

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Theoretische Grundlagen	2
2.1	Radioaktive Zerfälle	2
2.2	Zerfallsschemata	3
2.3	Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Materie	5
2.4	Selbstabsorption	5
2.5	Verwendete Geräte	8
3	Aufbau und Durchführung	10
4	Auswertung und Fehleranalyse	13
4.1	Zählrohrkennlinie	13
4.2	Halbwertszeit von $^{147}\text{Samarium}$	14
4.3	Bestimmung der Halbwertszeit von Kalium	16
5	Diskussion der Ergebnisse	19
A	Anhang	21
	Abbildungsverzeichnis	21
	Tabellenverzeichnis	21
	Literaturverzeichnis	21
A.1	Tabellen	22
A.2	Messprotokoll	24

1 Einleitung

In diesem Versuch sollen die Halbwertszeiten des α -Strahlers Samarium-147 und des β -Strahlers Kalium-40 bestimmt werden. Dies geschieht durch Messungen der Zählraten von Samariumoxid (Sm_2O_3) und Kaliumchlorid (KCl) mit einem Proportionalitätszählrohr.

Da die Halbwertszeiten der Isotope zu lang sind, um sie direkt durch Beobachtung der exponentiellen Abnahme der Zählrate zu beobachten, muss die Zerfallskonstante über die Aktivität und die Anzahl der am Zerfall beteiligten Atomkerne bestimmt werden. Dabei muss die Selbstabsorption sowie die Reinheit der verwendeten Materialien berücksichtigt werden. Dafür muss bei Samariumoxid zusätzlich die Oberfläche der Probe bestimmt werden, und bei Kaliumchlorid wird die Massenabhängigkeit der Zählrate gemessen.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Teil werden die für diesen Versuch relevanten theoretischen Grundlagen erläutert. Neben radioaktiven Zerfällen wird auch die Wechselwirkung von Strahlung mit Materie und Selbstabsorption von Strahlung erklärt sowie ein kurzer Überblick über die verwendeten Geräte gegeben. Die Informationen in diesem Teil wurden dem Staatsexamen [2] und [1] entnommen.

2.1 Radioaktive Zerfälle

Radioaktiver Zerfall tritt auf, wenn ein instabiler Atomkern Energie in Form von Strahlung verliert. Die zeitliche Änderung der Anzahl der Kerne N ist durch

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N, \quad (1)$$

gegeben. Dabei ist λ eine materialspezifische Zerfallskonstante.

Durch Integration von [Gleichung \(1\)](#) erhält man

$$N(t) = N_0 \cdot \exp(-\lambda t) \quad (2)$$

für die Anzahl der Kerne in Abhängigkeit der Zeit t . Hierbei steht N_0 für die Anzahl der Kerne zum Zeitpunkt $t = 0$ s.

Die Halbwertszeit $T_{1/2}$, nach der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Kerne zerfallen sind, lässt sich aus [Gleichung \(2\)](#) berechnen und ist gegeben durch

$$T_{1/2} = \frac{\log 2}{\lambda}. \quad (3)$$

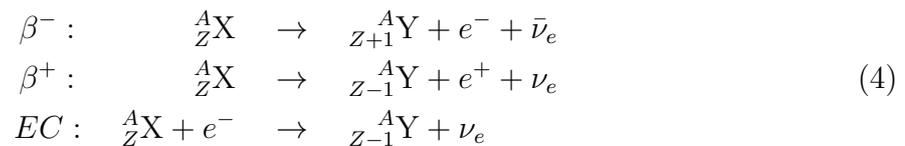
Verschieden Arten radioaktiver Zerfälle werden mit α -Zerfall, β -Zerfall und γ -Zerfall bezeichnet.

α -Zerfall

Ein Atomkern A_ZX strahlt ein sogenanntes α -Teilchen ab und zerfällt zu einem anderen Kern ${}^{A-4}_{Z-2}Y$. Das abgestrahlte α -Teilchen ist ein ${}^4_2\text{He}$ -Kern. Da der emittierte Kern kinetische Energie besitzt, muss bei diesem Prozess die Masse des ursprüngliche Kerns mindestens der Summe der Masse des α -Teilchens und des übrigen Kerns entsprechen.

 β -Zerfall

Es gibt drei verschiedene Arten des β -Zerfalls, die mit β^- -Zerfall, β^+ -Zerfall und Elektroneneinfang (EC) bezeichnet werden:



Beim β^- -Zerfall wird ein Neutron des Kerns in ein Proton umgewandelt. Bei diesem Prozess werden ein Elektron und ein Anti-Elektron-Neutrino emittiert. Dies geschieht häufig in Isotopen mit neutronenreichen Kernen.

Beim β^+ -Zerfall wird ein Proton des Kerns in ein Neutron umgewandelt, dabei werden ein Positron und ein Elektronen-Neutrino emittiert. Dieser Prozess findet im Allgemeinen in protonenreichen Kernen statt. Da Positronen Antiteilchen sind, können sie in Gegenwart von Materie nicht existieren. Infolgedessen vereinigen sich das Positron und ein Elektron zu Positronium, das nach kurzer Lebenszeit in γ -Quanten (normalerweise zwei) zerfällt. Aufgrund der Äquivalenz von Energie und Masse haben die Photonen jeweils eine Energie von 511 keV, die der Ruhemasse des Elektrons bzw. Positrons entspricht. Wenn das Positronium in zwei Photonen zerfällt, werden diese aufgrund der Impulserhaltung unter einem Winkel von 180° emittiert.

Elektroneneinfang (EC) beschreibt die Wechselwirkung eines Protons aus dem Atomkern mit Elektronen aus der niedrigsten Energieschale, die in ein Neutron und ein Elektron-Neutrino umgewandelt werden. Das Loch, das durch das fehlende Elektron in der untersten Schale entsteht, wird durch ein Elektron aus einer höheren Schale gefüllt. Die überschüssige Energie, die durch die Abregung des Elektrons der höheren Schale frei wird, wird als Photon emittiert.

 γ -Zerfall

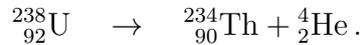
Nach α - oder β -Zerfällen befindet sich der resultierende Kern oft in einem angeregten Energiezustand. Wenn er in seinen Grundzustand zurückfällt, wird die Energie in Form von energiereichen Photonen, die als γ -Strahlen bezeichnet werden, ausgestrahlt.

2.2 Zerfallsschemata

In diesem Versuch werden Uran-238, Samarium-147 und Kalium-40 verwendet. Auf deren zu erwartende Zerfälle wird im Folgenden genauer eingegangen.

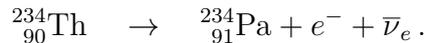
Uran-238

Um die Zählrohrcharakteristik aufzunehmen, wird mit einer relativen Häufigkeit von 99,275 % vorkommendes natürliches Uran-238 verwendet. Uran-238 zerfällt zunächst über α -Zerfall zu Thorium-234,

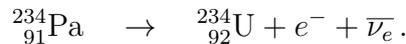


Dabei kann das entstandene Thorium-234 nach dem Zerfall im Grundzustand oder in einem angeregten Zustand vorliegen.

Da Thorium-234 auch nicht stabil ist, zerfällt es durch einen β^- -Zerfall zu Protactinium-234



Auch Protactinium-234 ist nicht stabil und zerfällt zu Uran-234



Bei Uran-238 werden also sowohl α - als auch β -Zerfälle erwartet.

Samarium-147

Samarium-147 kommt mit einer relativen Häufigkeit von 15 % in natürlichem Samarium vor. In diesem Versuch wird Samariumoxid (Sm_2O_3) verwendet. Samarium-147 zerfällt durch α -Zerfall zu Neodym-143,



Der Übergang erfolgt dabei zu 100 % in den Grundzustand. Das zugehörige Zerfallsschema ist in [Abb. 1](#) abgebildet. Neodym-143 ist stabil und zerfällt nicht weiter.

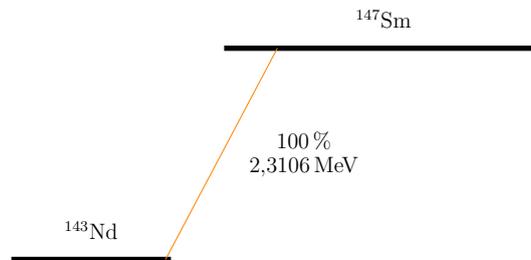
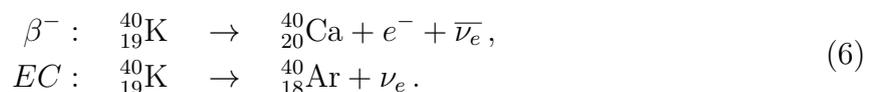


Abbildung 1: Zerfallsschema für Samarium-147. Samarium-147 zerfällt durch α -Zerfall zu Neodym-143. Der Übergang erfolgt zu 100 % in den Grundzustand. Der Zerfall ist in [Gleichung \(5\)](#) dargestellt.

