

F-Praktikum Versuch 2.10

Umweltradioaktivität



Inhaltsverzeichnis

Teil 1: Aufnahme der γ -Spektren.....	2
Motivation.....	2
Theoretische Grundlagen.....	2
Radioaktiver Zerfall.....	2
Einheiten für Strahlungen.....	3
Natürliche und künstliche Strahlenbelastung.....	4
Abschirmung von Strahlung.....	5
Funktionsweise von Halbleiterdetektoren bzw. Szintillationsdetektoren.....	5
Auswertung.....	6
Versuchsaufbau.....	6
Eichung des Gamma-Spektrums.....	6
Gamma-Spektrum des Praktikumsraums.....	10
Bestimmung des Radio-Nuklids in einem Haushaltsgegenstand.....	12
Fragen und Antworten.....	14
Teil 2: Messung der Ganzkörperaktivität eines Menschen.....	15
FAQ (Fragen und Antworten).....	15
Bestimmung der Kalium Gesamtmasse in Abhängigkeit der Zählrate.....	15
Auswertung für die beiden Probanden.....	16
Vergleich Ist- mit Normwerten.....	16
Fehlerrechnung.....	16
Wichtige Quellen.....	16
Anhang.....	16

Teil 1: Aufnahme der γ -Spektren

Motivation

Überall in unserer Umgebung gibt es radioaktive Stoffe, die permanent Strahlung aussenden. Wir können diese Strahlung mit unseren Sinnesorganen nicht wahrnehmen, sondern nur mit geeigneten Geräten messen.

In unserem Versuch werden wir die Radioaktivität eines Glühstrumpfs sowie des Raumuntergrundes messen und versuchen die radioaktiven Isotope darin anhand ihrer typisch ausgesendeten Gamma-Energien zu bestimmen. Im zweiten Teil werden wir uns selbst vermessen.

Theoretische Grundlagen

Radioaktiver Zerfall

Nicht alle Atomkerne sind stabile Gebilde. Manche können sich unter Aussendung von Strahlung in andere Kerne umwandeln, die energetisch günstiger sind. Diesen Prozess nennt man Radioaktiver Zerfall. Dabei gibt es verschiedene Zerfallsarten:

- **α -Zerfall**
In manchen Kernen bildet sich ein temporäres α -Teilchen, das den Kern mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit verlässt. In einem α -Strahler haben alle ausgesendeten α -Teilchen eine (oder mehrere) Charakteristische Energien. Der Kern hat dann zwei Protonen und zwei Neutronen weniger.
Beispiele: ^{238}U , ^{220}Ra , ^{210}Po
- **β^- -Zerfall:**
Hierbei wird ein Elektron und ein Elektron-Antineutrino ausgesendet. Diese teilen sich die verfügbare Energie auf, sodass beide Teilchen ein gewisses Energiespektrum besitzen. Im Kern wandelt sich ein Neutron in ein Proton um, bzw. im Quark-Modell ein d in ein u-Quark.
Beispiele: ^{40}K , ^{14}C , freies Neutron
- **β^+ -Zerfall:**
Diese Zerfallsart ist nahezu identisch zum β^- -Zerfall, bloß dass ein Antielektron und ein Elektron-Neutrino ausgesendet werden und sich ein Proton in ein Neutron umwandelt bzw. im Quark-Modell ein u in ein d-Quark.
Beispiele: ^{40}K , ^{22}Na , ^{13}N
- **Elektroneneinfang:**
Statt ein Antielektron auszusenden ist es auch möglich, dass der Kern ein Elektron aus der Hülle einfängt. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die Energie, die der Atomkern durch den Zerfall gewinnt, nicht ausreicht um ein Antielektron zu erzeugen.
Beispiel: ^7Be
- **n-Zerfall:**
Bei dieser Zerfallsart hat der Kern einen so großen Überschuss an Neutronen, dass eines aus dem Kern heraus fliegt. Es gibt auch Zerfälle, bei denen mehrere Neutronen gleichzeitig heraus fliegen. Dieser Zerfall kommt nur bei kleinen und mittleren Kernen mit extremen Neutronenüberschuss vor.
Beispiel: ^7He
- **p-Zerfall:**
Ähnlich wie der n-Zerfall, nur hat der Kern einen extremen Protonenüberschuss und es fliegen Protonen aus dem Kern.
Beispiel: ^5Li

- **¹²C-Zerfall:**
Dieser Zerfall ist dem α-Zerfall sehr ähnlich. Statt dem α-Teilchen kommt hier ein ¹²C-Teilchen aus dem Kern. Er tritt nur selten und nur bei sehr großen Kernen auf.
- **Spontane Spaltung:**
Manchmal kommt es bei großen Kernen vor, dass ein Kern in zwei (oder mehr) Bruchstücke zerfällt.
Beispiel: ²⁵⁹Fm
- **γ-Zerfall:**
Der Atomkern kann, analog zur Atomhülle, sich in einem angeregtem Zustand befinden und durch Aussendung eines Photons in einen niedriger angeregten Zustand oder den Grundzustand zurückfallen. Der γ-Zerfall kommt oft in Verbindung mit anderen Radioaktiven Zerfällen vor, da sich der Atomkern nach einem Zerfall meist nicht im Grundzustand befindet.

Bei vielen Isotopen ist ein zerfallener Kern wieder radioaktiv und zerfällt erneut u.s.w.. Man spricht dann von einer **Zerfallskette**.

Einheiten für Strahlungen

- Die **Aktivität** einer Quelle ist definiert durch die Anzahl der Kernumwandlungen pro Zeit.
 $A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$ Die verwendete Einheit ist Becquerel $1 Bq = \frac{1}{s}$
Man definiert weiterhin die **spezifische Aktivität** $A_{sp} = \frac{A}{m}$ mit der Einheit $\frac{Bq}{kg}$.
- Die **Ionendosis** $I = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$ ist die Ladungsmenge, die pro kg durchstrahlter Materie erzeugt wird. Die Einheit ist $\frac{C}{kg}$.
- Die **Energiedosis** $D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$ ist die Energie, die in einem kg durchstrahlter Materie deponiert wird. Die Einheit ist Gray $1 Gy = 1 \frac{J}{kg}$.

