

Umweltradioaktivität

Benjamin Bürger & Philipp Riedl

23.05.2016

Inhaltsverzeichnis

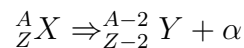
1	Theorie	2
1.1	Strahlungsarten	2
1.1.1	α -Strahlung	2
1.1.2	β -Zerfall	2
1.1.3	K-Capture	2
1.1.4	γ -Strahlung	3
1.2	Umweltradioaktivität	3
1.3	Nachweis ionisierender Strahlung	6
2	Versuchsaufbau	6
3	Teil I	7
3.1	Energieeichung	7
3.2	Untergrundspektrum	14
3.3	Haushaltsartikel	15
3.4	Antworten auf Fragen	17
4	Teil II	18
4.1	Antworten auf Fragen	21

1 Theorie

1.1 Strahlungsarten

1.1.1 α -Strahlung

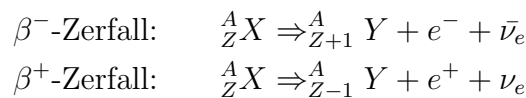
Schwere instabile Kerne zerfallen häufig indem sie einen Heliumkern respektive ein α -Teilchen aussenden. Dieser Zerfall ist nur durch den Tunneleffekt möglich. Die Reaktionsgleichung lautet



In der Natur kommen Energien bis zu 5.48MeV vor.

1.1.2 β -Zerfall

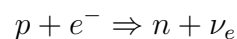
Instabile Isotope mit zu vielen Neutronen neigen dazu einen β^- -Zerfall zu machen. Das heißt sie senden ein e^- , um so in einen energetisch günstigeren Zustand zu gelangen. Umgekehrt können Kerne mit wenigen Neutronen einen β^+ -Zerfall machen, indem sie ein e^+ aussenden. Die Reaktionsgleichungen lauten:



Da der resultierende Impuls der Produkte zwischen 3 Teilchen aufgeteilt wird. Ist der Impuls des Leptons nicht scharf sondern ein Spektrum. Bei natürlichen Zerfällen bekommen die Leptonen eine Energie von bis zu 1.5MeV .

1.1.3 K-Capture

Beim K-Capture verschluckt der Kern ein Elektron aus der K-Schale. Die hinterlassene Lücke wird durch Elektronen höherer Schalen wieder gefüllt. Da sich die Elektronen auf diskreten Energieniveaus befinden, wird durch das Auffüllen der K-Schale eine diskrete Energie in Form eines Röntgen-Quants frei. Diese scharfen Linien nennt man charakteristische Röntgenstrahlung. Die Reaktionsgleichung lautet hier



1.1.4 γ -Strahlung

Ähnlich wie die Elektronen in der Atomhülle kann der Atomkern in verschiedenen angeregten Niveaus beziehungsweise im Grundzustand sein. Besonders als Folge einer der oben genannten Reaktionen befindet sich der (neue) Kern in einem diskreten angeregten Zustand. Nach einiger Zeit von ps bis m geht der Kern über eventuell dazwischen liegende Niveaus in den Grundzustand über. Dabei wird die Energiedifferenz in Form eines energiereichen Photons, also γ -Quant frei. Die Energie der γ -Quanten kann bis zu 17MeV betragen.

1.2 Umweltradioaktivität

Alle Lebewesen auf der Erde sind fortwährend und seit jeher ionisierender Strahlung ausgesetzt. Dabei kann es sich um Teilchen, wie e^+ , e^- , p , α , n oder energiereiche Photonen (γ -Quanten) handeln. Die Ursachen respektive die Quellen dafür sind vielfältig. Kosmische Strahlung, vorwiegend von der Sonne trifft auf die obere Atmosphäre und erzeugt dort sekundäre Teilchen und Photonen, die dann auf Pflanzen und Tiere auf der Erde treffen. Dabei dient das Magnetfeld der Erde und die Atmosphäre als natürliche Abschirmung für kosmischer Strahlung. Geladene Teilchen werden im Magnetfeld abgelenkt und in den beiden van-Allan-Strahlungsgürteln gehalten. Durch die Inhomogenität des Magnetfeldes werden sie an den Polen reflektiert und gelangen nicht so einfach in die Atmosphäre. Leider gibt es eine Anomalie des Erdmagnetfeldes im Bereich des Südatlantiks, sodass dort verstärkt p zum Erdboden gelangen können [6]. Dies führt nicht nur zu einer erhöhten Dosis für die Menschen in Südamerika, sondern auch zu einer Beeinflussung der dort durchgeführten physikalischen Messungen.

Eine weitere natürliche Quelle sind die natürlichen Zerfallsreihen [2] Abb.8.3

- Uran-Radium-Reihe
- Uran-Actinum-Reihe
- Thorium-Reihe

Elemente dieser Reihen sind im Erdboden enthalten. Je nach Konzentration sind verschiedene Orte auf der Erde unterschiedlich aktiv. Besonderes Augenmerk gilt dem Isotop ^{222}Rn , welches ein Gas ist und somit aus dem Erdboden aufsteigen kann. ^{222}Rn hat eine Halbwertszeit von 3.825d [5] und zerfällt über einen α -Zerfall. Besonders in Gebäude-Kellern besteht je nach geografischer Lage die Gefahr der Ansammlung von ^{222}Rn , sodass ein längerer Aufenthalt in einem Raum mit hoher Radonkonzentration zu vermeiden ist.

Ein regelmäßiges Lüften von solche Räumen ist unerlässlich, da die Inkorporation von ^{222}Rn sehr ungesund ist. Die Radonkarte des Bundesministeriums für Strahlenschutz (BFS) zeigt die unterschiedliche Radonkonzentration in Deutschland [7].

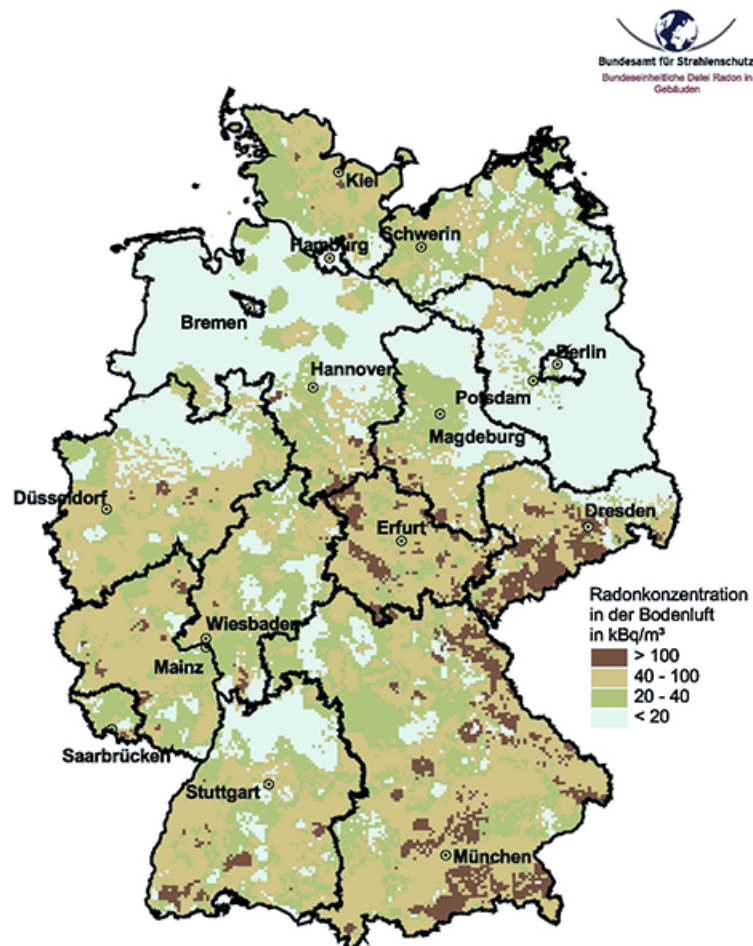


Abbildung 1: Radonkarte von Deutschland

Steigt ^{222}Rn in die Atmosphäre auf zerfällt es längerfristig zu ^{218}Po , welches ein Metall ist. Dieses und weitere Töchter verbleiben meist in der Luft bis zum nächsten Schauer. Wolken und Niederschlag entstehen an solchen Kondensationskernen und bringen diese auf den Erdboden. Folglich sind Pfützen und vom Regen durchnässte Kleider oftmals sehr aktiv.