Kalium-40

Kalium-40 kommt mit einer Häufigkeit von 0,0117 % in der Natur vor. In diesem Versuch wird Kaliumchlorid (KCl) verwendet. Kalium zerfällt zu 89,84 % durch β^- -Zerfall zu 40-Calcium und zu 10,72 % durch Elektroneneinfang (EC) zu 40-Argon,



Das zugehörige Zerfallsschema ist in [Abb. 2](#) dargestellt.

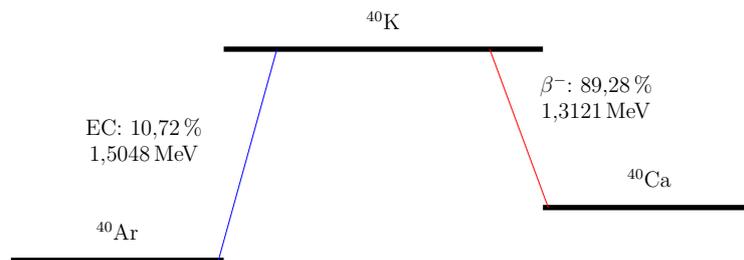


Abbildung 2: Zerfallsschema für Kalium-40. Kalium zerfällt zu 89,84 % durch β^- -Zerfall zu 40-Calcium und zu 10,72 % durch Elektroneneinfang (EC) zu 40-Argon. Der Zerfall ist in Gleichung (6) dargestellt.

2.3 Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung mit Materie

Photoeffekt

Der Photoeffekt tritt ein, wenn ein Photon auf ein gebundenes Elektron trifft. Dabei überträgt das Photon seine gesamte Energie auf das Elektron, das dann genug Energie hat, um das Atom zu verlassen. Es besitzt danach eine kinetischen Energie von $E_{\text{kin}} = h\nu - E_{\text{bin}}$, wobei $h\nu$ die Energie des Photons ist und E_{bin} die Bindungsenergie Energie des Elektrons bezeichnet. Durch diesen Prozess wird das Photon vollständig vom Elektron absorbiert. Dies ist nur bei gebundenen Elektronen möglich, da die Existenz des Kerns für die Impulserhaltung notwendig ist. Da die Wahrscheinlichkeit für den Photoeffekt proportional zur fünften Potenz der Kernladungszahl ist, tritt dieser Effekt hauptsächlich in schweren Elementen auf.

Compton Effekt

Der Compton Effekt tritt auf, wenn ein Photon an einem freien Elektron streut. Dabei überträgt das Photon einen Teil seiner Energie auf das Elektron, wodurch sich die Wellenlänge des Photons vergrößert. Die Energie, die das Photon nach der Wechselwirkung hat, hängt vom Winkel ab, unter dem die dem die Streuung stattfindet.

Paarbildung

Wenn ein Photon eine Energie von mindestens 1022 keV hat, kann es seine gesamte Energie in ein Elektron-Positron-Paar umwandeln. Die Energie wird dabei zur Ruhemasse des Elektrons und des Positrons umgewandelt (jeweils 511 keV). Aufgrund der Energie-Impulserhaltung in der speziellen Relativitätstheorie kann dieser Prozess nur stattfinden, wenn ein Atomkern ein Teil des Impulses aufnehmen kann.

2.4 Selbstabsorption

Es kann vorkommen, dass durch radioaktive Zerfälle entstandene Strahlung absorbiert wird, bevor sie das Material verlassen kann. Dieses Phänomen wird Selbstabsorption genannt. Selbstabsorption spielt vor allem bei schwacher Strahlung und dicken Materialien eine spürbare Rolle, ist also z.B. besonders bei α -Strahlung zu berücksichtigen.

Korrekturen bei α -Strahlung von Samariumoxid

Um bei α -Strahlung die Selbstabsorption zu berücksichtigen, muss beachtet werden, dass die α -Teilchen nur detektiert werden können, wenn der Punkt, an dem sie erzeugt werden, näher am Rand der Probe als die maximale Reichweite R der Teilchen ist.

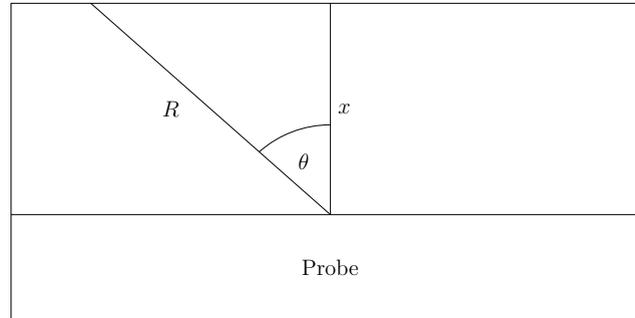


Abbildung 3: Skizze zur Korrektur für die Selbstabsorption bei α -Strahlung.

Der Raumwinkel $\Omega(x)$, in dem die Teilchen austreten können, ergibt sich durch

$$\Omega(x) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_{\max}} \sin(\theta) d\theta d\varphi = 2\pi \left(1 - \frac{x}{R}\right). \quad (7)$$

Hierbei ist $\theta_{\max}(x) = \arccos(x/R)$ der maximale Winkel, unter dem Teilchen austreten können. Eine Skizze ist in [Abb. 3](#) zu sehen. Daraus kann dann die messbare Zählrate n , erzeugt durch Teilchen, die die Probe verlassen, berechnet werden. Sie ergibt sich durch

$$n = \frac{A}{d} \int_0^R \frac{\Omega(x)}{4\pi} dx = \frac{A_V \cdot F}{4\pi} \int_0^R \Omega(x) dx = \frac{A_V \cdot F \cdot R}{4\pi}. \quad (8)$$

Hierbei bezeichnet A die Aktivität, d die Dicke des Materials, A_V die Aktivität pro Volumen und F die Oberfläche des Volumens.

Mithilfe von [Gleichung \(3\)](#) lässt sich nun die Halbwertszeit

$$T_{1/2} = \log(2) \frac{N}{A} = \log(2) \frac{N}{A_V \cdot F \cdot d} = \log(2) \frac{N \cdot R_{\text{Sm}_2\text{O}_3}}{4n \cdot d} \quad (9)$$

bestimmen.

Die Reichweite $R_{\text{Sm}_2\text{O}_3}$ der emittierten α -Strahlung und die Dichte $\rho_{\text{Sm}_2\text{O}_3}$ von Samariumoxid sind unbekannt, das Produkt lässt sich aber über

$$R_{\text{Sm}_2\text{O}_3} \cdot \rho_{\text{Sm}_2\text{O}_3} = R_{\text{Luft}} \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot \sqrt{\frac{m_{\text{A,Sm}_2\text{O}_3}}{m_{\text{A,Luft}}}} = 4,026 \cdot 10^{-3} \text{ g cm}^{-1} \quad (10)$$

nähern.

Die Anzahl N der ^{147}Sm -Kerne lässt sich aus der Anzahl der Samariumoxid-Moleküle $N_{\text{Sm}_2\text{O}_3}$ und aus der relativen Häufigkeit von ^{147}Sm in natürlichem Samarium $h_{\text{rel}} = 0,1487$ durch

$$N = 2 \cdot N_{\text{Sm}_2\text{O}_3} \cdot h_{\text{rel}} \quad (11)$$

berechnen.

Dabei lässt sich die Anzahl der Samariumoxid-Moleküle $N_{\text{Sm}_2\text{O}_3}$ aus der Masse m der Probe, der relativen Molekülmasse $m_{\text{rel,Sm}_2\text{O}_3}$ und der Avogadrokonstante N_A durch

$$N_{\text{Sm}_2\text{O}_3} = \frac{m \cdot N_A}{m_{\text{rel,Sm}_2\text{O}_3}} \quad (12)$$

bestimmen.

Einsetzen von [Gleichungen \(11\)](#) und [\(12\)](#) in [Gleichung \(9\)](#) liefert

$$T_{1/2} = \frac{\log(2) \cdot R_{\text{Sm}_2\text{O}_3} \cdot \rho_{\text{Sm}_2\text{O}_3} \cdot N_A \cdot h_{\text{rel}} \cdot F}{2 \cdot n \cdot m_{\text{rel,Sm}_2\text{O}_3}} =: C \cdot \frac{F}{n}, \quad (13)$$

wobei der Vorfaktor zu einer Konstante C zusammengefasst wurde.

Korrekturen bei β -Strahlung von Kalium

Auch bei β -Strahlung muss die Selbstabsorption berücksichtigt werden. Dazu wird die Aktivität in Abhängigkeit der Masse, die sogenannte spezifische Aktivität A_S gemessen.