Diese Physikalischen Einheiten beschreiben die biologischen Schäden in einem Lebewesen nur bedingt. So ist α-Strahlung bei gleicher Energiedosis ca. 20 mal schädlicher als β- oder γ-Strahlung, weil die Ionen in kürzeren Abständen erzeugt werden und damit die gefährlichen Doppelbrüche in der DNA wahrscheinlicher werden. Auch die Verteilung der Strahlung spielt eine Rolle. Tumorpatienten erhalten während ihrer Behandlung eine Dosis an Strahlung, die tödlich wäre, würde sie gleichmäßig auf den Körper verteilt. Sie überleben, weil die Strahlung auf einen Teil des Körpers konzentriert wird. Aus diesem Grund benötigen wir noch weitere Einheiten:

- Bei der **Organdosis** $H = D \cdot w_r$ wird die Energiedosis je nach Strahlenart und -energie mit einem Wichtungsfaktor w_r multipliziert, der wie folgt definiert ist:

Strahlenart und -energie	w_r
Photonen	1
Elektronen, Myonen	1
Neutronen	
< 10 keV	5
10 keV bis 100 keV	10
100 keV bis 2 MeV	20
2 MeV bis 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protonen > 2 MeV	5
α-Teilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

Die spezielle Einheit dieser Größe heißt Sievert [Sv = Gy · w_r].

- Die **Effektive Dosis** berücksichtigt zusätzlich noch die Verteilung der Strahlung auf verschiedene Organe, da verschiedene Organe unterschiedlich empfindlich auf Strahlung reagieren. Die spezielle Einheit ist ebenfalls Sievert. Die Wichtungsfaktoren setzen sich wie folgt zusammen:

Gewebe oder Organ	w_T
Gonaden	0,2
Dickdarm	0,12
Rotes Knochenmark	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Schilddrüse	0,05
Speiseröhre	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
Sonstige Organe oder Gewebe*	0,05

Die Gesamtbelastung setzt sich aus der Summe der Belastungen der einzelnen Organe zusammen: $E = \sum_T w_T \cdot H(T)$

- Falls man, insbesondere bei Medikamenten, radioaktive Nuklide in seinem Körper aufgenommen hat, wird ein Teil davon wieder ausgeschieden. Der Anteil, der tatsächlich im Körper zerfällt, heißt **Folgedosis**.

Natürliche und künstliche Strahlenbelastung

Es gibt eine gewisse natürliche Strahlenbelastung. Zum einen besteht sie aus der Höhenstrahlung, die mit der Höhe zunimmt. Sie ist auch verantwortlich für die Erzeugung bestimmter radioaktiver Nuklide, die in unserer Umgebung vorkommen i.e. ^7Be , ^{14}C und ^{22}Na .

Zum anderen existieren seit Entstehung der Erde langlebige Radionuklide, die heute immer noch zerfallen; z.T. in Zerfallsreihen. Ein problematisches Zwischenprodukt dieser Zerfallsreihen ist das gasförmige Radon, das sich aus dem Erdboden bzw. Baustoffen lösen kann und in der Luft weiter zerfällt.

Daneben erfährt jeder Mensch eine mehr oder weniger große künstliche Strahlenbelastung, die sich zusammensetzt aus den medizinischen Bereich (Röntgenuntersuchungen, CT, radioaktive Marker, etc.), den Überresten der Kernwaffentests, Tschernobyl und anderen Atomkraftwerken, die am Netz hängen.

Abschirmung von Strahlung

Zum Schutz vor Strahlung steht uns neben der Verringerung der Quellenstärke, der zeitlichen Begrenzung und dem Einhalten eines großen Abstandes vor allem eine Abschirmung der Strahlung zur Verfügung.

α -Teilchen wechselwirken hauptsächlich indem sie Atome oder Moleküle anregen bzw. ionisieren. Die Reichweite der α -Strahlung ist in Materie sehr gering, da die Ionen in großer Dichte erzeugt werden. Sie wächst mit zunehmender Energie und beträgt bei 10 MeV in Luft ca. 10,6 cm, in Aluminium ca. 67 μm . Man kann sie durch ein Blatt Papier abschirmen.

Die Elektronen der **β -Strahlung** verlieren ihre Energie ebenfalls durch Ionisation und Anregung, aber auch durch Streuung und besonders durch Erzeugung von Bremsstrahlung. Auch ihre Reichweite wächst mit zunehmender Energie und beträgt bei 10 MeV 39 m in Luft und 19,2 mm in Aluminium. Man kann sie mit einem dickeren Aluminium-Blech abschirmen.

Besser ist jedoch eine zweistufige Abschirmung aus Kunststoff, in dem die Elektronen stecken bleiben und Blei, das die entstehende Bremsstrahlung abfängt.

Im Gegensatz zu den vorherigen Strahlenarten verliert **γ -Strahlung** im Abschirmungsmedium nicht kontinuierlich an Energie und bleibt stecken, sondern ein Quant wechselwirkt oder eben nicht. Das hat zur Folge, dass die Anzahl der Quanten mit der Dicke des Mediums exponentiell abnimmt, die Energie jedoch gleich bleibt. Die Halbwertsdicke bei 10 MeV für Wasser ist 31,6 cm, für Eisen 3,02 cm und für Blei 1,21 cm. Man verwendet zur Abschirmung dicke Eisen- und Bleiplatten.

Neutronenstrahlung wechselwirkt nicht mit der Atomhülle, da Neutronen keine Ladung tragen. Man muss daher die schnellen Neutronen zunächst abbremsen und danach die abgebremsten Neutronen von den Kernen im Material einfangen lassen. Dabei entsteht wieder Gamma-Strahlung, die man ebenfalls abschirmen muss. Dies macht man mit 2m dickem Spezialbeton, der mit bestimmten Zuschlägen versehen ist.

Kleiner, aber teurer ist ein dreistufiger Neutronenschild, aus z.B. Polyäthylen, Cadmium und Blei, der die drei Prozesse hintereinander ablaufen lässt.

