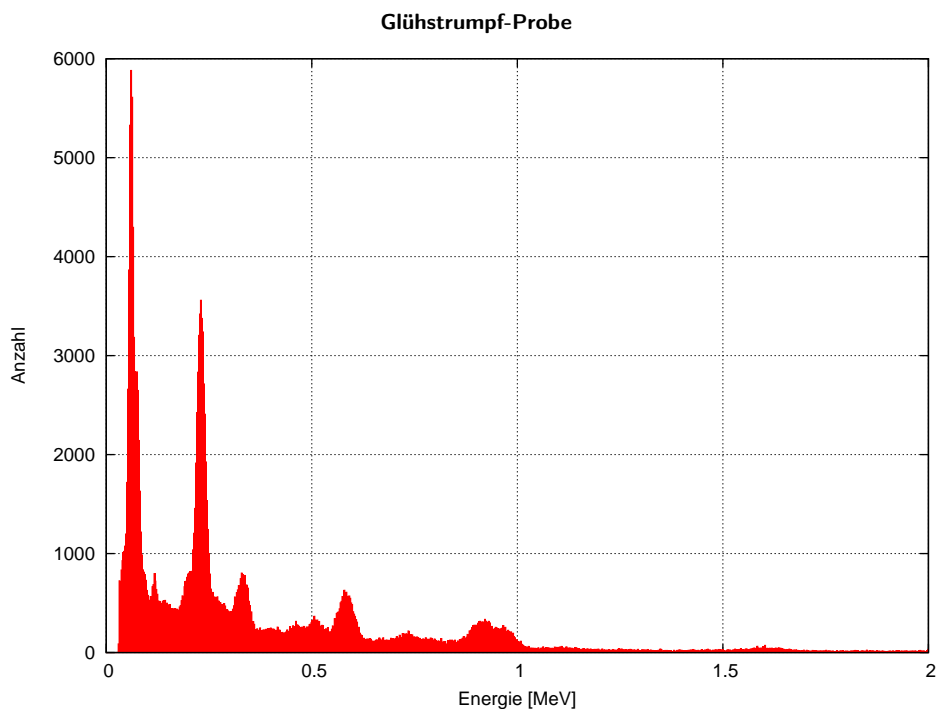
3.1 Kalibrierung mit einer ^{22}Na -Probe



Zur Kalibrierung der Messapparatur wurde eine ^{22}Na -Probe 5 Minuten gemessen. Die beiden deutlichen Peaks entsprechen Energien von 0.511 MeV und 1.275 MeV. Somit konnte einer Umrechnung zwischen Kanälen und Energien erfolgen.

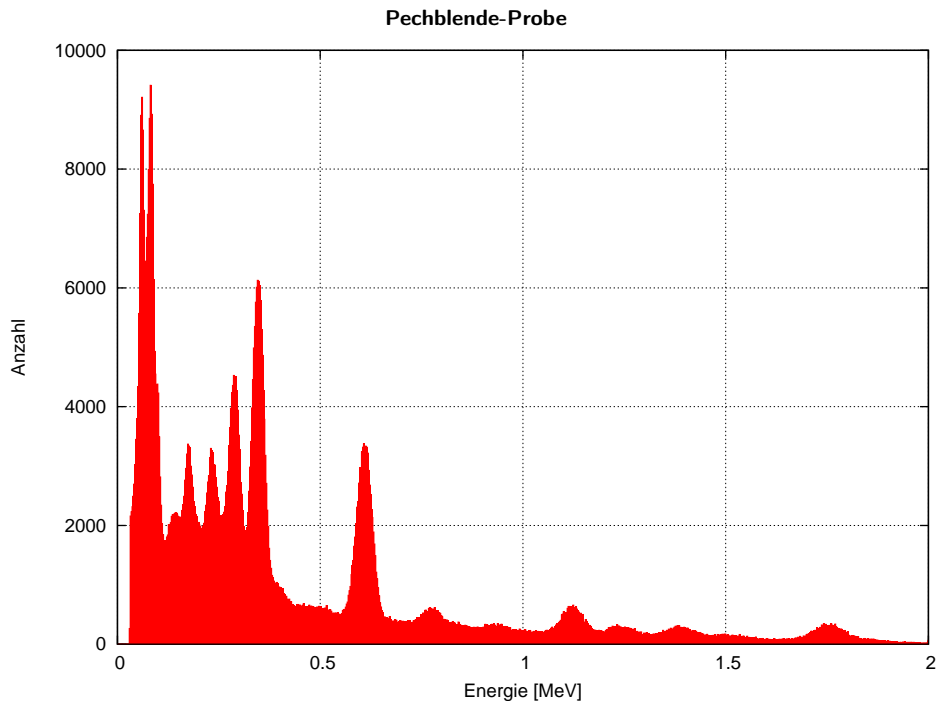
3.2 Energiebestimmung

3.2.1 Glühstrumpf



Die größten Energiepeaks wurden bei 60.62 keV, 117.21 keV, 230.4 keV, 329.43 keV, 579.38 keV, und 921.3 keV gemessen.