Für die von einem Volumenelement $F \cdot dx$ hervorgerufene Zählrate n an der Oberfläche F der Probe der Dichte ρ gilt

$$n \propto A_S^{\text{mess}} \cdot \rho \cdot dx \cdot (1 - e^{-\mu x}). \quad (14)$$

Hierbei bezeichnet μ den Absorptionskoeffizienten der Probe.

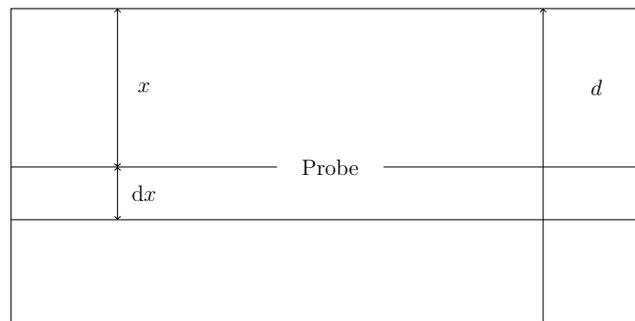


Abbildung 4: Skizze zur Korrektur für die Selbstabsorption bei β -Strahlung.

Integration von [Gleichung \(14\)](#) bis zur Schichtdicke d mit der Randbedingung $n(0) = 0$ liefert

$$n(m) = \frac{A_S^{\text{mess}} \cdot F \cdot \rho}{\mu} \cdot (1 - e^{-\mu d}) \quad (15)$$

Bei der Integration wird vernachlässigt, dass μ von x und von der Energie abhängen kann. Eine Skizze ist in [Abb. 4](#) zu sehen.

Mit $A_S = A/m$ und $m = \rho \cdot V = \rho \cdot F \cdot d$ erhält man aus [Gleichung \(15\)](#)

$$n(m) = \frac{A_S^{\text{mess}} \cdot F \cdot \rho}{\mu} \cdot (1 - e^{-\frac{\mu \cdot m}{F \cdot \rho}}). \quad (16)$$

Um von der messbaren spezifischen Aktivität A_S^{mess} auf die tatsächliche spezifische Aktivität A_S zurückschließen zu können, müssen die Raumwinkelabdeckung Ω des Zählrohrs und der Rückstrefaktor $f = 1,29$ [2] berücksichtigt werden. Es ergibt sich

$$A_S = \frac{4\pi \cdot A_S^{\text{mess}}}{\Omega \cdot f} = \frac{2A_S^{\text{mess}}}{f}. \quad (17)$$

Kalium zerfällt zu 89,28 % mit β^- -Zerfall und zu 10,72 % mit Elektroneneinfang (EC). Allerdings wird bei EC nur ein Neutrino abgestrahlt, welches mit einem Proportionalitätszählrohr nicht detektierbar ist. Gemessen wird also nur die Zählrate vom β^- -Zerfall und für die Gesamtzerfallskonstante gilt dann

$$\lambda_{\text{tot}} = \lambda_{\beta} + \lambda_{\text{EC}} = 1,12 \cdot \lambda_{\beta}. \quad (18)$$

Die Halbwertszeit ergibt sich dann aus [Gleichung \(3\)](#) und [Gleichung \(18\)](#) durch

$$T_{1/2} = \frac{\log(2)N}{1,12 \cdot A(\beta^-)} \quad (19)$$

2.5 Verwendete Geräte

Um die Zählraten zu bestimmen, werden in diesem Versuch ein Proportionalitätszählrohr, ein Vorverstärker (PA), ein Hauptverstärker (MA) und ein Einkanalanalysator (SCA) verwendet.

Proportionalitätszählrohr

In diesem Versuch wird zur Detektion von Zerfallsprodukten ein Methan-Durchflusszählrohr verwendet. Das Zählrohr hat eine zylindrische Form, in deren Mitte sich ein dünner Draht befindet. Zwischen dem Draht (Anode) und der Hülle (Kathode) wird eine Spannung angelegt. Falls sich nun ein geladenes Teilchen durch das Zählrohr bewegt, wird es zum Draht in der Mitte des Zählrohrs beschleunigt. Durch Stoßionisation des Methangases erzeugt es Elektronen, die wiederum zur Mitte hin beschleunigt werden und dabei durch Stoßprozesse ihrerseits weitere Elektronen freisetzen. So wird das Ladungssignal, das schließlich am Draht ankommt, verstärkt. Dieser Effekt wird Gasverstärkung genannt. Das Ladungssignal, das gemessen wird, ist im Proportionalitätsbereich des Zählrohrs proportional zur Energie des ursprünglich gemessenen Teilchens. Damit sich immer ausreichend nicht ionisiertes Methangas im Zählrohr befindet, wird dieses ständig im Durchfluss nachgefüllt und abgeführt. Das in diesem Versuch verwendete Zählrohr kann radioaktive Strahlung unter einem Raumwinkel von 2π detektieren.

Vorverstärker

Die vom Zählrohr erzeugten Signale sind schwache Stromsignale, die eine unregelmäßige Form haben und schwer zu analysieren sind. Der Vorverstärker wandelt diese Stromsignale in Spannungspulse um, deren Amplitude proportional zum eingehenden Strom ist. Dabei integriert er den eingehenden Strom über eine vordefinierte Zeitspanne. Der ausgehende Spannungsimpuls weist einen starken Anstieg und langen exponentiellen Abfall der Amplitude auf.

Hauptverstärker

Der Hauptverstärker dient zwei Zwecken. Zum einen verstärkt er das Signal weiter, so dass das resultierende Spannungssignal eine Amplitude von einigen Volt besitzt. Zum anderen wird das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert. Der Verstärker bestimmt die maximale Amplitude innerhalb der sogenannten *shaping time*, die dann zur Erzeugung des Ausgangssignals verwendet wird. Das Signal wird nach der *shaping time* abgeschnitten, um zu verhindern, dass spätere Signale mit der langen Abklingzeit des früheren Signals überlappen. Dies würde dazu führen, dass nur ein Signal mit einem falschen Wert für die Amplitude registriert wird. Dieser Effekt wird *Pile Up* genannt. Es ist wichtig, dass die maximale Amplitude innerhalb der *shaping time* erreicht wird. Lange *shaping times* führen jedoch zu langen Totzeiten, in denen keine neuen Signale erfasst werden können.

Es gibt zwei Ausgänge des Hauptverstärkers, ein unipolares und ein bipolares Signal. Da die Energie des ursprünglichen Signals proportional zur Amplitude ist, sollte zur Bestimmung der Energie das unipolare Signal gewählt werden. Ist jedoch hauptsächlich der Zeitpunkt der Signalerzeugung von Interesse, ist es vorteilhaft, stattdessen das bipolare Signal zu verwenden, da dessen Nulldurchgang leicht bestimmt werden kann.

Einkanalanalysator

Ein Einkanalanalysator sortiert die eingehenden Signale nach ihrer Amplitude, die proportional zur Energie des ursprünglichen Signals ist. Es ist möglich, einen Energiebereich für das Signal zu wählen, indem die obere und untere Grenze angepasst wird. Liegt die Amplitude des eingehenden Signals in dem gewählten Bereich, gibt der Einkanalanalysator ein logisches Signal aus. Es gibt einen positiven und einen negativen Ausgang. Der positive Ausgang gibt ein Rechtecksignal aus, während der negative Ausgang einen kurzen negativen Impuls erzeugt. Wenn die Amplitude des eingehenden Signals nicht im gewählten Bereich liegt, wird kein Ausgangssignal erzeugt. Es ist auch möglich, einen *delay* anzugeben, also eine Zeit, mit der das Ausgangssignal verzögert wird.

3 Aufbau und Durchführung

Zur Durchführung des Experiments steht ein 2π Methan Durchflusszählrohr zur Verfügung. Dieses wird mit Hilfe von einer BNC-Schnittstelle über ein LabView Programm von einem Computer aus gesteuert und von einem Hochspannungsgenerator mit Hochspannung betrieben. Das Verarbeiten der Signale erfolgt über NIM-Elektronik.

Wird über das LabView Programm die Messung gestartet, stellt sich die Hochspannung am Hochspannungsgenerator auf den eingestellten Wert ein. Signale, die vom Zählrohr kommen, werden zunächst durch den Vorverstärker verstärkt und an den Eingang des Hauptverstärker weitergeleitet. An diesem kann nun die Verstärkung über **Gain** und **Coarse Gain** eingestellt werden, sowie eine **shaping time**, welche die Dauer des Ausgangssignals einstellt. Um gezielt die Signale der gemessenen Zerfälle zu verstärken und dabei das Signal-Rausch-Verhältnis zu minimieren, war die Verstärkung auf **Gain = 5**, **Coarse Gain = 1000** eingestellt und die **shaping time** auf **5 μ s**.

Der unipolare Output des MA wurde an den Eingang des Timing SCA angeschlossen und beide Signale zusammen am Oszilloskop dargestellt. Eine Aufnahme davon findet sich in [Abb. 5](#). Das gelbe Signal auf Channel 1 entspricht dem Output Signal des MA, das blaue Signal dem positiven Output des Timing SCA.