Funktionsweise von Halbleiterdetektoren bzw. Szintillationsdetektoren

Ein **Halbleiterdetektor** besteht aus einem Germanium (Silizium ist auch möglich und billiger, wird wegen der kleineren Ordnungszahl aber nicht so gerne genommen), der als pn-Diode (eigentlich pin-Diode, da man eine große Sperrschicht haben möchte) in Sperrichtung betrieben wird. Ein γ -Quant gelangt in die Sperrzone und löst dort über Photo-Effekt ein Elektron aus, welches im Kristall Elektron-/Lochpaare erzeugt. Diese sind proportional zur Energie des γ -Quants und werden über die Betriebsspannung abgesaugt. Eine Elektronik wertet diesen Puls aus. Damit durch thermische Anregung möglichst wenig Elektron-/Lochpaare entstehen, kühlt man den Detektor mit flüssigem Stickstoff.

Der **Szintillationsdetektor** besteht aus einem Kristall. Trifft ein γ -Quant in den Detektor ein, werden eine Reihe Elektron-/Lochpaare erzeugt, die nach kurzer Zeit wieder zerfallen und ein Photon aussenden. Diese gelangen anschließend in einen Photomultiplier, der aus den Photonen ein elektrisches Signal generiert, das von einer Elektronik ausgewertet werden kann.

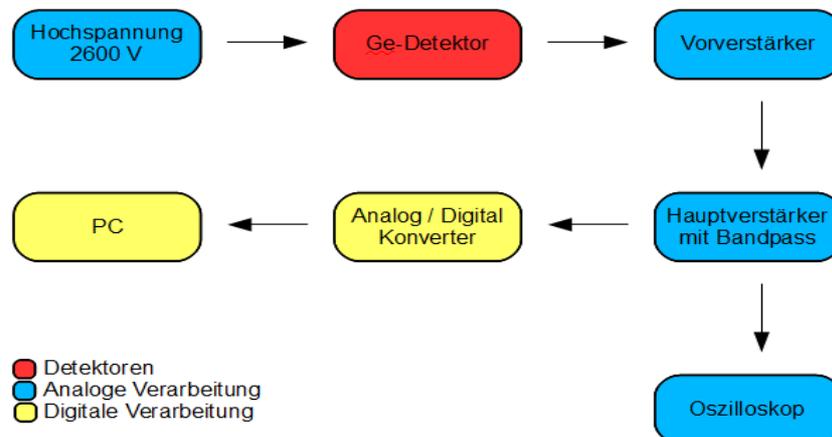
Man dotiert diesen Kristall, damit die Elektronen über ein Zwischenniveau zurückfallen, da man sonst ein Photon hätte, das genau die Energie der Bandlücke hätte und deshalb sofort wieder im Kristall absorbiert würde.

Die Energieauflösung der Detektoren ist begrenzt, da die oben beschriebenen Prozesse statistischer Natur sind, wobei der Halbleiterdetektor eine etwa 30 mal bessere Energieauflösung hat, da in etwa nur jedes tausendste Photon welches produziert wird auch tatsächlich einen Spannungspuls an der Elektronik auslöst.

Auswertung

Versuchsaufbau

Im 1. Teil des Praktikums wurde der im Folgenden skizzierte Versuchsaufbau verwendet:



Hierbei kommt das Signal vom Vorverstärker zum Verstärker in dem es umgewandelt wird. Dabei wird nur der schnelle Abfall des Signals zu Beginn ($0,5\mu\text{s}$) genutzt um daraus ein positives Signal ($15\mu\text{s}$) zu generieren das dann zum ADC geleitet wird. Dieser hat eine Auflösung von 4096 Kanälen in denen die Impulshöhen digitalisiert werden und vom ADC an den PC weitergegeben werden. Im PC werden die Zählraten gegen die Kanäle aufgetragen was der Proportionalität der Kanäle zur Energie der Gamma-Peaks Rechnung trägt.

Eichung des Gamma-Spektrums

Zunächst wurden zur Eichung des Gamma-Spektrums verschiedene bekannte Gamma-Strahler gemessen um mit deren bekannter Photopeak-Energie die Energie-Skala zu eichen.

Hierbei handelte es sich um: ^{22}Na , ^{133}Ba , ^{207}Bi , ^{60}Co und ^{137}Cs deren Spektren im Folgenden dargestellt werden (Zählrate auf der Y- und Kanal auf der X-Achse):