Über die Fläche von Deutschland sind 1800 γ -Detektoren verteilt, die etwa einen Abstand von 25km zueinander haben und im Intervall von bis zu 10s abgefragt werden können. Sie sind so kalibriert, dass sie die jeweilige

Aktivität des Untergrundes und deren Abschirmung im Falle von Schnee berücksichtigen. Eine radioaktive Wolke als Folge von einer unkontrollierten Freisetzung von Radionukliden kann so gut verfolgt werden. Ebenfalls kann man sehr gut erkennen, welchen Einfluss Niederschlag auf die gemessene Ortsdosisleistung haben kann. Als Beispiel ist in Abb.2 die Ortsdosisleistung der Messstelle in Giessen gezeigt [8]. Dabei ist grün die Ortsdosisleistung in $\mu Sv/h$ und blau die Menge des vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bestimmten Niederschlags gegen die Zeit aufgetragen. Man sieht eine deutliche Erhöhung der Ortsdosisleistung während des Niederschlags.

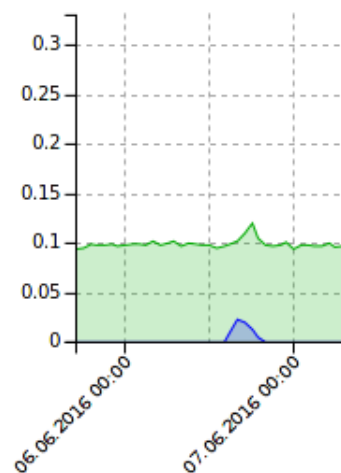


Abbildung 2: Ortsdosisleistung (grün) und Niederschlag (blau) in Giessen

Neben Strahlung von außen ist ein weiterer Punkt die Dosis, die Lebewesen bekommen durch Inkorporation von radioaktiven Nukliden. Dabei kann zum Beispiel Radon durch Inhalation in der Lunge verbleiben. Andere Isotope aus den oben genannten Zerfallsreihen können über die Nahrung aufgenommen und dann im Körper an verschiedenen Stellen angelagert werden. Organismen können nicht zwischen instabilen und stabilen Isotopen unterscheiden, da sie chemisch gleich sind. Deshalb lagern Tiere und Pflanzen natürliche Isotope wie ^{14}C und ^{40}K ein. Folglich sind alle Lebewesen, die solche Elemente brauchen ebenfalls aktiv. Der Zweite Teil dieses Versuchs (4) zielt darauf ab die Aktivität der beiden Studenten zu messen.

Insgesamt kann man sagen, dass die jährliche effektive Dosis der Einwohner Deutschlands aufgrund natürlicher Strahlenexposition etwa $2.1 mSv/a$ beträgt. Der zivilisatorisch bedingte Anteil von etwa $1.8 mSv/a$ ist fast genauso groß und zu 97% auf medizinische Anwendungen zurück zu führen. Der Rest rührt von den unkontrolliert freigesetzten Mengen radioaktiver Stoffe in der

Vergangenheit [2].

1.3 Nachweis ionisierender Strahlung

In den beiden Versuchsteilen wurden zwei verschiedene Arten von Detektoren verwendet. Zum einen ein Halbleiter Detektor mit sehr scharfer Energieauflösung und zum anderen NaI Detektoren mit etwas besserer zeitlicher Auflösung.

Halbleiter Detektoren bestehen aus einem in Sperrichtung geschalteten p-n Übergang. Im Energieschema liegt eine Bandlücke von wenigen eV vor, so dass ein einfallendes Gamma Quant ein Elektron-Loch Paar erzeugt, wobei das Elektron mit einer Energie in der Größenordnung der Energie der einfallenden Strahlung angeregt wird. Das Elektron kann nun weitere Elektronen-Loch Paare oder Phononenanregungen erzeugen. Durch Phononenanregungen geht ein kleiner Faktor der Energie verloren, so dass die restliche Energie auf Elektron Loch Paare übertragen wird, welche durch den Sperrstrom abgesaugt werden und einen messbaren Stromimpuls erzeugen. Die gemessene Ladung ist so proportional zu der einfallenden Gamma Energie und der Detektor kann zur Energiemessung benutzt werden. Die hohe Energieauflösung begründet sich darin, dass bei statistischen Prozessen der mittlere Fehler $\propto \frac{1}{\sqrt{N}}$. Aufgrund der geringen Anregungsenergie von wenigen eV wird so eine hohe Anzahl von Anregungen erzeugt. Die zeitliche Auflösung ist etwas schlechter als beim NaI Detektor, da die Elektronen sich nur relativ langsam durch den Kristall bewegen.

Im NaI Detektor lösen Gamma Quanten ebenso Elektronen, welche durch weitere Stoßprozesse weitere Elektronen anregen. Bei Relaxation dieser Anregungen werden Photonen emittiert. Damit diese Photonen nicht die gleiche Energie besitzen wie die Anregungsenergie des Kristalls, muss dieser dotiert werden. So kann der Relaxationsprozess über ein Zwischenniveau stattfinden und der Kristall wird durchlässig für die emittierten Photonen. Die Anzahl der Photonen ist proportional zur Energie des eintreffenden Gamma Quants. Zu Verstärkung des dennoch schwachen Signals wurde ein Photomultiplier eingesetzt. Die zeitliche Auflösung ist durch die Abklingzeit der Anregungen bestimmt.

2 Versuchsaufbau

Im ersten Teil des Versuchs wurde ein Haushaltsartikel, in unserem Fall ein Glühstrumpf, auf dessen Aktivität untersucht. Dazu ist die folgende Schal-

tung in Abb.3 verwendet worden.

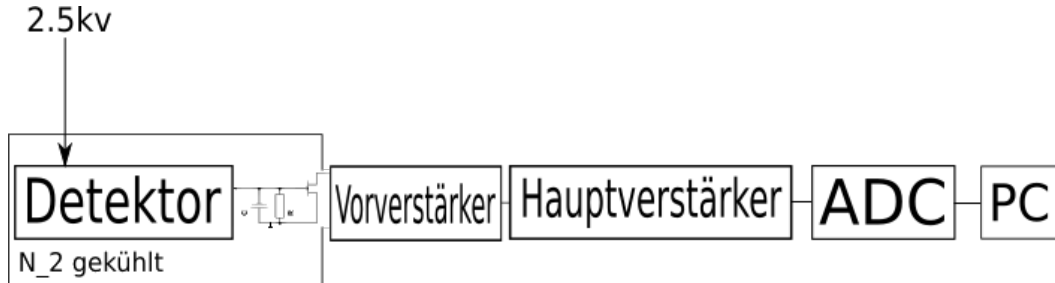


Abbildung 3: Blockschaltbild des Versuchaufbaus

Als Detektor wurde ein Stickstoff gekühlter Germanium Detektor verwendet. Der Vorverstärker war zur Unterdrückung des Rauschens, direkt hinter dem Detektor montiert. Die Vorstufe Desselbigen wurde ebenfalls gekühlt. Anschließend wurde das Signal durch einen weiteren Verstärker auf ein Niveau gebracht, das von NIM-Modulen weiter verwendet werden konnte. Ein ADC hat schließlich aus dem analogen Signal ein digitales gemacht, welches mit einem Computer erfasst wurde.