Abbildung 5: Anzeige des Oszilloskops um die Einflüsse verschiedener Einstellungen zu vergleichen. In gelb ist das Signal des unipolaren Outputs des Hauptverstärkers dargestellt, in blau das positive Output Signal des Timing Single Channel Analyzers. Dass beide Signale gleichzeitig sichtbar sind bedeutet sowohl, dass ein Zerfall stattgefunden hat als auch, dass dieser vom Timing SCA als Zählsignal aufgenommen wurde.

Um die gewählten Einstellungen zu überprüfen, wurde eine Uran-238 Probe in das Zählrohr eingelegt, da bei Uran-238 eine hohe Zählrate zu erwarten ist. Die Betriebsspannung wurde

auf 3000 V eingestellt. Da beide Signale zusammen auf dem Oszilloskop dargestellt wurden, konnten nun die Einstellungen am Timing SCA angepasst werden. Dieser wurde so eingestellt, dass möglichst nur die durch einen Zerfall entstandenen Signale zu registriert wurden, und die Untergrundsignale abgeschnitten wurden. Dabei wurde `Upper Level` auf 5 gesetzt, `Lower Level` auf 2 und `delay` auf 0. Für Einstellungen von `Upper Level` höher als 5 und `Lower Level` höher als 2 wurden viele Signale am MA beobachtet, die nicht mehr vom Timing SCA erfasst wurden. Für Einstellungen am `Lower Level` kleiner als 2 gab es viele falsche Trigger Signale, bei denen kein Signal am MA gemessen wurde. Ein Beispiel eines solchen falschen Signals ist in [Abb. 10](#) im [Anhang A](#) gezeigt. Da für die Einstellung am `delay` keine sichtbare Verbesserung festgestellt werden konnte, wurde dieser auf 0 gelassen. Die Einstellungen am MA wurden nicht geändert, da überall klare Signale festgestellt werden konnten.

Nachdem die Einstellungen angepasst wurden, wurde eine Zählrohrkennlinie über einen Bereich von 1000 V bis 3900 V in 100 V Schritten über einen Zeitraum von 50 s pro Messung aufgenommen. Abermals wurde Uran als Probe während der Messung verwendet, da bei Uran eine hohe Zählrate zu erwarten ist und Uran-238 sowohl α - als auch β -Strahlung emittiert. Daher wird erwartet, dass beide Plateaus sichtbar sind. Nach jeder neuen Einstellung der Betriebsspannung wurde eine Wartezeit von 20 s eingestellt, um dem Zählrohr ausreichend Zeit zu geben, auf die Spannungsänderung zu reagieren.

Nachdem die Messung mit Hilfe des `LabView` Programms durchgeführt wurde, wurden die Bereiche des α - und β -Plateaus bestimmt. Um diese für die späteren Langzeitmessungen genauer zu untersuchen, wurde das α -Plateau nochmals mit einer Samarium-147 Probe abgefahren. Dabei wurde ein Bereich von 1700 V bis 2800 V in 100 V Schritten mit einer Messzeit von 200 s und einer Wartezeit von 20 s vermessen. Auch das β -Plateau wurde mit einer Kalium-40 Probe über einen Bereich von 3000 V bis 3900 V in 100 V Schritten über eine Messdauer von 100 s und 20 s Wartezeit vermessen.

Aus beiden Messreihen wurde ein optimaler Wert für die Betriebsspannung des Zählrohrs bestimmt um α - und β -Strahlung zu detektieren, der möglichst mittig im Plateau lag und bei dem hohe Zählraten gemessen wurden.

Im Anschluss daran wurde die Langzeitmessung für die Samarium Probe durchgeführt. Über einen Zeitraum von 6000 s wurde die Zählrate von Samarium bei der zuvor ausgewählten Spannung von 2100 V inmitten des α -Plateaus durchgeführt. Die Messzeit wurde so gewählt, dass mindestens eine relative Unsicherheit von 2 % zu erreicht wurde. Mit der Unsicherheit der Zählrate, einer poissonverteilten Messgröße, ergibt sich

$$\begin{aligned} \frac{s_N}{N} &= \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}} \stackrel{!}{=} 2\% \\ \Leftrightarrow N &= \frac{1}{0,02^2} = 2500. \end{aligned} \tag{20}$$

Diese angestrebte Zählrate konnte bei der Messung sogar übertroffen werden.

Um diese Ergebnisse von Untergründereignissen zu bereinigen, wurde die Untergrundzähl-

rate über das Wochenende in einem Zeitraum von 76 500 s ohne eingelegte Probe, aber mit dem Aluminiumschälchen, in dem die Proben plaziert wurden, gemessen. Auch die Untergrundzählrate inmitten des β -Plateaus wurde über den selben Zeitraum gemessen.

Um im Anschluss die Massenabhängigkeit der Zählrate des β -Strahlers Kalium-40 zu untersuchen, wurde für verschiedene Massen von Kaliumchlorid die Zählrate bestimmt. Abermals wurde die Messzeit so gewählt, dass eine relative Unsicherheit von unter 2 % erreicht werden konnte. Es wurde also jeweils bis zu einer Ereigniszahl von mindestens 2500 counts gemessen.

Für insgesamt 20 verschiedene Massen wurde eine Messung bis zur gewünschten Genauigkeit durchgeführt. Zunächst wurden verschiedene Schälchen mit KCl voll gefüllt und die Masse der Kaliumchlorids über die Massendifferenz des vollen und des leeren Schälchens berechnet

$$m = m_{\text{voll}} - m_{\text{leer}}. \quad (21)$$

Nach der Hälfte der Messungen war klar, dass die Zählraten nicht dem theoretisch erwarteten Verlauf entsprechen. Da verschiedene Schälchen für die Massen verwendet wurden, wurde zunächst von einem systematischen Fehler ausgegangen. Für alle weiteren Messungen wurde daraufhin nur noch ein großes Schälchen verwendet, das mit verschiedenen Massen befüllt wurde. Auf diese Strategie wird in der Auswertung noch weiter eingegangen.

4 Auswertung und Fehleranalyse

4.1 Zählrohrkennlinie

Zunächst wurde mit einer Uran-238 Probe die Zählrohrkennlinie von 1000 V bis 3900 V in 100 V-Schritten mit 50 s pro Schritt aufgenommen. Die Kennlinie ist in [Abb. 6](#) abgebildet.

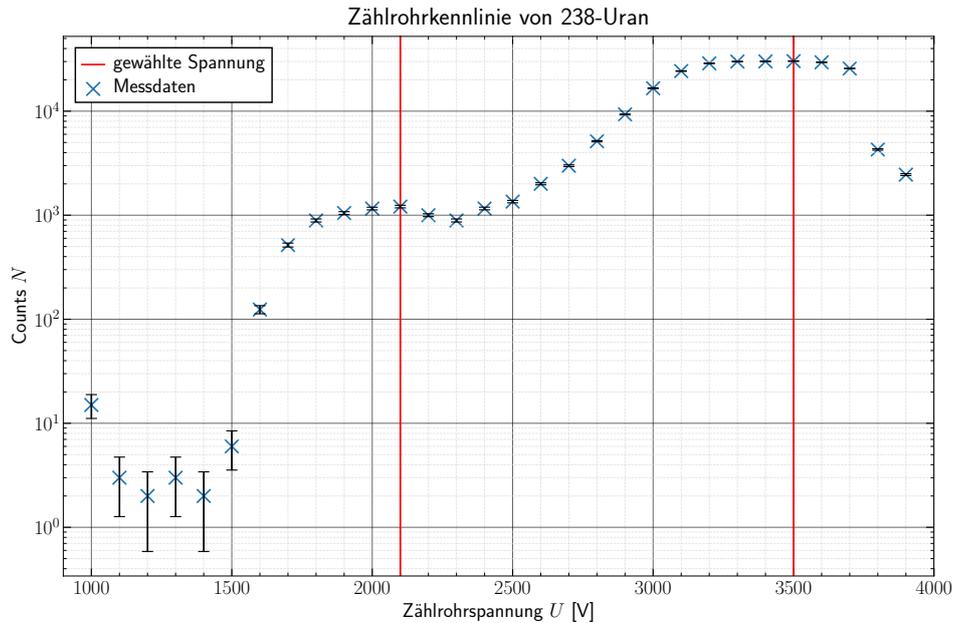


Abbildung 6: Zählrohrkennlinie, aufgenommen mit einer ^{238}U -Probe in 100 V-Schritten mit 50 s pro Schritt. Die y -Achse wurde semilogarithmisch geplottet. Die Daten sind nicht von Untergrundeignissen bereinigt. Das α - und das β -Plateau sind deutlich zu erkennen. Letztendlich wurden 2100 V für die α -Messung und 3500 V für die β -Messung gewählt. Die Unsicherheiten der Anzahl der Ereignisse wurden mit [Gleichung \(22\)](#) berechnet.