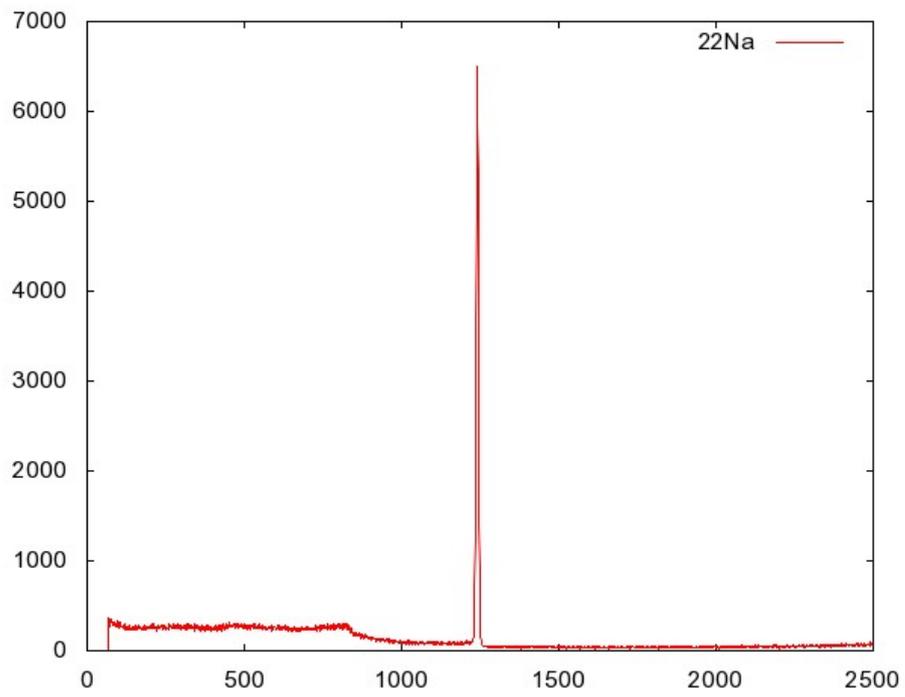


Abbildung 1: ^{22}Na Spektrum

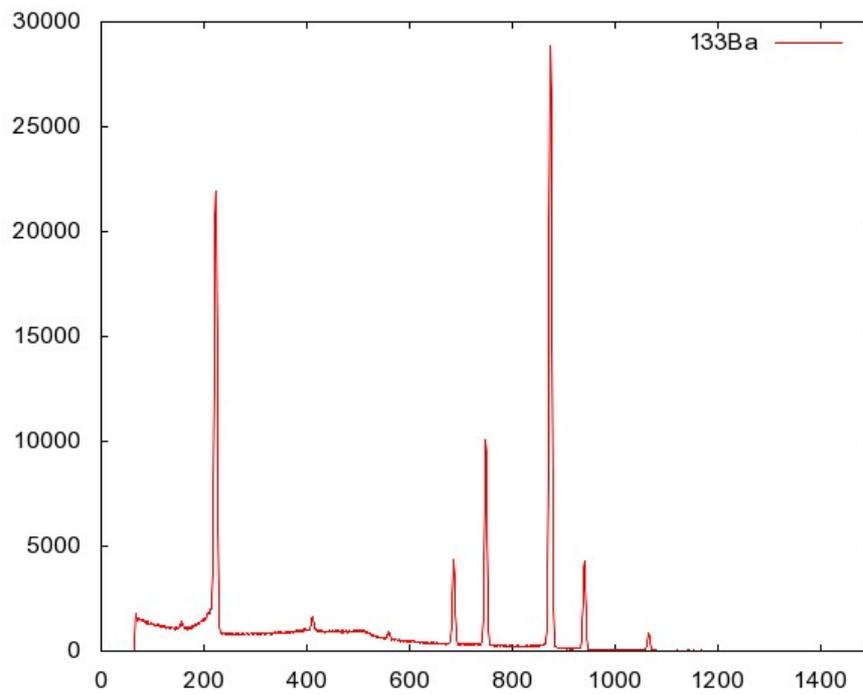


Abbildung 2: ^{133}Ba Spektrum

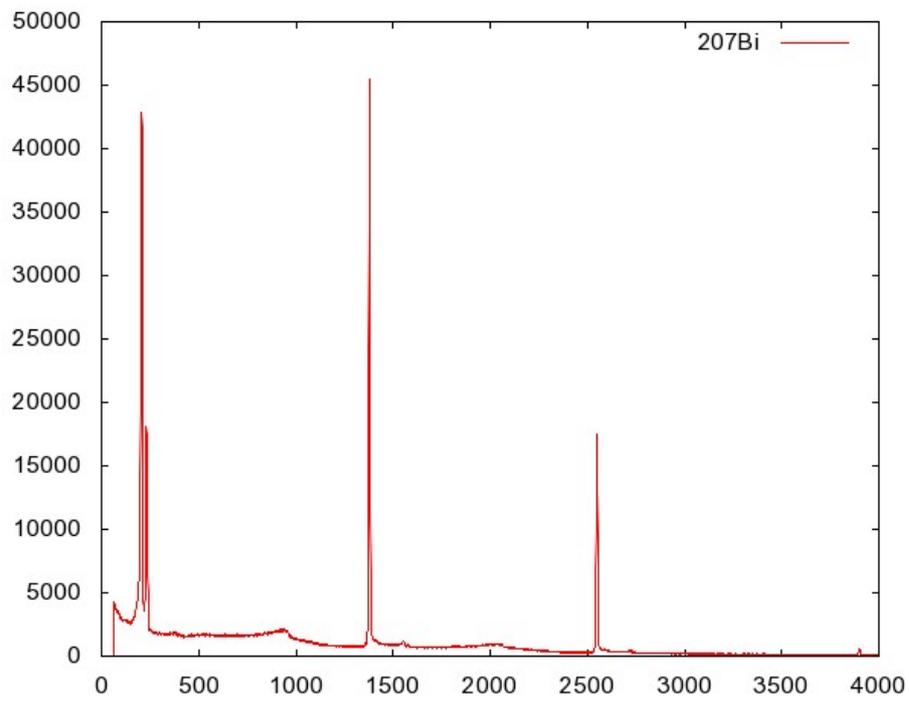


Abbildung 3: Bi-207 Spektrum

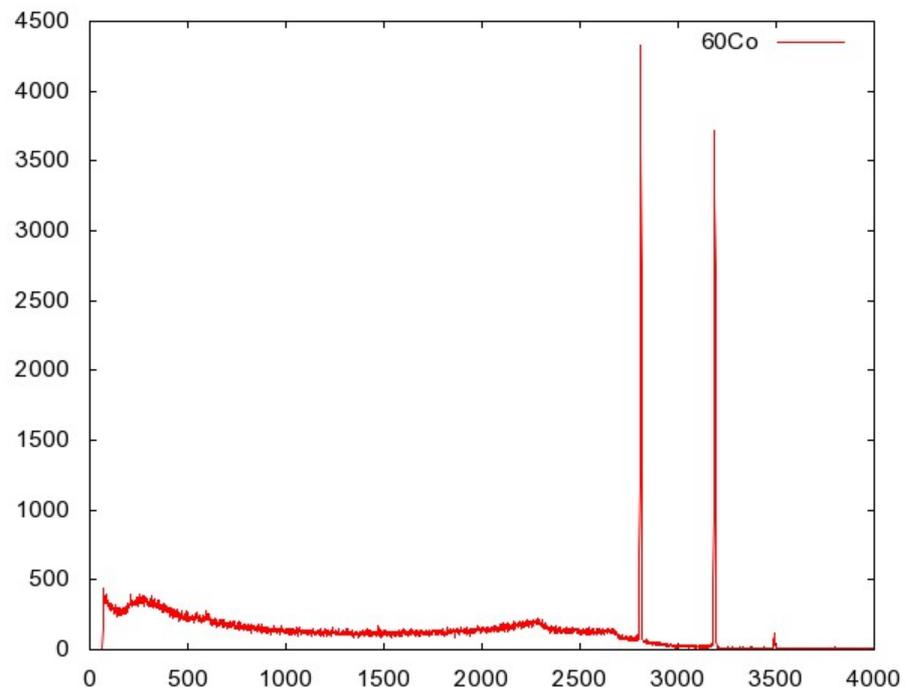


Abbildung 4: Co-60 Spektrum

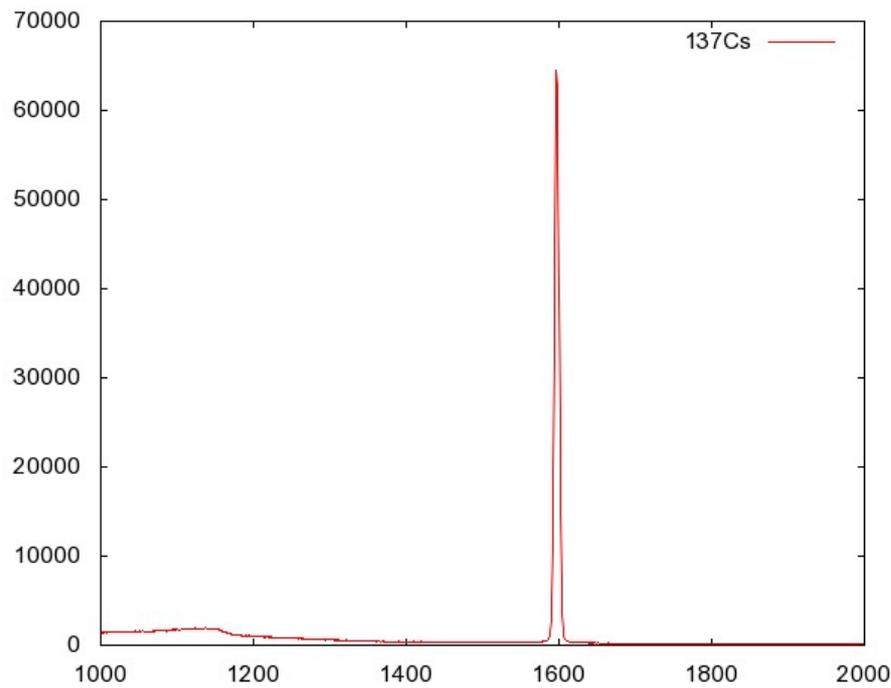


Abbildung 5: Cs-137 Spektrum

Mit Hilfe den bekannten Übergangsenergien kann nun das Spektrum geeicht werden:

Isotop	Peak [Kanal]	Fehler [Kanal]	Energie [keV]
Cs-137	1.597,260	0,004	661,600
Na-22	1.240,690	0,016	511,000
Na-22	3.049,380	0,025	1.274,600
Bi-207	1.379,120	0,006	569,700
Bi-207	2.549,420	0,001	1.063,500
Ba-133	222,630	0,008	80,998
Ba-133	685,538	0,019	276,397
Ba-133	748,189	0,011	302,851
Ba-133	874,025	0,006	356,005
Ba-133	939,878	0,017	383,851
Co-60	2.809,030	0,018	1.173,230