Der zweite Teil des Versuchs ist an der Landesstelle für Inkorporationsmessungen durchgeführt worden. Die Anlage dient dazu Menschen oder Tiere zu vermessen, bei denen der Verdacht auf Inkorporation von radioaktiven Stoffen besteht. Dabei liegt der Proband auf einer Liege. Unterhalb und oberhalb sind je zwei NaI Detektoren angebracht, die so angeordnet sind, dass sie insgesamt einen möglichst großen Bereich abdecken. Ein Detektor ist ungefähr über der Schilddrüse, da dort radioaktives Iod angelagert werden kann. Der gesamte Raum ist mit dickem sehr wenig aktivem Stahl abgeschirmt, sodass sich Aktivitäten in der Größenordnung von $10Bq$ gerichtsfest messen lassen. Die Signale von den Detektoren werden über NIM-Module und einen PC ausgewertet.

3 Teil I

3.1 Energieeichung

Zuerst wurde das Spektrum von fünf bekannten Proben aufgezeichnet. Die Kanalnummern der Photo-Peaks sind direkt vorort mittels der MCA Software bestimmt worden. Dazu wurde an jeden Peak eine Gaussfunktion gefittet. Die ermittelten Kanäle sowie der Fehler der Fits sind in Tab.1 aufgeführt. In der zweiten Spalte stehen die Gamma-Energien entsprechend der Niveauschemata aus der Anleitung [1].

Nuklid	E_γ [keV]	Kanalnummer	Fehler des Gaussfits
^{133}Ba	80.998	189.174	± 0.0267797
	276.397	658.186	± 0.0183366
	302.851	721.673	± 0.0112611
	356.005	849.232	± 0.0126328
	383.851	915.993	± 0.033895
	437.0	1043.3	± 0.0523624
^{207}Bi	569.7	1361.96	± 0.0126473
	1063.7	2546.71	± 0.0150857
^{137}Cs	661.7	1582.51	± 0.0143494
^{60}Co	1173.24	2809.31	± 0.0238546
	1332.5	3191.37	± 0.016438
^{22}Na	511.0	1221.0	± 0.0373728
	1274.6	3052.28	± 0.0180409

Tabelle 1: Gamma-Energien und Kanalnummern der Nuklide

Anschließend wurde ein linearer Fit gemäß $K = aE + b$ mit K als Kanalnummer, durchgeführt. Die Parameter lauten

$$a = 2.39861 \pm 0.0001092 \frac{1}{\text{keV}}$$

$$b = -4.77769 \pm 0.08336$$

In Abb.4 sind die Messdaten (violett) und $K(E)$ (grün) dargestellt. Der Fehler ist so klein, dass er im Plot verschwindet.

Um die Streuung der Messdaten besser dar zustellen wurde von diesen die Eichgerade abgezogen. Die dadurch erhaltenen Wertepaare [Energie, Kanal] sind in Abb.5 geplottet.

Zur Überprüfung der Energieeichung wurde die Eichgerade benutzt um die folgenden Energien zurückzurechnen.

Der Vergleich zwischen der zurück gerechneten Energie E_γ und dem Literaturwert zeigt, dass bei fast allen Messwerten der Literaturwert im Fehlerbereich liegt. Die relative Abweichung liegt in der Größenordnung von einigen tausendstel Prozent. Der Einzige Messwert, der nicht diese Genauigkeit erreicht hat ist die 80.8006 keV Linie von ^{133}Ba . Bei dieser Linie liegt der Literaturwert nicht im Fehlerbereich und die relative Abweichung beträgt 0,244%, was etwa 30 mal größer ist als bei allen anderen Linien. Außerdem liegt die 1274.6 keV Linie des ^{22}Na mit 0.1 keV Abweichung nicht im Fehlerbereich.

Nun können die zur Eichung verwendeten Spektren mit der oben gefundenen

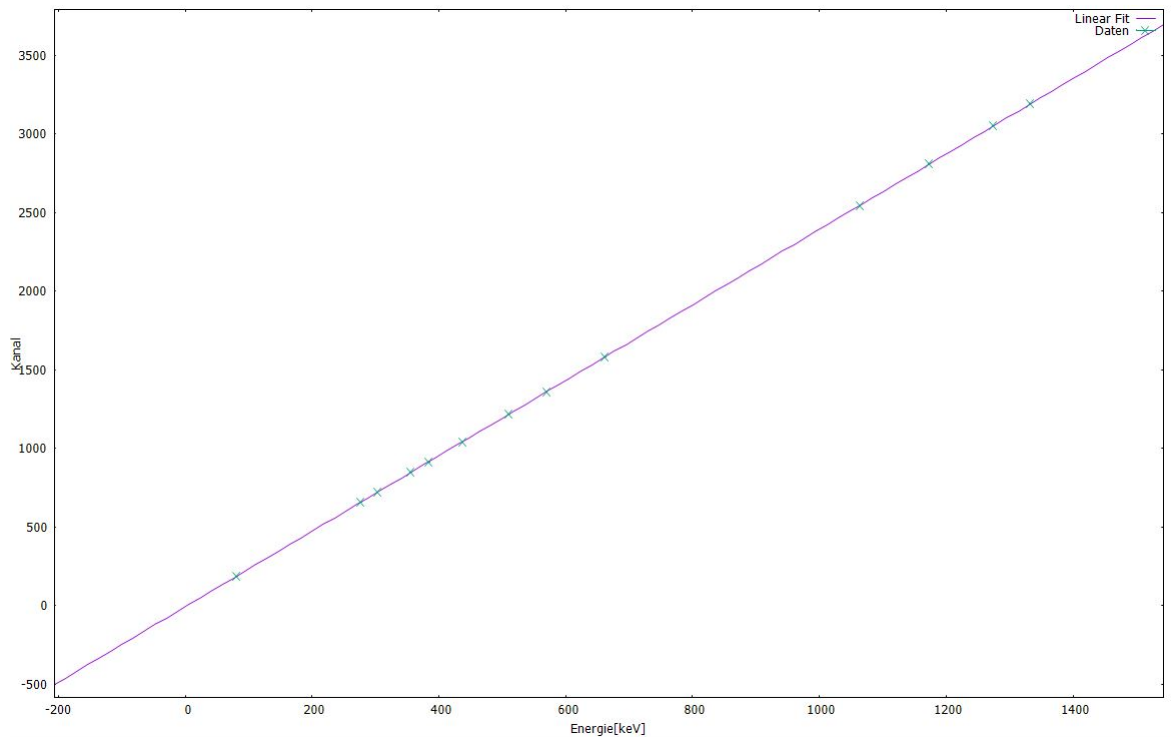


Abbildung 4: Messdaten und Fit

Nuklid	E_γ [keV]	Fehler	Literaturwert [keV]	Abweichung[keV]
^{133}Ba	80.86	± 0.0366751	80.998	-0.138
	276.395	± 0.0377436	276.397	-0.002
	302.863	± 0.0376824	302.851	0.012
	356.044	± 0.0387077	356.005	-0.039
	383.877	± 0.0413874	383.851	0.026
	436.952	± 0.045608	437.0	-0.048
^{207}Bi	569.804	± 0.0436869	569.7	0.104
	1063.74	± 0.0599386	1063.7	0.036
^{137}Cs	661.753	± 0.0463815	661.7	0.053
^{60}Co	1173.22	± 0.0644948	1173.24	-0.024
	1332.5	± 0.0702487	1332.5	0
^{22}Na	511.037	± 0.0446303	511.0	0.037
	1274.51	± 0.0680525	1274.6	-0.088