Der Unsicherheit auf die Anzahl der Ereignisse berechnet sich aufgrund der Annahme einer poissonverteilten Messgröße durch

$$s_N = \sqrt{N}. \quad (22)$$

Da diese Messung nur zum Bestimmen der Positionen des α - und β -Plateaus dient, wurde keine explizite Messung der Untergrundzählraten durchgeführt. Entsprechend sind die Daten nicht vom Untergrund bereinigt.

Anschließend wurden mit der Samariumprobe und der Kaliumprobe noch einmal das α - bzw. das β -Plateau vermessen. Für Samarium wurde die Kennlinie von 1700 V bis 2800 V in 100 V-Schritten mit 200 s pro Schritt aufgenommen. Sie ist in [Abb. 7](#) abgebildet. Da der Untergrund nicht aufgenommen wurde, sind auch diese Daten nicht vom Untergrund bereinigt. Die Unsicherheit wurde wieder mit [Gleichung \(22\)](#) berechnet.

Auch für Kalium wurde erneut die Kennlinie von 3000 V bis 3900 V in 100 V-Schritten mit 100 s pro Schritt aufgenommen. Sie ist in [Abb. 8](#) abgebildet. Wie bei Samarium sind

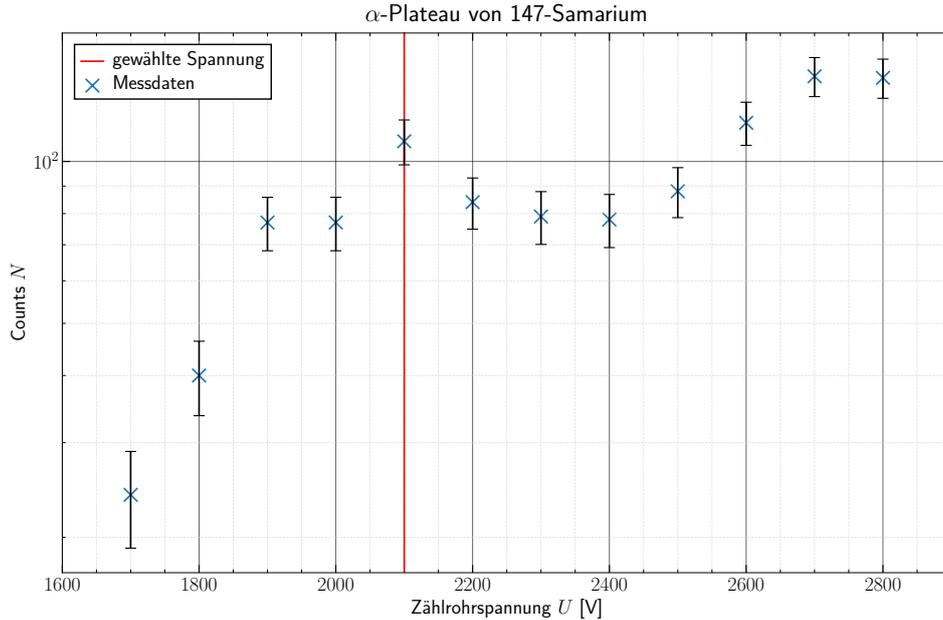


Abbildung 7: Zählrohrkennlinie im Bereich des α -Plateaus bis zum Beginn des β -Plateaus, aufgenommen mit einer Samariumprobe in 100 V-Schritten mit 200 s pro Schritt. Die y -Achse wurde semilogarithmisch geplottet. Die Daten sind nicht vom Untergrund bereinigt. Letztendlich wurden 2100 V für die Samariummessung gewählt (in rot eingezeichnet). Die Unsicherheit auf die Anzahl der Ereignisse wurden mit [Gleichung \(22\)](#) berechnet.

auch diese Daten nicht vom Untergrund bereinigt. Die Unsicherheiten wurde wieder mit [Gleichung \(22\)](#) berechnet.

4.2 Halbwertszeit von 147-Samarium

Um eine möglichst genaue Zählrate von Samarium zu bestimmen, wurde eine Langzeitmessung über $t = 6000$ s bei einer Zählrohrspannung von 2100 V durchgeführt. Diese Werte wurden, wie in [Abschnitt 3](#) erwähnt, so gewählt, dass die relative Unsicherheit auf die Zählrate unter 2% lag. Dabei wurden

$$N_{\text{Sm}} = 3100 \pm 60$$

Ereignisse registriert. Die Unsicherheit berechnet sich dabei aus [Gleichung \(22\)](#). Die Zählrate n_{Sm} kann mit der gewählten Messzeit mit

$$n = \frac{N}{t} \qquad s_n = \frac{s_N}{t} \qquad (23)$$

bestimmt werden. Für Samariumoxid ergibt sich

$$n'_{\text{Sm}} = (0,517 \pm 0,009) \text{ s}^{-1}.$$

Über das Wochenende wurde bei derselben Zählrohrspannung eine Untergrundmessung über 76 500 s durchgeführt, bei der $N_{\text{ug}} = 6200 \pm 80$ Untergrundereignisse gemessen wurden.

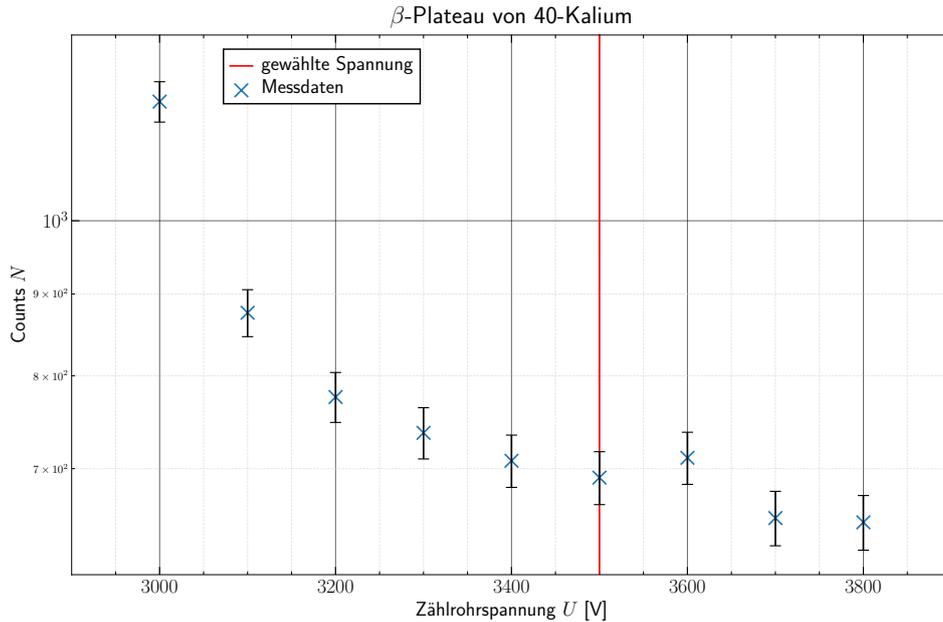


Abbildung 8: Zählrohrkennlinie im Bereich des β -Plateaus, aufgenommen mit einer Kaliumprobe in 100 V-Schritten mit 200 s pro Schritt. Die y -Achse wurde semilogarithmisch geplottet. Die Daten sind nicht vom Untergrund bereinigt. Letztendlich wurden 3500 V für die Kaliummessung gewählt (in rot eingezeichnet). Die Unsicherheit auf die Anzahl der Ereignisse wurden mit [Gleichung \(22\)](#) berechnet.

Mit [Gleichung \(23\)](#) ergibt sich für die Untergrundzählrate analog

$$n_{\text{ug}} = (0,0810 \pm 0,0010) \text{ s}^{-1}.$$

Die vom Untergrund bereinigte Zählrate n ergibt sich aus der gemessenen Zählrate n' und der Untergrundzählrate n_{ug} durch

$$n = n' - n_{\text{ug}}. \quad (24)$$

Die Unsicherheit berechnet sich hierbei mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung durch

$$s_n = \sqrt{(s_{n'})^2 + (s_{n_{\text{ug}}})^2}. \quad (25)$$

Für Samarium ergibt sich damit

$$n_{\text{Sm}} = (0,436 \pm 0,009) \text{ s}^{-1}.$$

Um die Oberfläche der Samariumoxidprobe zu messen, wurde der Durchmesser des Schälchens zehn mal mit einem Messschieber gemessen. Die Messwerte sind in [Tabelle 1](#) in [Anhang A](#) aufgelistet. Aus der Messreihe wurde der Mittelwert

$$\bar{d} = (2,886 \pm 0,007) \text{ cm}.$$

berechnet, die Unsicherheit ergibt sich aus der Standardabweichung des Mittelwerts.