Co-60	3.186,350	0,014	1.332,480

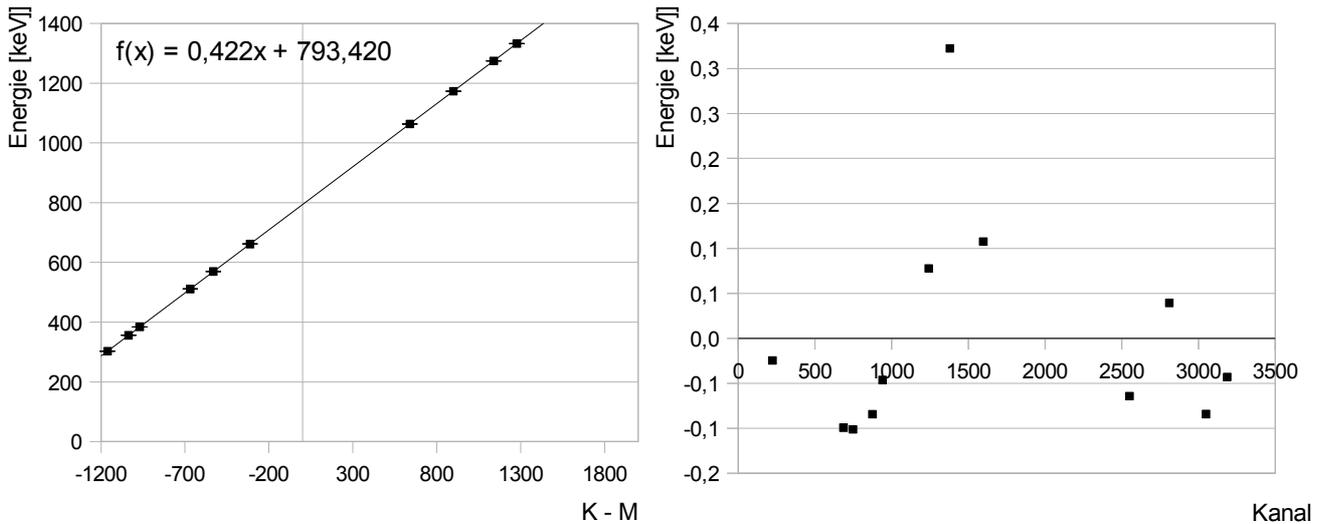
Gewichtetes Mittel (Kanal): 1.909,683

Tabelle 1: Fitt-Werte

Das gewichtete Mittel ist $M = \frac{\sum K \cdot F}{\sum F}$ wobei K die Kanalnummer und F der inverse Fehler sind.

Wir fitten mit der Funktion $E = \alpha(K - M) + \beta$, um keine statistisch abhängigen Fehler zu bekommen, was den Fehler unnötig vergrößern würde. Damit ist

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial \alpha} \cdot \Delta \alpha\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial \beta} \cdot \Delta \beta\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial K} \cdot \Delta K\right)^2} = \sqrt{((K - M) \cdot \Delta \alpha)^2 + (\Delta \beta)^2 + (\alpha \cdot \Delta K)^2}$$



Links sieht man die gefitte Gerade. Rechts die Messpunkte, wobei ich die Gerade abgezogen habe.