Tabelle 2: Gamma-Energien und Kanalnummern der Nuklide

Funktion skaliert und als Funktion der γ -Energie geplottet werden. Dabei gilt

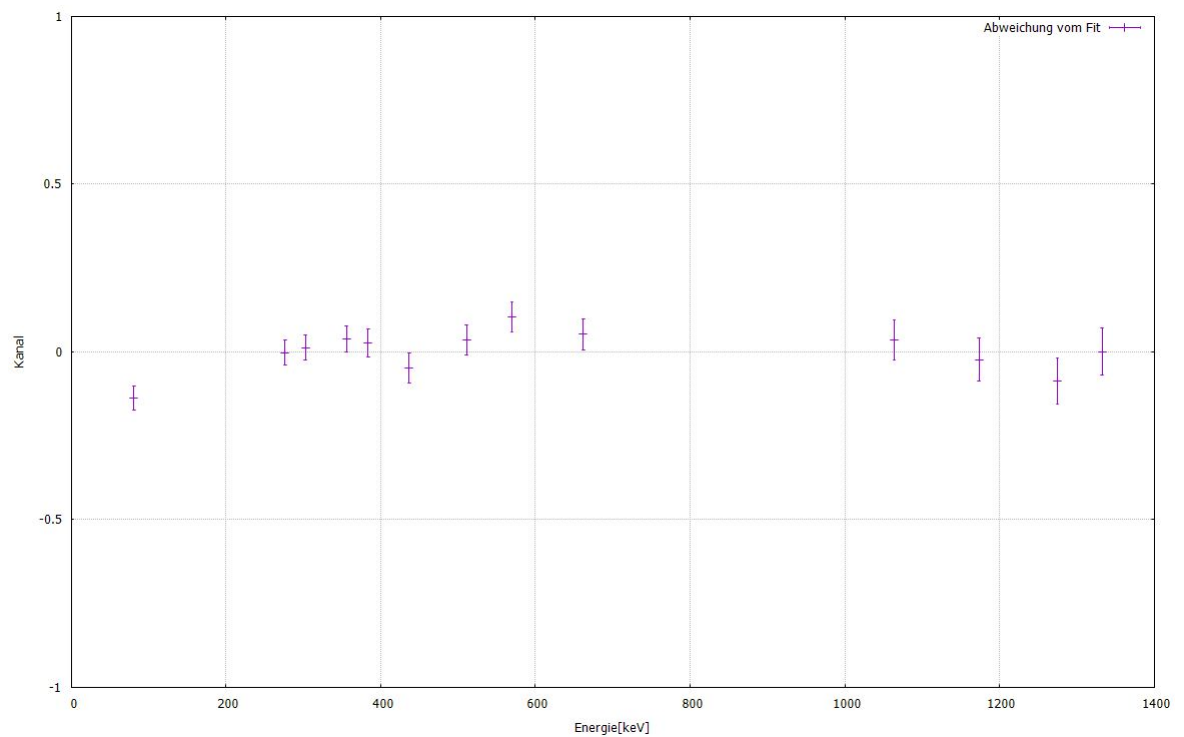
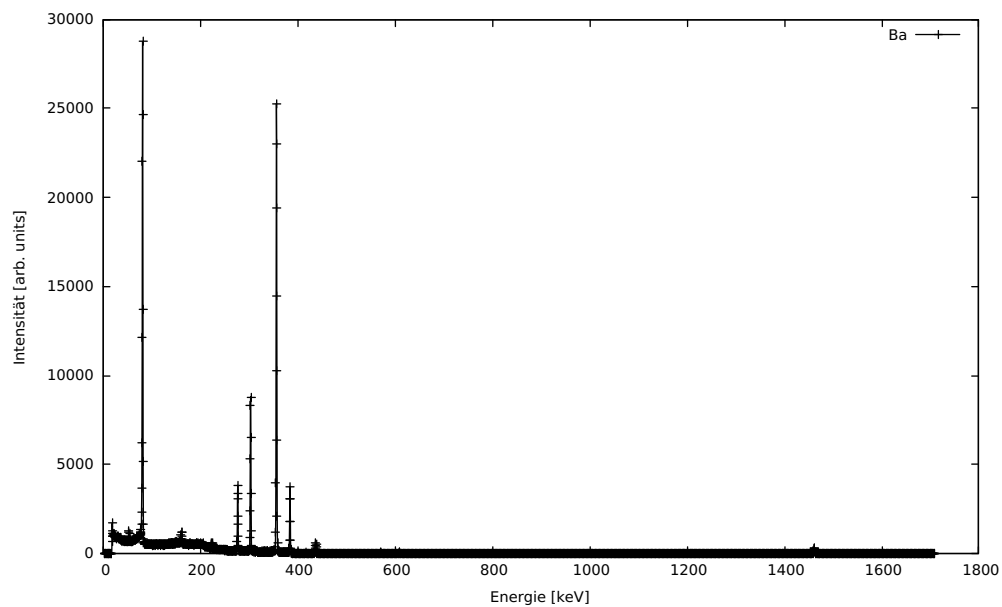
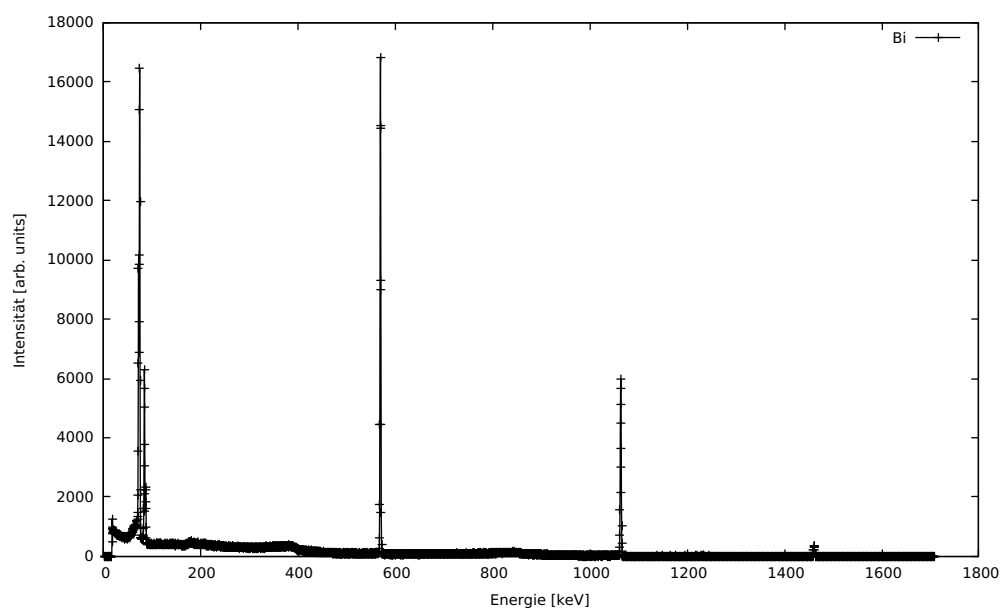
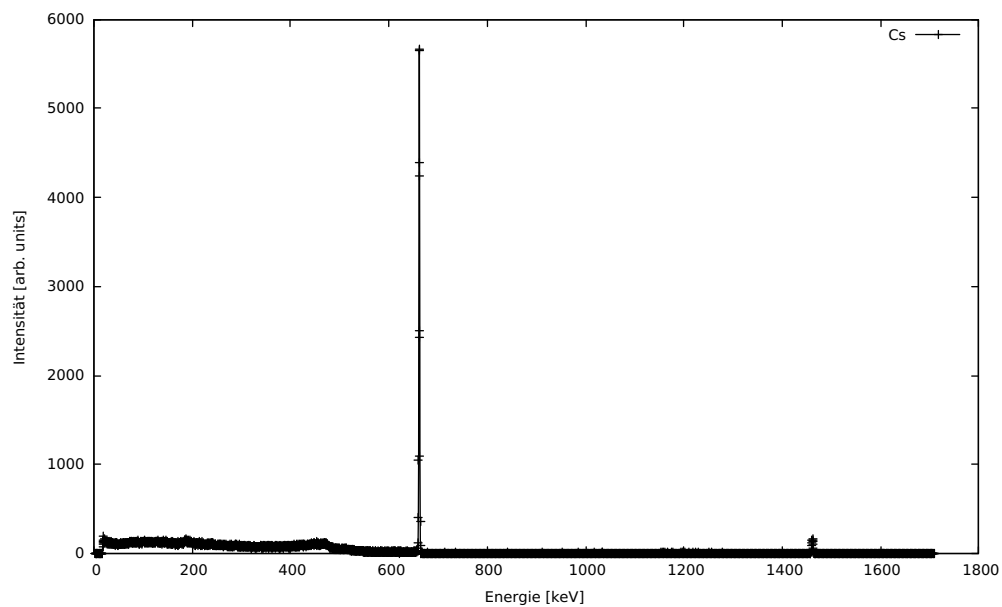
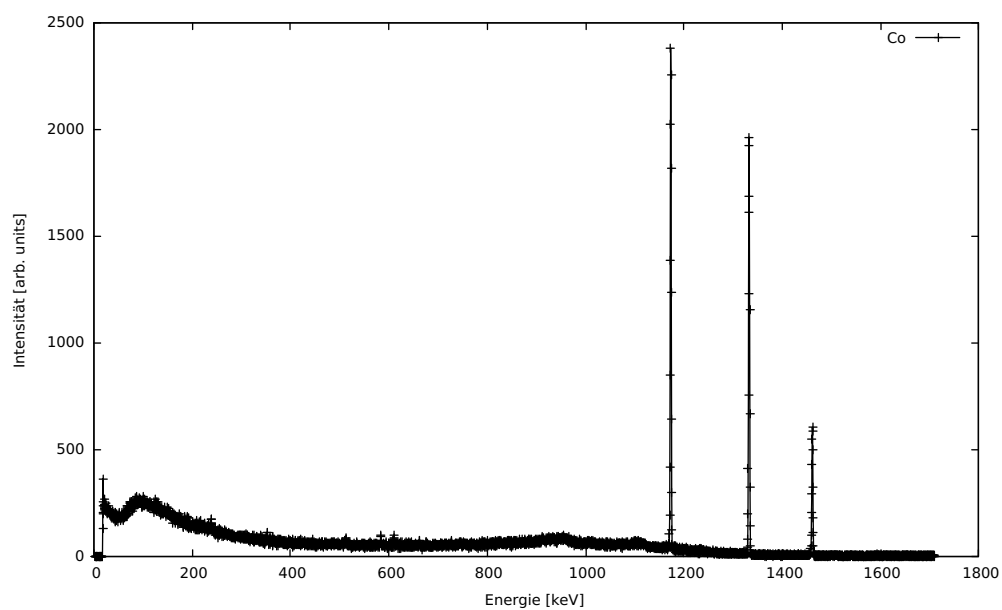