Um die Halbwertszeit auszurechnen, muss noch die relative Molekülmasse von Samariummoxid berechnet werden. Diese ergibt sich aus den Molmassen von Samarium $m_{\text{rel,Sm}} = 150,36 \text{ g mol}^{-1}$ [3] und Sauerstoff $m_{\text{rel,O}} = 15,999 \text{ g mol}^{-1}$ [3] durch

$$m_{\text{rel,Sm}_2\text{O}_3} = 2 \cdot m_{\text{rel,Sm}} + 3 \cdot m_{\text{rel,O}} = 348,71 \text{ g mol}^{-1}. \quad (26)$$

Daraus lässt sich mit [Gleichung \(13\)](#) die Halbwertszeit von Samarium-147 auf

$$T_{1/2,\text{Sm}} = (1,70 \pm 0,04) \cdot 10^{11} \text{ Jahre}$$

berechnen. Die Unsicherheit ergibt sich aus der gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$s_{T_{1/2,\text{Sm}}} = \sqrt{\left(\frac{C \cdot s_F}{n}\right)^2 + \left(\frac{C \cdot F \cdot s_n}{n^2}\right)^2}.$$

4.3 Bestimmung der Halbwertszeit von Kalium

Im zweiten Versuchsteil soll die Halbwertszeit von Kalium-40 bestimmt werden. Hierfür wird die in [Gleichung \(16\)](#) dargestellte Massenabhängigkeit der Zählrate ausgenutzt.

Für 20 verschiedene Massen von Kaliumchlorid im Bereich von 0,2 g bis 2 g wurde bei der zuvor ausgewählten Detektorspannung von 3500 V die Zählrate so lange gemessen, bis die relative Unsicherheit der Messung unter den gewünschten Wert von 2 % fiel. Diese relative Unsicherheit entspricht nach [Abschnitt 3](#) einer Zählrate von 2500 counts. Abermals wurden die Zählraten nach [Gleichung \(24\)](#) von der Untergrundzählrate bereinigt, welche zuvor über einen Zeitraum von 76 500 s gemessen wurde. Die gemessene Anzahl der Untergrundeignisse beträgt $(59\,800 \pm 200)$ counts, was nach [Gleichung \(23\)](#) zu einer Untergrundzählrate von $(0,782 \pm 0,003)$ cps führt.

Die jeweils gemessenen und bereinigten Zählraten, dazugehörigen Messdauern und Massen finden sich in [Tabellen 2](#) und [3](#). In [Abb. 9](#) ist die bereinigte Untergrundzählrate gegen die verwendete Masse des Kaliumchlorids aufgetragen.

Für die blau dargestellten Messwerte lässt sich gut der theoretisch erwartete exponentielle Verlauf erahnen. Allerdings liegen die rot eingefärbten Werte deutlich daneben. Wie bereits in [Abschnitt 3](#) erwähnt, wurden diese Werte mit jeweils unterschiedlichen Schälchen aufgenommen. Da dies schon während der Messung auffiel und daraufhin ein anderes Messverfahren angewandt wurde, indem immer das selbe Schälchen mit unterschiedlichen Massen befüllt wurde, ist bei den rot eingefärbten Messwerten von einem systematischen Fehler auszugehen. Daher werden diese nicht für die Anpassung verwendet.

Durch numerische χ^2 -Minimierung mit `scipy.optimize.curve_fit` wurde an die blau eingefärbten Messwerte gemäß [Gleichung \(16\)](#) eine Anpassung der Form

$$n(m) = a \cdot (1 - e^{-bm}) \quad (27)$$

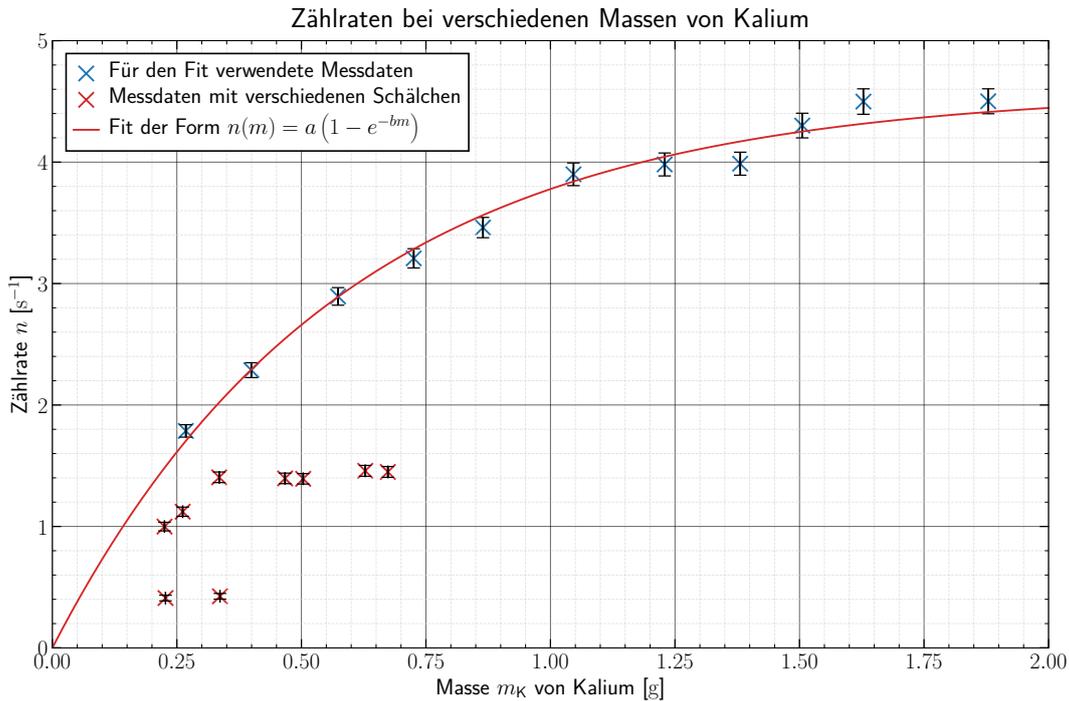


Abbildung 9: Gemessene Zählraten bei verschiedenen Massen von Kaliumchlorid. Die blauen Messwerte wurden mit dem selben Schälchen aufgenommen, das für jede Messung mit verschiedenen Massen von Kaliumchlorid gefüllt wurde. Bei den rot eingefärbten Messwerten wurden verschiedene Schälchen für die Proben verwendet. Bereits während der Durchführung war deutlich zu erkennen, dass diese nicht zum theoretisch erwarteten Verlauf passen. Um diesen systematischen Fehler zu berücksichtigen, wurden diese Messwerte nicht für die exponentielle Anpassung nach Gleichung (27) verwendet. Die Parameter Bestwerte finden sich ebenfalls in Gleichung (27). Trotz sichtbarer Schwankungen um das Modell, hat die Anpassung einen reduzierten χ^2 Wert von $\chi^2_\nu = 1,50$.

durchgeführt. Die Parameter Bestwerte ergeben sich damit zu

$$a = (4,59 \pm 0,07) \text{ s}^{-1} \tag{27a}$$

$$b = (1,73 \pm 0,07) \text{ g}^{-1}. \tag{27b}$$

Die Kovarianzmatrix ist

$$\text{cov} = \begin{pmatrix} s_a^2 & s_{ab} \\ s_{ab} & s_b^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,0054 & -0,0042 \\ -0,0042 & 0,0043 \end{pmatrix}.$$

Die Anpassung hat einen reduzierten χ^2 -Wert von $\chi^2_\nu = 1,50$. Da nach Gleichung (16) von einer Korrelation der beiden Parameter ausgegangen werden kann, wird der Korrelationskoeffizient mit

$$\rho = \frac{s_{ab}}{s_a s_b} \tag{28}$$

berechnet. Daraus ergibt sich

$$\rho = -0,89,$$

was wie erwartet auf eine stark negative Korrelation der Parameter hindeutet.

Um die Halbwertszeit zu berechnen, wird nach [Gleichung \(19\)](#) noch die spezifische Aktivität des β -Zerfalls benötigt. Diese ergibt sich nach [Gleichung \(16\)](#) aus der Steigung der Tangente an die Anpassung im Nullpunkt. Berücksichtigt man die Korrekturen nach [Gleichung \(17\)](#), kann die spezifische Aktivität mit

$$A_S = \frac{2}{f} \left. \frac{\partial n(m)}{\partial m} \right|_{m=0} = \frac{2 \cdot ab}{f} \quad (29)$$

berechnet werden. Die Unsicherheit ergibt sich unter Berücksichtigung der Korrelation der beiden Parameter zu

$$s_{A_S} = \frac{2}{f} \sqrt{(as_b)^2 + (bs_a)^2 + 2ab\varrho} . \quad (30)$$

die spezifische Aktivität kann damit zu

$$A_S = (12,3 \pm 0,3) \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

berechnet werden.