$$\alpha = 0,42227 \pm 0,00004$$

Die Parameter sind:

$$\beta = 793,42 \pm 0,04$$

$$M = 1909,683$$

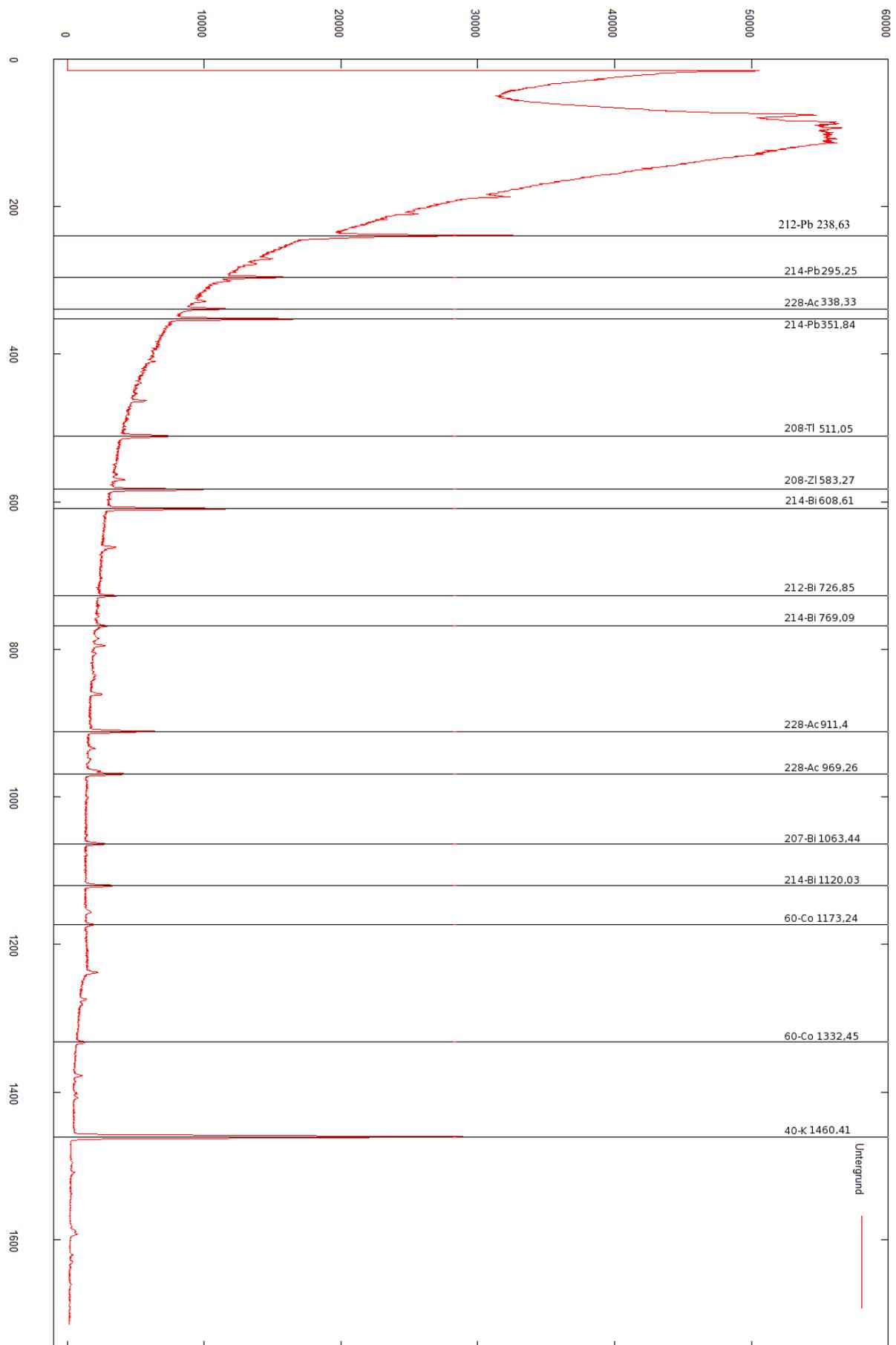
Gamma-Spektrum des Praktikumsraums

Nach Umrechnung der aufgenommenen Untergrund-Kanäle ergibt dies für das Gamma-Spektrum des Praktikumsraums:

Isotop	Kanal	Fehler	Energie	Fehler	Literaturwert	Abweichung	in σ
212-Pb	595,919	0,022	238,66	0,07	238,63	0,03	0,4
214-Pb	729,627	0,041	295,12	0,06	295,21	-0,09	1,44
228-Ac	831,592	0,060	338,17	0,06	338,32	-0,15	2,27
214-Pb	863,852	0,021	351,8	0,06	351,92	-0,12	2,1
208-Tl	1239,990	0,039	510,63	0,05	510,84	-0,21	4,15
208-Zl	1411,280	0,021	582,96	0,05	583,14	-0,18	3,96
214-Bi	1473,150	0,016	609,09	0,04	609,31	-0,22	5,09
212-Bi	1752,560	0,070	727,07	0,05	727,17	-0,1	1,96
214-Bi	1849,720	0,130	768,1	0,07	768,36	-0,26	3,83
228-Ac	2188,050	0,023	910,97	0,04	911,07	-0,1	2,44
228-Ac	2324,490	0,036	968,58	0,05	969,11	-0,53	11,54
207-Bi	2549,100	0,060	1063,43	0,05	1063,64	-0,21	3,97
214-Bi	2683,300	0,041	1120,1	0,05	1120,3	-0,2	3,83
60-Co	2808,680	0,130	1173,04	0,08	1173,21	-0,17	2,22
60-Co	3185,760	0,090	1332,27	0,08	1332,49	-0,22	2,94

Die Energie ist bei fast allen Werten gegenüber dem Literaturwert zu klein. Insbesondere liegen die beiden Linien von Bismut und Cobalt in dieser Messung um 0,32 bzw. 0,35 Kanäle niedriger. Das entspricht etwa 140 eV, ist in der Größenordnung der Abweichung und lässt vermuten, dass die Apparatur z.B. durch Temperaturschwankungen abgedriftet ist.

Alle Energien und deren Fehler sind in eV angegeben.