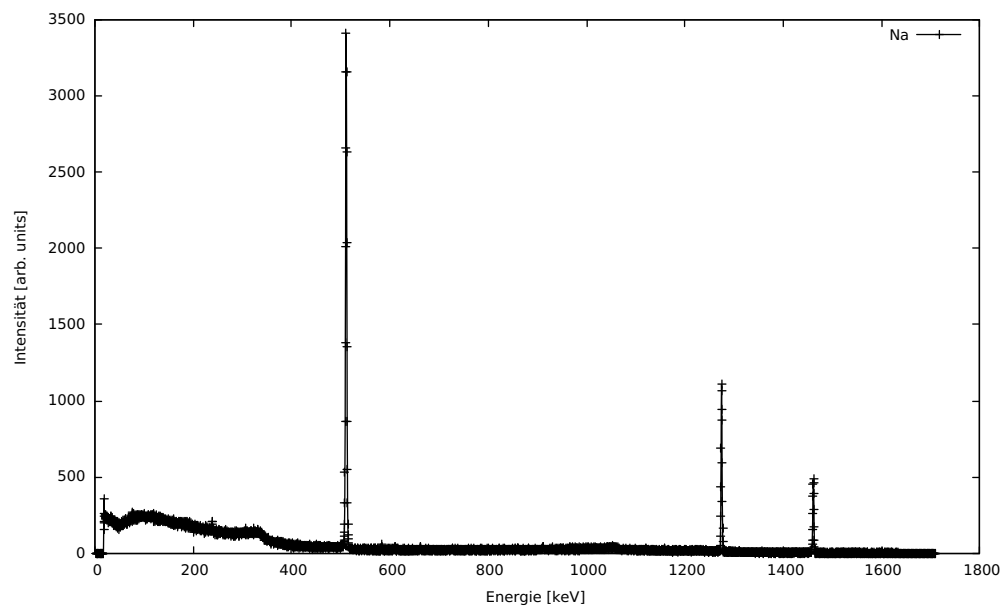
Abbildung 5: Messdaten nach Abzug der Eichgeraden

$$E = \frac{K - b}{a}$$

mit a, b aus dem Fit in 3.1.

Abbildung 6: Spektrum von ^{133}Ba Abbildung 7: Spektrum von ^{207}Bi

Abbildung 8: Spektrum von ^{137}Cs Abbildung 9: Spektrum von ^{60}Co

Abbildung 10: Spektrum von ^{22}Na

3.2 Untergrundspektrum

Zunächst wurde nun das Untergrundspektrum des Praktikumsraums vermessen. Diese Messung lief über 3 Tage. Das Spektrum ist in Abbildung 11 zu sehen. Hier wurden bereits alle gemessenen Linien eingezeichnet. Die ermittelten Energien und Nuklide sind in Tabelle 3 aufgeführt. Hierbei wurde der Fehler wie folgt berechnet

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\partial E}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial b} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial K} \Delta K\right)^2}$$