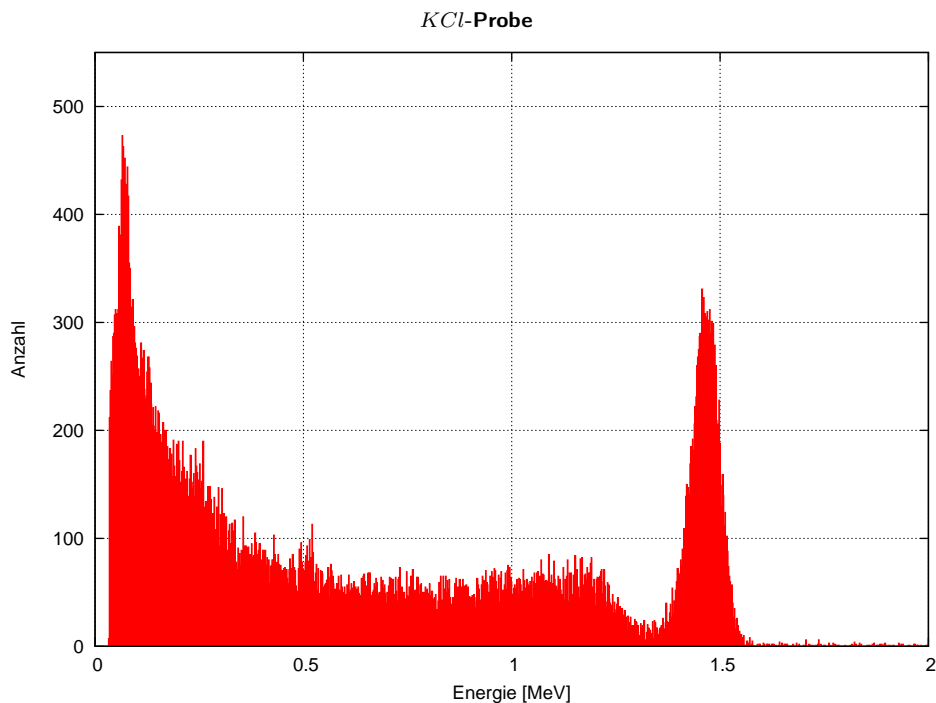
3.2.2 Pechblende



Die größten Energiepeaks wurden bei 60.62keV, 81.84keV, 173.8keV, 230.4keV, 286.99keV, 348.3keV, 607.68keV und 1124.09 gemessen.

3.3 Aktivitätsbestimmung von KCl

Es wird im Folgenden die gemessene Aktivität von KCl mit dem theoretisch erwarteten Wert verglichen. Wir erhielten für die KCl-Probe nach Abzug der Hintergrundstrahlung folgendes Spektrum:



In 1200s registrierten wir insgesamt 71360 Ereignisse, was einer Aktivität von 59.5Bq entspricht. Das zu untersuchende Volumen kann als quadratisch und an der Unterkante des Detektors anliegend angesehen werden. Damit registriert dieser aber nur $\frac{1}{6}$ der Strahlung und nur in 10.72% der Fällen wird beim Zerfall ein γ -Quant emittiert, dass der Detektor nachweisen kann. Die tatsächliche Aktivität dürfte also in der Größenordnung $59.5\text{Bq} \cdot \frac{6}{0.1072} = 3328\text{Bq}$ liegen. Um den theoretischen Wert zu berechnen wird zunächst die Anzahl der ^{40}K -Atome berechnet. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Anteil von ^{40}K am Kalium nur 0.012% beträgt, welches mit einer Halbwertszeit von $\tau_{1/2} = 1.28 \cdot 10^9\text{a}$ zerfällt. Damit ergibt sich eine