Bestimmung des Radio-Nuklids in einem Haushaltsgegenstand

Es wurde uns ein Glühstrumpf, wie er z.B. in Camping-Gaslampen verwendet wird, zur Messung übergeben. Das Spektrum das dabei entstand konnten wir dann mit Hilfe der obigen Eichung interpretieren. Unserer Meinung nach handelt es sich bei dem Radio-Nuklid um Thorium-232. Dies kann an den charakteristischen Peaks der verschiedenen Zerfallsprodukte gedeutet werden:

Isotop	Kanal	Fehler	Energie	Fehler	Literaturwert	Abweichung	in σ
???	237,37	0,07	87,25	0,08	?		
???	240,23	0,08	88,46	0,08	?		
208-Tl	687,87	0,05	277,48	0,07	277,350	0,13	2
212-Pb	741,55	0	300,15	0,06	300,090	0,06	0,99
228-Ac	832,02	0,02	338,35	0,06	338,320	0,03	0,58

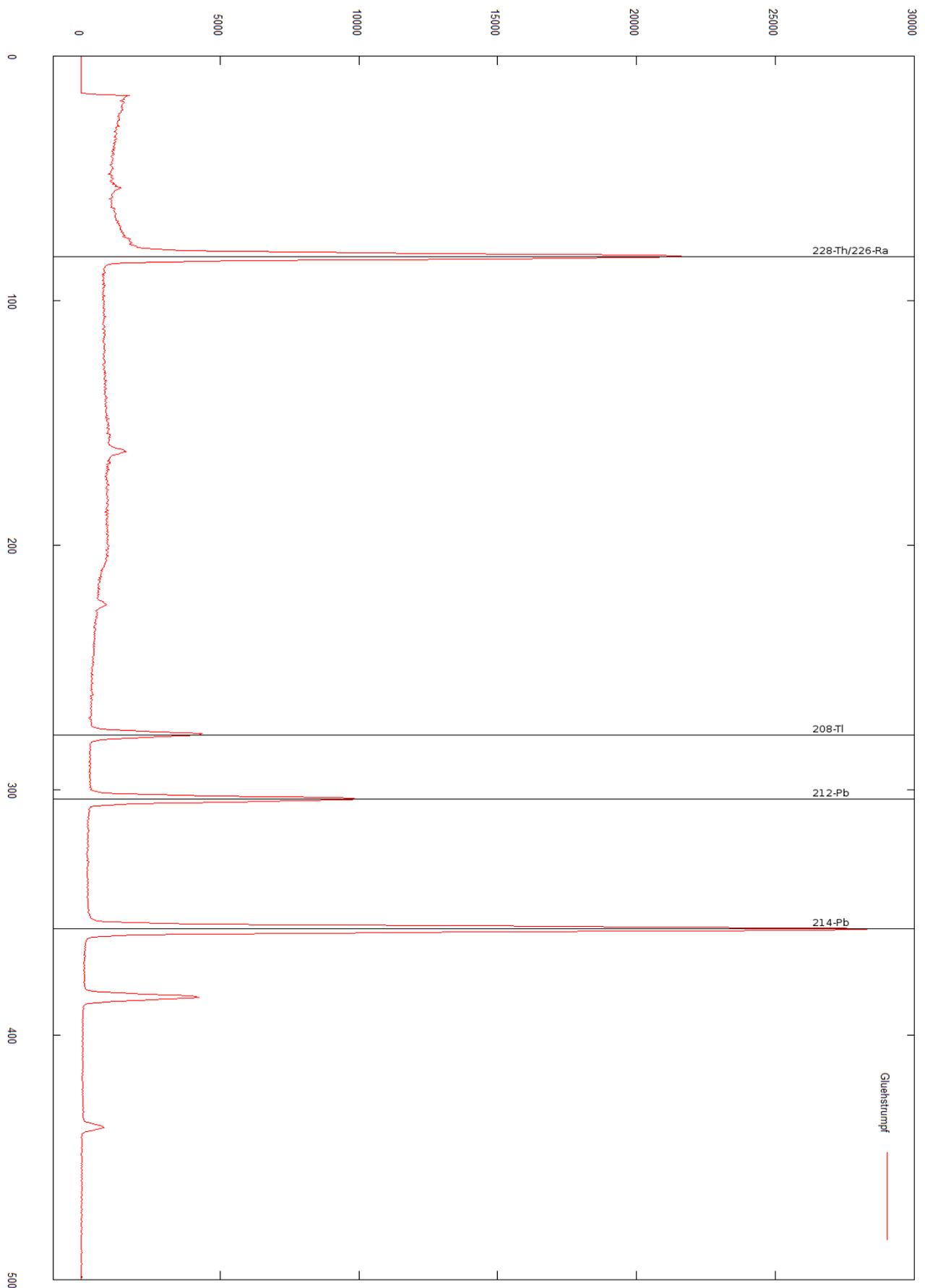


Abbildung 6: Gluestrumpf Spektrum

Fragen und Antworten

- **Wie hoch ist die Strahlenbelastung pro Stunde eines Menschen ...**
 - **... in einem Langstreckenflugzeug (10000 m Höhe)?**
Bei einer Stunde Flug in 10000m Höhe erhält man eine Strahlenbelastung von 10-15 μSv .^[1]
 - **... in den Alpen (3000 m)?**
Man erhält hier eine Strahlenbelastung von ca. 114 nSv.^[2]
 - **... an der Atlantikküste ?**
Man erhält, je nach terrestrischer Strahlung, eine Strahlenbelastung zwischen 91 nSv und 262 nSv.^[2]
- **Geben Sie die Reichweite von β -Strahlung der Energie 0,4 MeV sowie die Achtelwertschichtdicke von γ -Strahlung der Energie 1,5 MeV für die folgenden Materialien an:**
 - **Luft**
 β : 1,55 m $y/2$: ≈ 110 m *; $y/8$: ≈ 330 m *;
 - **Wasser**
 β : 0,2 cm; $y/2$: 12 cm; $y/8$: 36 cm
 - **Normalbeton**
 β : 0,87 mm; $y/2$: 6 cm; $y/8$: 18 cm
 - **Eisen**
 β : 0,25 mm; $y/2$: 1,8 cm; $y/8$: 5,4 cm
 - **Blei**
 β : 0,18 mm; $y/2$: 1,2 cm; $y/8$: 3,6 cm
- **Welche effektive Dosis erhält eine Person, die 5 Wochen lang täglich 0,5 l Milch trinkt, die eine Aktivitätskonzentration von 150 Bq / l ^{137}Cs aufweist?**

$$H = g \cdot a$$

$$g \simeq H_{Tmax}(^{137}\text{Cs}) = 1,5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}}$$

$$A = a V t = 150 \frac{\text{Bq}}{\text{l}} \cdot 0,5 \frac{\text{l}}{\text{d}} \cdot 35 \text{d} = 2625 \text{Bq}$$

$$H = 1,5 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Sv}}{\text{Bq}} \cdot 2625 \text{Bq} = 0,039 \text{mSv}$$

*) Schätzwert, siehe Anhang.