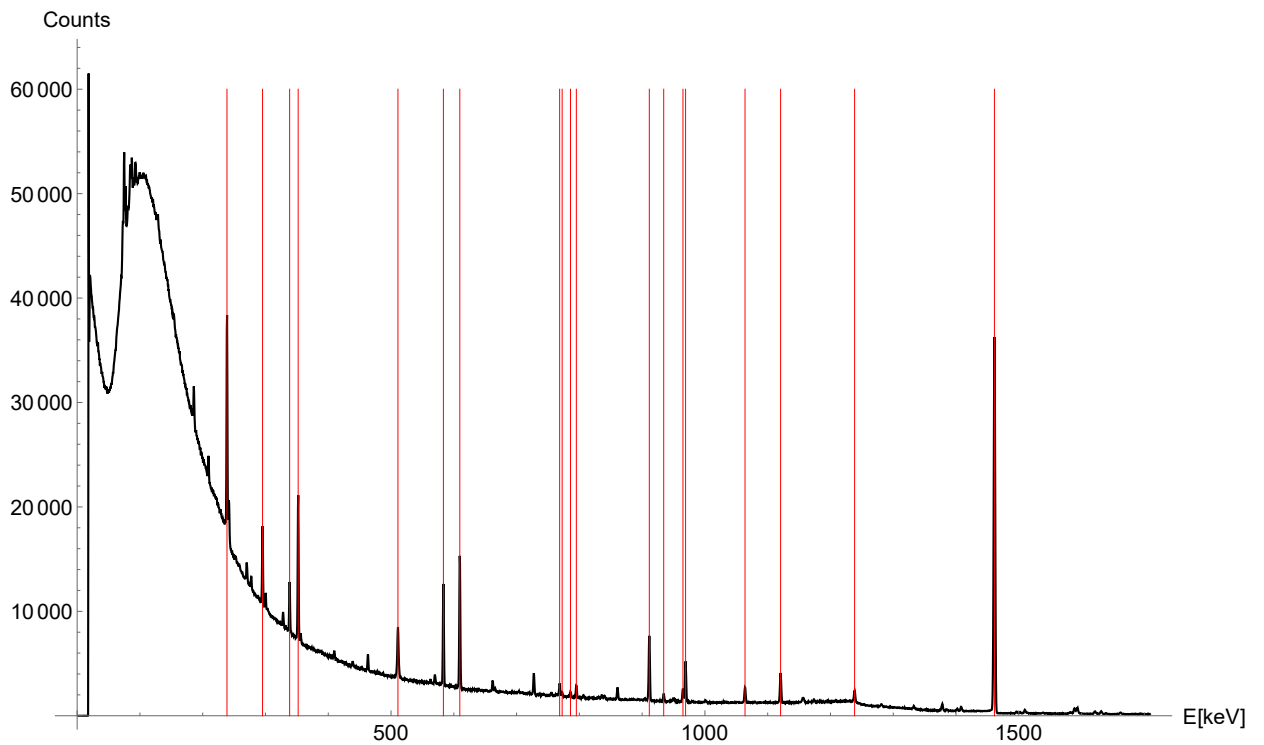


Abbildung 11: Untergrundspektrum

Energie [keV]	Fehler[keV]	Literaturwert[keV]	Nuklid
1461.19	0.0757537	1460.82	^{40}K
1238.42	0.0719133	1238.11	^{214}Bi
1120.56	0.062848	1120.29	^{214}Bi
1063.9	0.061616	1063.66	^{207}Pb
965.037	0.0621949	964.77	^{228}Ac
969.206	0.0574188	968.97	^{228}Ac
911.423	0.0548568	911.20	^{228}Ac
934.344	0.0741209	934.06	^{214}Bi
768.586	0.0574188	768.36	^{214}Bi
772.563	0.0814675	772.60	^{132}I
785.896	0.0775829	785.460	^{212}Bi
795.185	0.0567449	794.95	^{228}Ac
583.404	0.0441624	583.19	^{208}Tl
609.535	0.0447665	609.31	^{214}Bi
338.458	0.0402784	338.32	^{228}Ac
352.058	0.0385981	351.92	^{214}Pb
511.991	0.0402784	511.0	Paarvernichtung
295.314	0.0375519	295.21	^{214}Pb
238.662	0.0366327	238.63	^{212}Pb

Tabelle 3: Energie Peaks des Untergrundspektrums

3.3 Haushaltsartikel

Als nächstes wurde das Spektrum eines Glühstrumpfs vermessen. Diesem wurde das normierte Untergrundspektrum abgezogen, sodass nur noch Peaks des Glühstrumpfs auftauchen. Das Spektrum ist in Abbildung 12 zu sehen. Die Energien der Peaks und dessen Fehler sind in Tabelle 4 zu finden. Die gemessenen Energien stammen von γ Zerfällen der Nuklide ^{228}Ac , ^{212}Bi , ^{208}Tl und ^{212}Pb , welche alle Zwischenprodukte aus der Thorium Reihe sind. Außerdem findet man ^{214}Pb und ^{214}Bi welche zur Uran-Radium Reihe gehören.

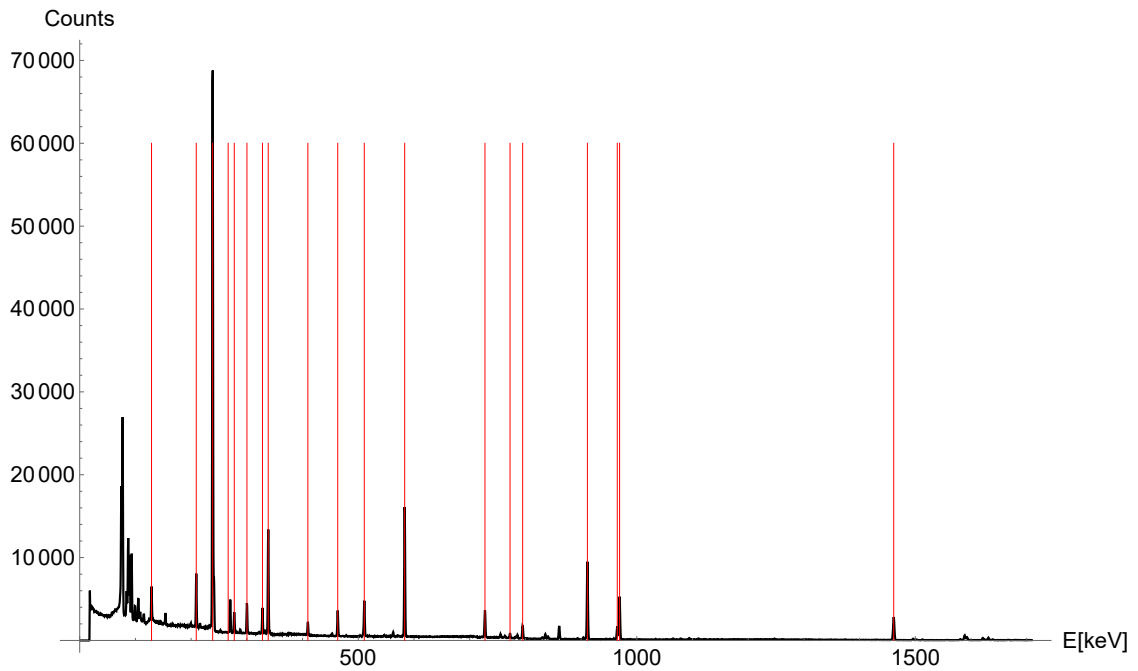


Abbildung 12: Spektrum des Glühstrumpfs

Energie [keV]	Fehler[keV]	Literaturwert[keV]	Nuklid
911.348	0.0545036	911.07	^{228}Ac
964.95	0.059344	964.60	^{228}Ac
969.119	0.0569268	969.11	^{228}Ac
795.105	0.0519975	794.70	^{228}Ac
772.434	0.0526257	772.60	^{132}I
727.437	0.049222	727.17	^{212}Bi
583.341	0.0439011	583.14	^{208}Tl
510.832	0.0485439	510.84	^{208}Tl
463.134	0.0409665	463.00	^{228}Ac
328.034	0.0405513	327.96	^{212}Bi
338.372	0.0384608	338.32	^{228}Ac
300.18	0.0385185	300.09	^{212}Pb
277.429	0.0392309	277.35	^{208}Tl
209.163	0.105053	209.28	^{228}Ac
238.63	0.0434923	238.63	^{212}Pb

Tabelle 4: Energie Peaks des Glühstrumpfs

3.4 Antworten auf Fragen

Die Strahlenbelastung eines Menschen pro Stunde beträgt

- bis zu $7\mu\text{Sv/h}$, in einem Langstrecken Flugzeug in 10,000m [3]
- auf dem Piz Giuv in einer Höhe von etwa 3,000m beträgt die Ortsdosisleistung laut Nationaler Alarmzentrale der Schweiz bis zu $0.5\mu\text{Sv/h}$ [9]
- an der Atlantikküste des Golf von Mexiko $0.103\mu\text{Sv/h}$ [10]

Außerdem sollten die Reichweite von β -Strahlung der Energie $E_\beta = 0.4\text{MeV}$ und die Achtelwertsdicke von γ -Strahlung der Energie $E_\gamma = 1.5\text{MeV}$ angegeben werden. Dabei gilt nach Gl.9.14 aus "Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes" von Hans-Gerrit Vogt und Einrich Schultz [4], für β -Strahlung die maximale Reichweite R_{max} in cm

$$R_{max} = \frac{E}{\rho} \quad (3.1)$$

mit ρ der Dichte des exponierten Materials in $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Die jeweiligen Dichten sind dem Anhang 15.1 aus [4] entnommen.