Aktivität von

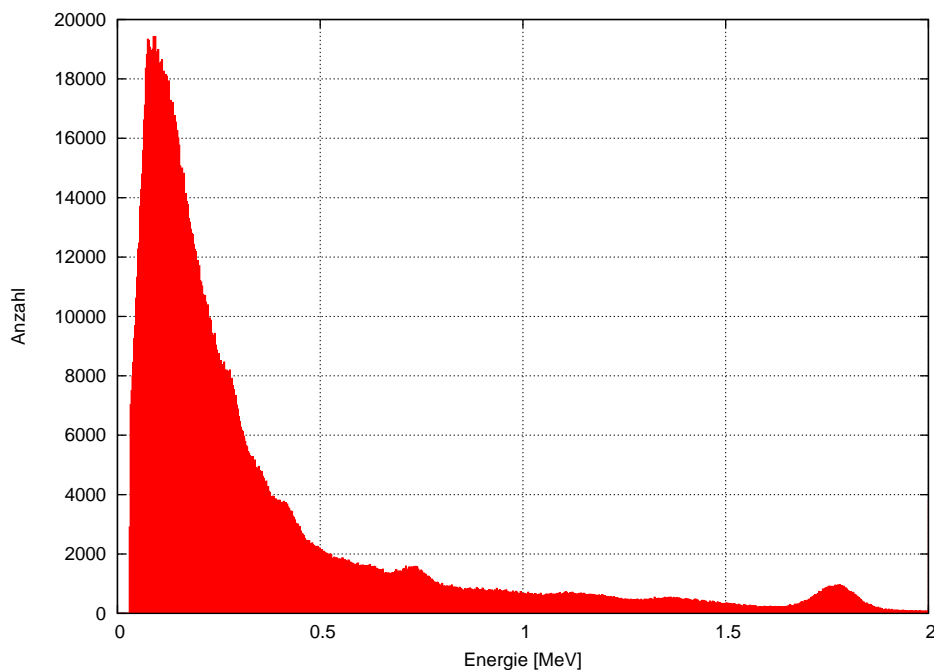
$$\begin{aligned}
 A &= \frac{m_{KCl}}{M_K + M_{Cl}} \cdot N_A \cdot 0.00012 \cdot \frac{\left(1 - e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{\tau_{1/2}}}\right)}{t} \\
 &\cong \frac{m_{KCl}}{M_K + M_{Cl}} \cdot N_A \cdot 0.00012 \cdot \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}} \\
 &= \frac{300}{39.09 + 35.453} \cdot 6.022 \cdot 10^{23} \cdot 0.00012 \cdot \frac{\ln 2}{1.28 \cdot 10^9 a} = 4993 \text{Bq}
 \end{aligned}$$

Der von uns gemessene Wert entspricht nur $\frac{2}{3}$ dieses theoretischen Werts. Dies hängt damit zusammen, dass nicht alle γ -Quanten detektiert werden.

3.4 Dosisabschätzung

Zur Abschätzung der Jahresdosis durch natürliche Radioaktivität wurde 2 Stunden lang die Untergrundstrahlung gemessen.

Untergrund-Spektrum



Mit unserer Kalibrierung erhalten wir eine Gesamtenergie E von

$$E = \sum_{i=0}^{1023} N_i E_i = 837.7 \text{GeV}$$

innerhalb von 2 Stunden. Für die Masse m des NaI -Kristalls gilt:

$$m = V\rho = \pi r^2 h \rho = 1.29 \text{kg}$$

Damit lässt sich nun auf die Masse eines Menschen ($m = 75 \text{kg}$) und die Zeitdauer $t = 1 \text{a}$ hochrechnen. Wir erhalten:

$$E_{\text{Jahr}} = E \frac{75 \text{kg}}{1.29 \text{kg}} \frac{365 \cdot 24 \text{h}}{2 \text{h}} = 2.13 \cdot 10^{17} \text{eV} = 0.034 \text{J}$$

Das entspricht

$$H = \frac{E_{\text{Jahr}}}{75 \text{kg}} = 0.456 \text{mSv/a}$$

Der Überlebenscamper der seinen Glühstrumpf ständig bei sich trägt wird durch diese einer Jahresdosis von $H_{\text{Glühstrumpf}} = 4.64 \text{mSv/a}$ ausgesetzt. Diese Dosis wirkt nicht auf den ganzen Körper (wie die Untergrundbelastung), sondern nur in der Nähe seiner Brusttasche, wo er aufbewahrt wird.

4 Aufgaben

4.1 Elektronenvolt

Energie wird bei Vorgängen in atomaren Größenordnungen gerne in eV angegeben, also der Energie, die ein Elektron beim Durchlaufen einer Potentialdifferenz von 1V erhält. Ein keV entspricht dabei in SI-Einheiten $1000 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} \text{J} = 1.602 \cdot 10^{-16} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$

4.2 Halbwertsbreite

Unter der Halbwertsbreite (engl. FWHM, full width at half of maximum) versteht man den Abstand der x-Werte um ein Maximum bei welchen der Funktionswert auf die Hälfte des Maximalwerts abgesunken ist.