Zuletzt wird noch die Anzahl der Kalium-40 Kerne im Kaliumchlorid benötigt. Für eine gegebene Masse m von Kaliumchlorid ergibt sich diese aus der Anzahl der Moleküle und der relativen Häufigkeit $h_{\text{rel}} = 0,0117\%$ [2] der Kalium-40 Kerne in natürlichem Kalium. Die Anzahl der Moleküle kann mit Hilfe der Avogadro-Konstante N_A und der molaren Masse von Kaliumchlorid bestimmt werden. Es ergibt sich

$$N = m \cdot \frac{N_A}{m_{\text{rel,KCl}}} h_{\text{rel}} = m \cdot \frac{N_A}{m_{\text{rel,K}} + m_{\text{rel,Cl}}} h_{\text{rel}} . \quad (31)$$

Hierbei sind $m_{\text{rel,K}} = 39,0983 \text{ g mol}^{-1}$ [3] und $m_{\text{rel,Cl}} = 35,45 \text{ g mol}^{-1}$ [3] die molaren Masse von Kalium und Chlor. Da mit der Aktivität pro Gramm gerechnet wird, ist im Folgenden $m = 1 \text{ g}$.

Nach [Gleichung \(19\)](#) kann nun die Halbwertszeit durch

$$T_{1/2} = \frac{\log(2)}{1.12} \frac{N_A h_{\text{rel}}}{A_S (m_{\text{rel,K}} + m_{\text{rel,Cl}})} \quad (32)$$

berechnet werden. Die Unsicherheit ergibt sich nach Gauß'scher Fehlerfortpflanzung zu

$$s_{T_{1/2}} = \frac{\log(2)}{1.12} \frac{N_A h_{\text{rel}}}{(m_{\text{rel,K}} + m_{\text{rel,Cl}})} \frac{s_{A_S}}{A_S^2} . \quad (33)$$

Somit kann die Halbwertszeit von ^{40}K zu

$$T_{1/2} = (1,50 \pm 0,04) \cdot 10^9 \text{ Jahre}$$

angegeben werden.

5 Diskussion der Ergebnisse

Die Halbwertszeit von Samarium-147 wurde in diesem Versuch auf

$$T_{\text{Sm,mess}} = (1,70 \pm 0,04) \cdot 10^{11} \text{ Jahre} \qquad \frac{s_{T_{\text{Sm,mess}}}}{T_{\text{Sm,mess}}} = 2,2 \%$$

bestimmt. Der Literaturwert $T_{\text{Sm,lit}} = 1,06 \cdot 10^{11}$ Jahre ist 17 Standardabweichungen vom berechneten Wert entfernt. Damit sind beide Werte nicht gut miteinander verträglich.

Die Halbwertszeit von Kalium-40 wurde auf

$$T_{\text{K,mess}} = (1,50 \pm 0,04) \cdot 10^9 \text{ Jahre} \qquad \frac{s_{T_{\text{K,mess}}}}{T_{\text{K,mess}}} = 2,5 \%$$

berechnet. Der Literaturwert $T_{\text{K,lit}} = 1,28 \cdot 10^9$ Jahre liegt innerhalb von 6 Standardabweichungen vom berechneten Wert. Damit sind auch diese Werte nicht sehr gut miteinander verträglich.

Für die Abweichungen von den Literaturwerten kann es einige Gründe geben. So war es z.B. nicht möglich, die Reinheit von Samarium zu überprüfen. Diese war zwar auf der Flasche mit über 99 % angegeben, da das Samariumpulver allerdings zuvor von vielen Gruppen verwendet und wieder zurück gefüllt worden war, kann es durchaus Verunreinigungen gegeben haben, die die Messung verfälscht haben könnte.

Eine weitere Ursache für die Abweichung sind vermutlich die Schälchen, in denen die Proben vermessen wurden. Die Annahme, dass die verschiedenen Schälchen als gleichwertig angesehen werden können, konnte in diesem Versuch nicht bestätigt werden. Bei der Massenabhängigkeitsmessung der Zählrate von Kalium wurde eine Messreihe mit verschiedenen Schälchen durchgeführt, bei der die Messwerte starke Abweichungen vom theoretisch erwarteten Verlauf aufwiesen. Als die Messreihe später wiederholt wurde, diesmal durch Be- und Entfüllen eines einzigen Schälchens, folgten die Messwerte der erwarteten Verteilung. Da allerdings somit die Schälchen eindeutig einen Einfluss auf die Messung haben, ist es ebenso möglich, dass das Schälchen, in dem letztendlich gemessen wurde, ebenfalls die Messung verfälscht hat. Dies könnte zu den beobachteten Abweichungen vom Literaturwert führen.

Auch wird für die Selbstabsorption gemäß [Gleichungen \(15\)](#) und [\(16\)](#) die Annahme getroffen, dass die Schichtdicke des Kaliums im Schälchen direkt aus der Masse berechnet werden kann. Dies ist nur der Fall für eine perfekte, dicht gepackte zylindrische Anordnung des Kaliums. Davon kann insbesondere bei geringen Massen von Kalium nicht mehr ausgegangen werden, da dieses den Boden des Schälchens nur noch knapp bedeckte. Diese Näherung kann deutlich zur Abweichung der Halbwertszeit vom Literaturwert beitragen.

Der jedoch vermutlich größte Störfaktor in der Bestimmung der Halbwertszeiten war das Proportionalitätszählrohr selbst. Nach ursprünglicher Einstellung, bei der wie in [Abschnitt 3](#) beschrieben das Signal-Rausch-Verhältnis optimiert wurde, wurde die Messung durchgeführt. Als allerdings die Messung der Untergrundzählrate begonnen werden sollte,

wurden bei höheren Spannungen (3500 V) plötzlich sehr hohe Zählraten, die über die Zählraten vorheriger Messungen mit Probe bei gleicher Spannung hinausgingen, registriert. Um ein sinnvolles Signal zu bekommen, musste die gesamte Apparatur komplett abgeschaltet und neu justiert werden. Nach einiger Zeit ließ das Rauschen auch nach, und der Aufbau wurde in den selben Einstellungen wie zuvor wieder in Betrieb genommen. Es konnte allerdings kein Fehler am Aufbau festgestellt und somit nicht behoben werden. Damit ist auch nicht auszuschließen, dass die aufgenommenen Messwerte dadurch verfälscht wurden. Das seltsame Verhalten der Zählröhre lässt sich auch in den Aufnahmen der Kennlinien beobachten. In der Kennlinie von Uran in [Abb. 6](#) ist auffällig, dass die Zählrate bei 3800 V und 3900 V plötzlich stark absinkt. Bei der Kaliumkennlinie in [Abb. 8](#) ist das Gegenteil zu beobachten. Bei einer Spannung von 3900 V ist plötzlich ein sehr hoher Wert gemessen worden. Da bei den Kennlinien kein Untergrund aufgenommen wurde, lässt es sich hier nicht ausschließen, dass die beobachteten Schwankungen vom Untergrund stammen. Allerdings sind sie so auffällig, dass die Ursache höchstwahrscheinlich eine fehlerhafte Messung des Proportionalitätszählrohrs ist.

Außerdem konnte am Oszilloskop beobachtet werden, dass das vom unipolaren Ausgang des Hauptverstärkers stammende Signal eine bipolare Form hatte. Dies deutet auf einen weiteren Fehler am Zählrohr oder der Elektronik hin. Da bei diesem Versuch allerdings die Energie der Strahlung nicht von Interesse ist, ist davon auszugehen, dass dies die Messung höchstens marginal verfälscht hat.

A Anhang

Abbildungsverzeichnis

1	Zerfallsschema für Samarium-147	4
2	Zerfallsschema für Kalium-40	5
3	Skizze der Selbstabsorption Samarium	6
4	Skizze der Selbstabsorption Kalium	7
5	Anzeige des Oszilloskops	10
6	Zählrohrkennlinie Uran	13
7	α -Plateau von Samarium	14
8	β -Plateau von Kalium	15
9	Zählraten bei verschiedenen Massen von Kaliumchlorid	17
10	Anzeige des Oszilloskops bei falschem Signal	22

Tabellenverzeichnis

1	Messreihe Samariumoxidschälchendurchmesser	22
2	Massen und Zählraten von Kalium	23
3	Massen und Zählraten von Kalium (mit verschiedenen Schälchen)	23

Literaturverzeichnis

- [1] T. Fließbach. *Alphazerfall und Kernstruktur*. Physik in unserer Zeit, Verlag Chemie GmbH, D-6940 Weinheim, 1977, 23. Sep. 2022.
- [2] Tobias Kotyk. *Versuche zur Radioaktivität im Physikalischen Fortgeschrittenen Praktikum an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg*. Fakultät für Mathematik und Physik, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau, 11.2005, 23. Sep. 2022.
- [3] *Standard Atomic Weights*. CIAAW Commission on Isotopic Abundances und Atomic Weights, 27. Sep. 2022. URL: <https://www.ciaaw.org/atomic-weights.htm>.