Für die Achtelwertsdicke von γ -Strahlung kann

$$d_{\frac{1}{8}} = \log_2(8)d_H \quad (3.2)$$

benutzt werden [4]. Als Referenzwert wurde hier die Halbwertsdicke $d_h = 12.5\text{cm}$ von Photonen der Energie 1.5MeV in Wasser aus dem Graphen in [4] Anhang 15.26 abgelesen. Es folgt $d_{\frac{1}{8}}(H_2O) = 35.5\text{cm}$. Alle übrigen Achtelwertsdicken können über die aus dem Grundpraktikum bekannte Beziehung

$$\rho_1 d_1 = \rho_2 d_2 \quad (3.3)$$

berechnet werden. In Tab.5 sind alle Werte angegeben.

Material	Dichte $[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}]$	R_{max} [cm]	$d_{\frac{1}{8}}$ [cm]
Luft	$1.205 \cdot 10^{-3}$	165.975	31,120.331
Wasser	1	0.2	37.5
Normalbeton	2.3	0.087	16.30
Eisen	7.874	0.0254	4.763
Blei	11.34	0.0176	3.307

Tabelle 5: Reichweite der β -Strahlung und Achtelwertsdicke der γ -Strahlung

Zuletzt sei eine Person gegeben, die $t = 35d$ lang täglich einen halben Liter Milch trinkt, der eine Aktivitätskonzentration von $a_V = 150 \frac{Bq}{l}$ an ^{137}Cs aufweist. Es soll die effektive Dosis berechnet werden, die diese Person erhält. Dazu wurde die Gl.10.6 beziehungsweise Gl.10.8 aus [4] verwendet. Die Effektivdosis E_g ist demnach

$$E_g = g_{g,E} A_g \quad (3.4)$$

Mit dem Ingestions-Koeffizienten $g_{g,E} = 1,3 \cdot 10^{-3} \frac{Sv}{Bq}$ für ^{137}C aus dem Anhang 15.40b) in [4] und der Aktivitätszufuhr A_g

$$A_g = a_V \dot{V}_g t \quad (3.5)$$

Dabei ist $\dot{V}_g = 0,5 \frac{l}{d}$ das inkorporierte Volumen pro Tag. Es folgt $E_g = 3,4125 \cdot 10^{-5} Sv \hat{=} 34,125 \mu Sv$.

4 Teil II

In diesem Versuchsteil wurden beide Probanden in einem Ganzkörperdetektor vermessen. Interessant ist hierbei die spezifische Kaliumaktivität, diese gibt Aufschlüsse über die körperliche Fitness, da ^{40}K in den Muskeln gespeichert wird. Man kann die gemessene Kaliummenge mit einem altersspezifischen Normwert vergleichen, welcher sich durch die folgende Formel [1] errechnet.

$$M_k[g] = (2,38658 - 0,00893 \cdot \text{Alter}[a]) \text{Probandenmasse}[kg]$$

Es folgt für Proband 1 $M_{K,Norm} = 219,905g$ und für Proband 2 $M_{K,Norm} = 127,027g$

Die spezifische Kaliumaktivität von Proband 1 betrug $(63,1 \pm 2,1) Bq/kg$ und für Proband 2 $(81,1 \pm 2,4) Bq/kg$ (vgl. Abb.13 bzw. Abb.14). Um daraus die im Körper enthaltene Kaliummasse zu berechnen, muss zunächst die gesamte Aktivität in eine Teilchenzahl umgerechnet werden: $N = \frac{A}{\lambda} = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2}$. Die Halbwertszeit von ^{40}K beträgt laut Volkmer $1,277 \cdot 10^9 a$ Tab. 2-1 [2]. Multipliziert man die Teilchenzahl N mit der Masse von Kalium und teilt durch die Häufigkeit von ^{40}K , also 0,0117% [5], erhält man die Gesamtkaliummasse im Körper. Für Proband 1 ergibt sich daraus $M_K = (198,81 \pm 6,61)g$, was deutlich unter dem Normwert von 219,905g liegt. Allerdings liegt die Kalium-Gesamtmasse des zweiten Probanden mit $M_K = (155,15 \pm 4,59)g$ über dessen Normwert von 127,027g. Dabei wurden die Massen als fehlerlos angenommen und lediglich der Fehler der Aktivität pro Masse betrachtet. Es folgt $\Delta M_K = M_K \frac{\Delta A}{A}$.

Abschließend lässt sich sagen, dass der zweite Proband im Verhältnis zu seiner Masse mehr Muskeln aufweist als Proband 1. Ob dies eine Folge der jeweiligen Lebensstile ist oder genetisch bedingt, bleibt unklar.