Für eine Gauss-Verteilung $f(x) = Ne^{-\frac{(x-\langle x \rangle)^2}{2\sigma^2}}$ mit Maximum bei $\langle x \rangle$ ergibt sich für den Abstand zum Maximum:

$$e^{-\frac{\Delta x^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\Delta x^2}{2\sigma^2} = \ln 2$$

$$\Delta x = \sqrt{2 \cdot \ln 2} \cdot \sigma$$

und somit für die Halbwertsbreite $h = 2\Delta x = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot \ln 2} \cdot \sigma$

4.3 Frisch gereinigtes Präparat

Man kann beobachten, dass in einem frisch gereinigten radioaktiven Präparat die Aktivität zuerst ansteigt, und erst nach einer Zeit dem Zerfallsgesetz gehorchend abfällt. Die lässt sich dadurch erklären, dass in der Phase nach der Reinigung die Zahl der radioaktiven Kerne zunimmt, da ausgehend vom höchsten Zerfallsprodukt in der Kette (dem Präparat selbst) eine Reihe ebenfalls radioaktiver Tochterkerne gebildet werden. Sobald dieser Vorgang jedoch sein Gleichgewicht gefunden hat, ist die erwartete exponentielle Abnahme zu beobachten.

4.4 Abschirmung

Siehe Theoretische Grundlagen unter Strahlungsarten

Die Kosmische Strahlung wird von unserer Atmosphäre bereits ausreichend abgeschirmt (so lange diese intakt ist, vgl. Ozonloch) indem die hochenergetische Strahlung durch Kollisionen, Absorption etc. nach und nach in weniger energiereiche Strahlung umgewandelt werden. Ist die z.B. für bestimmte Experimente nicht ausreichend, so helfen wie bei γ -Strahlung dicke Blei- oder Stahlbetonplatten oder man begibt sich ausreichend weit unter die Erde.

4.5 Gefährlichkeit der natürlichen Radioaktivität

Setzt man ein zusätzliche Krebserkrankung pro 60Sv an, so ergeben sich mit der Einwohnerzahl Deutschlands (ca 80 mio) und einer durchschnittlichen Strahlenbelastung von 2,4 mSv pro Jahr (Quelle: www.schulphysik.de) ca 3200 durch natürliche Radioaktivität ausgelöste Fälle von Krebs. Verglichen mit den rund 340000 Personen (Quelle: www.netdoktor.de), die pro Jahr neu an Krebs erkranken, ein verschwindend geringer Anteil.

4.6 Thoriumlinien

Die gemessene 2615keV-Linie stammt aus dem Zerfall des in der Thoriumzerfallsreihe auftretenden Thalliums ^{208}Tl zu Blei ^{208}Pb . Bei dieser hohen Energie kann Paarbildung auftreten. Es entstehen ein Elektron und ein Positron mit hoher kinetischer Energie, welche aber schon auf kurzer Strecke an den NaI-Kristall abgegeben (und somit auch detektiert) wird. Das entstandene Positron wird also abgebremst und annihiliert schließlich wieder. Dabei werden zwei γ -Quanten mit je 511keV Energie (Ruhemasse des Elektrons/Positrons) erzeugt, welche den evtl. Detektor verlassen können. Verlässt ein Zerstrahlungsquant den Kristall, so werden nur $2615\text{keV} - 511\text{keV} = 2104\text{keV}$ detektiert. (Single-Escape-Peak). Passieren beide Quanten den Kristall ohne detektiert zu werden, erhält man $2615\text{keV} - 2 \cdot 511\text{keV} = 2104\text{keV}$ (Double-Escape-Peak).

4.7 Krebserkrankungen als Folge nat. Radioaktivität

In Deutschland leben zur Zeit etwa 82Mio Menschen. Die Strahlenbelastung durch natürliche Radioaktivität beträgt nach www.medicineworldwide.de 2.1mSv/a. Wird von einer Erkrankung pro 60Sv ausgegangen, ergibt das eine Zahl von 2870 Neuerkrankten pro Jahr. Die Gesamtrate der Neuerkrankungen liegt mit 340000 deutlich höher.

Nur 0.84% der Krebserkrankungen gehen nach diesen Annahmen auf das Konto natürlicher Radioaktivität.