Teil 2: Messung der Ganzkörperaktivität eines Menschen

FAQ (Fragen und Antworten)

- **Wie hoch ist die Aktivität eines "Normmenschen"?**
Die Aktivität des Normmenschen beträgt 9112 Bq. ^[1]
- **Welches sind die wesentlichen natürlichen radioaktiven Isotope im Körper eines Menschen?**
Die beiden wesentlichen radioaktiven Isotope sind ^{40}K und ^{14}C .
- **Wie funktioniert die Radio-Carbon-Messung zur Altersbestimmung?**
Bei der Radio-Carbon-Messung zur Altersbestimmung nimmt man eine Probe von einem toten Lebewesen, verbrennt diese und bestimmt in einem Massenspektrometer den ^{12}C / ^{14}C -Anteil. Ist dieses Verhältnis bekannt, kann man mit dem Zerfallsgesetz berechnen, wann der Organismus gestorben ist.
- **Können wir den radioaktiven Kohlenstoff mit dem Ganzkörperzähler nachweisen?**
Nein - ^{14}C sendet bei seinem Zerfall keine γ -Strahlung aus, sondern nur β -Strahlung, die jedoch den Detektor nicht erreicht.
- **Welches radioaktive Isotop wird als Folge der Kernwaffenversuche und dem Reaktorunfall in Tschernobyl auch heute noch inkorporiert? War bei Ihnen ein Nachweis positiv?**
Heute wird hauptsächlich ^{137}Cs inkorporiert, da es eine Halbwertszeit von 30 Jahren hat und heute immer noch in größeren Mengen existiert, sowie von Organismen gut aufgenommen wird.
Bei keiner der Versuchspersonen war ein Nachweis positiv.

Bestimmung der Kalium Gesamtmasse in Abhängigkeit der Zählrate

Die Aktivität eines Stoffes ist gegeben durch $A = \lambda \cdot N$, wobei die Zerfallskonstante

$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$ ist. Damit ergibt sich die Anzahl der Atome eines radioaktiven Stoffes wie folgt:

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln(2)}$$

Da uns die Kalium-Gesamtmasse der Probanden interessiert und nicht nur der radioaktive Teil, müssen wir diese Anzahl noch durch die Häufigkeit des entsprechenden Isotops teilen, weshalb die Formel lautet:

$$N = A \cdot \frac{T_{1/2}}{H \cdot \ln(2)} = A \cdot \frac{3,941 \cdot 10^{16} \text{ s}}{0,0117\% \cdot \ln(2)}$$

Wobei die Halbwertszeit $T_{1/2} = 3,941 \cdot 10^{16} \text{ s}$ und die Häufigkeit $H = 0,0117\%$ ist.

Die Gesamtmasse ergibt sich, indem wir die Anzahl der Atome mit dem durchschnittlichen Gewicht eines Atoms $m = 39,10 \text{ u} = 6,495 \cdot 10^{-23} \text{ g}$ multiplizieren, was folgenden Zusammenhang zwischen der Aktivität und der Kalium-Gesamtmasse liefert:

$$M = A \cdot \frac{T_{1/2} \cdot m}{H \cdot \ln(2)} = A \cdot \frac{6,495 \cdot 10^{-23} \text{ g} \cdot 3,941 \cdot 10^{16} \text{ s}}{0,0117\% \cdot \ln(2)} = A \cdot 0,03156 \frac{\text{g}}{\text{Bq}}$$

Auswertung für die beiden Probanden

Proband	# 1	# 2
Spezifische K-40-Aktivität	71,0 Bq / kg ± 3,4 Bq / kg	59,2 Bq / kg ± 3,4 Bq / kg
Totale K-40-Aktivität	4683,7 Bq	5686,5 Bq
Kalium-Masse	147,8 g ± 7,1 g	179,5 g ± 10,3 g
Alter	22 Jahre	26 Jahre
Gewicht	66 kg	96 kg
Norm-Wert	144,5 g	206,8 g

Vergleich Ist- mit Normwerten

Offensichtlich ist Proband #1 noch innerhalb der Grenzen in denen man ihn als "normal-sportlich" bezeichnen kann.

Proband #2 besitzt deutlich zu wenig Kalium relativ zum Körpergewicht, was auf eine „unsportliche“ Lebensweise zurückzuführen sein könnte.

Fehlerrechnung

Der einzige relevante Fehler ist der Fehler der Zählrate. Alle anderen Konstanten stammen aus der Literatur und sind auf mindestens 3 Stellen hinter dem Komma bestimmt und daher sind deren Fehler vernachlässigbar.

Für den Gesamtfehler gilt demnach:

$$\Delta M = M \cdot \frac{\Delta A}{A} = M \cdot \frac{\Delta A_{sp}}{A_{sp}}$$

Wichtige Quellen

[1] Martin Volkmer - Kernenergie Radioaktivität und Strahlenschutz

[2] <http://de.wikipedia.org/wiki/Strahlenbelastung>

Anhang

Da wir keine Werte für die Reichweite von Gamma-Strahlung in Luft gefunden haben, begnügen wir uns mit folgender Abschätzung für Luft unter Normalbedingungen:

Wir nehmen an, dass Gamma-Strahlung mit 1,5 MeV hauptsächlich über den Compton-Effekt wechselwirkt und damit die Absorption proportional zur Elektronendichte im Material ist. Diese ist wiederum proportional zur Dichte, wenn man davon ausgeht, dass $\frac{A}{Z}$ für alle Materialien außer Wasserstoff ungefähr konstant ist. Daraus ergibt sich, dass die Halbwertsdicke umgekehrt proportional zur Dichte des Materials ist und damit folgende Formel:

$$y/2_{Luft} \cdot \rho_{Luft} \approx y/2_{Fe} \cdot \rho_{Fe} \Leftrightarrow y/2_{Luft} \approx y/2_{Fe} \cdot \frac{\rho_{Fe}}{\rho_{Luft}} \approx 1,8 \text{ cm} \cdot \frac{7860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,239 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \approx 114 \text{ m}$$