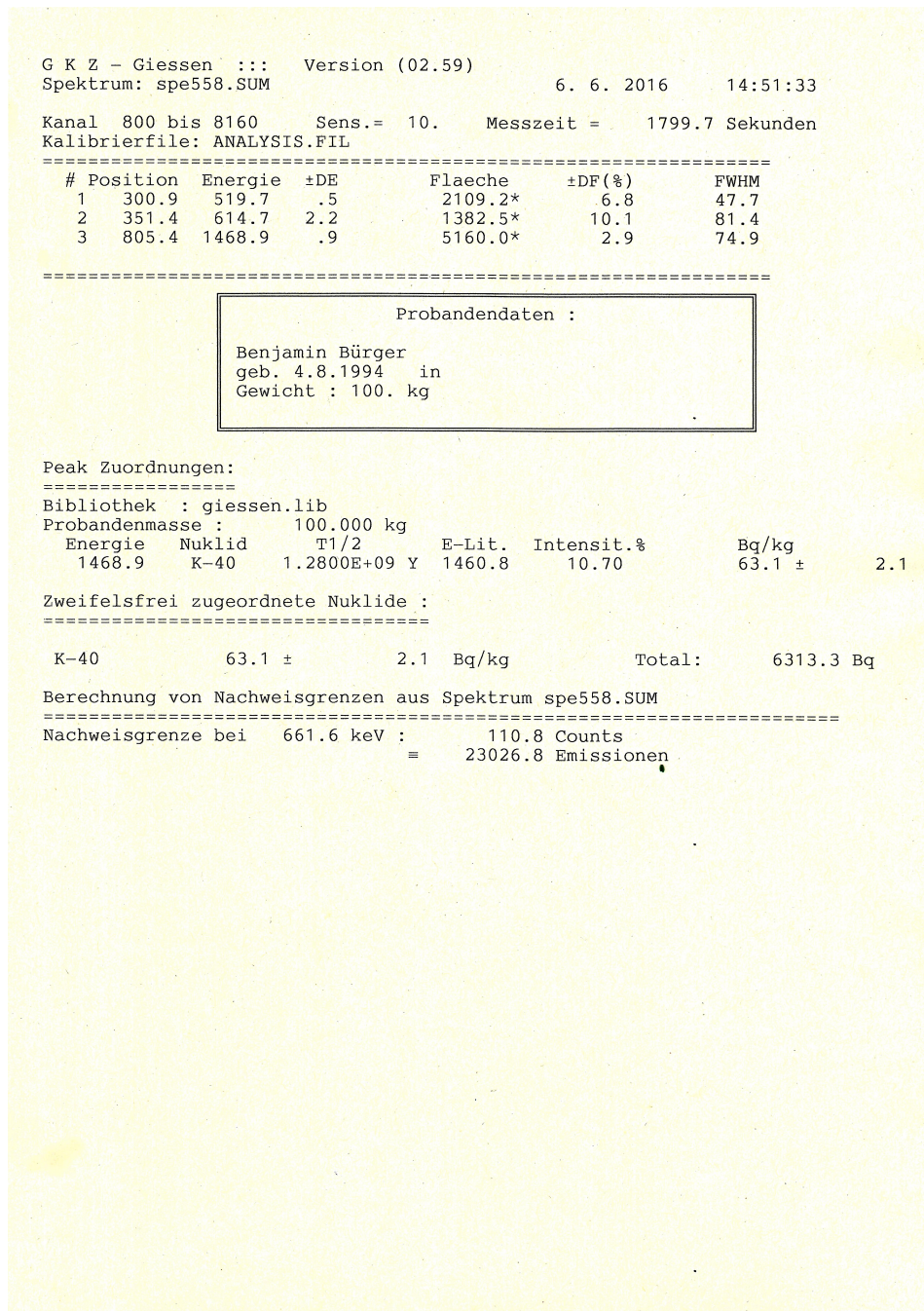


Abbildung 13: Ergebnis der Messung von Proband 1

```

G K Z - Giessen ::: Version (02.59)
Spektrum: spe559.SUM                      6. 6. 2016    15:27:46

Kanal 200 bis 2040    Sens.= 10.    Messzeit =    1799.7 Sekunden
Kalibrierfile: ANALYSIS.FIL
=====
# Position  Energie  ±DE      Flaeche    ±DF(%)    FWHM
1   290.2   499.7    .9      2250.5*    6.1      40.6
2   345.7   604.0    2.1      965.7*    11.6     56.1
3   804.7  1467.7    .8     4979.6*    2.6     77.4
=====



Probandendaten :  

    Philipp Riedl  

    geb. 21.4.1994 in  

    Gewicht : 58. kg



Peak Zuordnungen:
=====
Bibliothek : giessen.lib
Probandenmasse : 58.000 kg
  Energie  Nuklid    T1/2      E-Lit.  Intensit.%    Bq/kg
  1467.7   K-40     1.2800E+09 Y  1460.8    10.70      81.1 ± 2.4

Zweifelsfrei zugeordnete Nuklide :
=====
  K-40          81.1 ± 2.4 Bq/kg          Total: 4704.5 Bq

Berechnung von Nachweisgrenzen aus Spektrum spe559.SUM
=====
Nachweisgrenze bei 661.6 keV : 108.8 Counts
                             = 17565.9 Emissionen

```

Abbildung 14: Ergebnis der Messung von Proband 2

4.1 Antworten auf Fragen

- Die Aktivität des Normmenschen beträgt $9,000\text{Bq}$, dabei sind es hauptsächlich die Nuklide ^{14}C und ^{40}K , die mit $3,800\text{Bq}$ beziehungsweise $4,200\text{Bq}$ dazu beitragen.[2]
- Die beiden oben genannten Isotope sind die beiden wesentlichen natürlichen, die über die Nahrung in den Körper gelangen.
- Durch kosmische Strahlung entsteht in der oberen Atmosphäre ^{14}C . Dieses gelangt mittels fortwährender Umwälzvorgänge der Luftschichten in bodennahe Luft und wird dort von Flora und Fauna aufgenommen. Tiere und Pflanzen können bekanntlich nicht zwischen Isotopen unterscheiden, da sie chemisch identisch sind. Die Produktionsrate von ^{14}C und damit das Verhältnis zu stabilem ^{12}C hängt zwar von der kosmischen Strahlung ab, allerdings lässt sich grob abschätzen, dass dieser Fluss im Mittel konstant ist. Es folgt die Annahme, dass das Isotopenverhältnis von ^{14}C zu ^{12}C über die letzten Jahrtausende konstant war.

Das heißt in allen lebenden Organismen mit normalen Stoffwechselvorgängen ist dieses Isotopenverhältnis gleich. Enden die Stoffwechselvorgänge, weil der Organismus zu leben aufhört, wird nicht mehr neues ^{14}C 'aufgefüllt'. Da es gegenüber ^{12}C zerfällt, ändert sich über längere Zeit das Isotopenverhältnis des Organismus. Folglich kann durch die Aktivität einer organischen Probe und deren Kohlenstoff-Gesamtmasse, deren Alter bestimmt werden. Die Halbwertszeit von ^{14}C beträgt $5,730a$ [5]. Dadurch lassen sich Datierungen von bis zu $57,000a$ sehr zuverlässig bestimmen.

Leider wurde bei den Atomwaffentests in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts ^{14}C erzeugt, das dieses natürliche Gleichgewicht verschoben hat. In Zukunft wird dadurch die ^{14}C -Methode nicht mehr eindeutige Aussagen treffen können.

- Der radioaktive Kohlenstoff genauer ^{14}C kann nicht mit dem Ganzkörperzähler erfasst werden. ^{14}C zerfällt durch einen β^- -Zerfall ohne γ -Strahlung. Da die Elektronen nicht aus dem Körper entweichen können, kann sie der Detektor nicht messen.

- Bei dem Reaktorunfall in Tschernobyl, wurden verschiedene Isotope freigesetzt. Hierzulande war dies im wesentlichen ^{137}Cs . Auch heute noch inkorporieren Tiere vorwiegend in Süddeutschland signifikante Mengen dieses Isotops. Bei beiden Probanden konnte kein ^{137}Cs nachgewiesen werden.

Literatur

- [1] Versuchsanleitung
- [2] Radioaktivität und Strahlenschutz, Volkmer, überarbeitete Auflage April 2007
- [3] von http://www.bfs.de/SharedDocs/Bilder/BfS/DE/ion/strahlenschutz/flug-belastung-flughoeihen.jpg?__blob=poster&v=3, 29.05.2016, 15:00CEST
- [4] Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes; Hans-Gerrit Vogt, Heinrich Schultz; 4.aktualisierte Auflage
- [5] Karlsruher Nuklidkarte, 8.Auflage 2012
- [6] von <http://image.gsfc.nasa.gov/poetry/ask/q525.html>, 12.06.2016, 16:40CEST
- [7] von https://www.bfs.de/SharedDocs/Bilder/BfS/DE/ion/umwelt/radon-karte.jpg;jsessionid=B96C033B14838DBF952513F0807A6F3B.1_cid339?__blob=poster&v=3, 12.06.2016, 17:00CEST
- [8] von <http://odlinfo.bfs.de/DE/aktuelles/messstelle/065310050.html>, 12.06.2016, 17:15CEST
- [9] von <https://www.naz.ch/de/aktuell/messwerte.html>, 13.06.2016, 15:15CEST
- [10] von https://www.ohio.edu/riskandsafety/docs/newsletters/2015_fall_rad.pdf, 13.06.2016, 15:40CEST