Anzeige des Oszilloskops bei falschem Signal

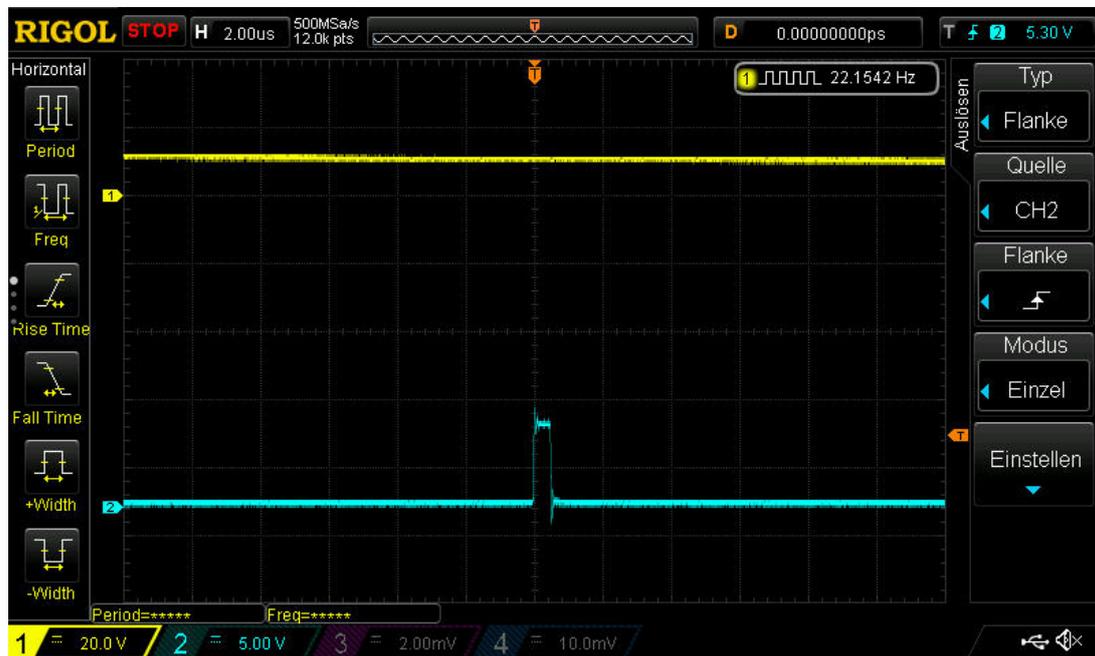


Abbildung 10: Anzeige des Oszilloskops bei einer Fehlmessung durch falsch eingestellte Grenzen des Timing SCA. In gelb ist das Signal des unipolaren Outputs des Hauptverstärkers dargestellt, in blau das positive Output Signal des Timing Single Channel Analyzers. Dass kein Signal am MA gemessen wurde bedeutet, dass kein Zerfall stattfand. Der Timing SCA wurde aufgrund von falschen Einstellungen des Lower Level kleiner als 2 getriggert. Hierbei wurde vermutlich aufgrund von Rauschen ein Signal gezählt, das keinem tatsächlichen Zerfall entspricht.

A.1 Tabellen

Messreihe Samariumoxidschälchendurchmesser

d [cm]
$2,890 \pm 0,005$
$2,880 \pm 0,005$
$2,890 \pm 0,005$
$2,880 \pm 0,005$
$2,900 \pm 0,005$
$2,880 \pm 0,005$
$2,890 \pm 0,005$
$2,880 \pm 0,005$
$2,890 \pm 0,005$
$2,880 \pm 0,005$

Tabelle 1: Messreihe für den Durchmesser des Samariumoxidschälchens

Massen und Zählraten von Kalium

m [g]	t [s]	N [counts]	n' [cps]	n [cps]
$1,878\,90 \pm 0,000\,14$	501,6	2650 ± 50	$5,28 \pm 0,10$	$4,50 \pm 0,10$
$1,628\,30 \pm 0,000\,14$	478,36	2530 ± 50	$5,28 \pm 0,11$	$4,50 \pm 0,11$
$1,505\,50 \pm 0,000\,14$	493,81	2510 ± 50	$5,08 \pm 0,10$	$4,30 \pm 0,10$
$1,380\,90 \pm 0,000\,14$	531,97	2540 ± 50	$4,77 \pm 0,09$	$3,99 \pm 0,09$
$1,229\,20 \pm 0,000\,14$	535,19	2550 ± 50	$4,76 \pm 0,09$	$3,98 \pm 0,09$
$1,046\,20 \pm 0,000\,14$	538,69	2520 ± 50	$4,68 \pm 0,09$	$3,90 \pm 0,09$
$0,864\,50 \pm 0,000\,14$	607,58	2580 ± 50	$4,24 \pm 0,08$	$3,46 \pm 0,08$
$0,725\,50 \pm 0,000\,14$	638,38	2550 ± 50	$3,99 \pm 0,08$	$3,21 \pm 0,08$
$0,573\,60 \pm 0,000\,14$	703,47	2590 ± 50	$3,68 \pm 0,07$	$2,89 \pm 0,07$
$0,399\,50 \pm 0,000\,14$	825,38	2530 ± 50	$3,07 \pm 0,06$	$2,29 \pm 0,06$
$0,268\,00 \pm 0,000\,14$	976,78	2510 ± 50	$2,57 \pm 0,05$	$1,79 \pm 0,05$

Tabelle 2: Zählraten von Kalium, die für die Bestimmung der Halbwertszeit verwendet wurden. Die Masse m des Kaliums wurde mit einer Feinwaage abgewogen. Dabei wurde immer das selbe Schälchen verwendet und mit verschiedene Massen gefüllt. Die Messung wurde über den Zeitraum t durchgeführt um eine relative Unsicherheit der Ereigniszahl N von unter 2% zu erhalten. Die Zählrate n' kann nach [Gleichung \(23\)](#) berechnet werden, die um die Untergrundereignisse bereinigte Zählrate nach [Gleichung \(24\)](#).

Massen und Zählraten von Kalium (mit verschiedenen Schälchen)

m [g]	t [s]	N [counts]	n' [cps]	n [cps]
$0,673\,60 \pm 0,000\,14$	1133,25	2530 ± 50	$2,23 \pm 0,04$	$1,45 \pm 0,04$
$0,628\,20 \pm 0,000\,14$	1134,0	2540 ± 50	$2,24 \pm 0,04$	$1,46 \pm 0,04$
$0,503\,60 \pm 0,000\,14$	1161,83	2530 ± 50	$2,17 \pm 0,04$	$1,39 \pm 0,04$
$0,467\,20 \pm 0,000\,14$	1161,89	2530 ± 50	$2,18 \pm 0,04$	$1,40 \pm 0,04$
$0,336\,50 \pm 0,000\,14$	2176,08	2630 ± 50	$1,21 \pm 0,02$	$0,42 \pm 0,02$
$0,335\,00 \pm 0,000\,14$	1154,36	2520 ± 50	$2,19 \pm 0,04$	$1,40 \pm 0,04$
$0,261\,70 \pm 0,000\,14$	1335,56	2540 ± 50	$1,90 \pm 0,04$	$1,12 \pm 0,04$
$0,227\,20 \pm 0,000\,14$	2181,98	2600 ± 50	$1,19 \pm 0,02$	$0,41 \pm 0,02$
$0,225\,20 \pm 0,000\,14$	1430,92	2550 ± 50	$1,78 \pm 0,04$	$1,00 \pm 0,04$

Tabelle 3: Zählraten von Kalium, bei denen verschiedene Schälchen für die unterschiedlichen Massen verwendet wurden. Aufgrund einer auftretenden systematischen Unsicherheit wurden diese Werte nicht für die Bestimmung der Halbwertszeit verwendet. Die Masse m des Kaliums wurde mit einer Feinwaage abgewogen. Die Messung wurde über den Zeitraum t durchgeführt, um eine relative Unsicherheit der Ereigniszahl N von unter 2% zu erhalten. Die Zählrate n' kann nach [Gleichung \(23\)](#) berechnet werden, die um die Untergrundereignisse bereinigte Zählrate nach [Gleichung \(24\)](#).

A.2 Messprotokoll

LHWZ:

Output Preamp \rightarrow Input MCA

\rightarrow Unipolar Output MCA \rightarrow Input Timing SCA

\rightarrow Output Timing SCA positive \rightarrow BNC \rightarrow Computer

Oszi: Channel 1: Unipolar Output MCA } QP 1
 Channel 2: positive Output Timing SCA } QP 2

Channel 1: Bipolar Output MCA

Channel 2: positive Output Timing SCA

\rightarrow QP 3, QP 4, QP 5, QP 6 (wollen wir vermeiden)

MCA: Gain (0,5 - 1,5) set to 5
 Coarse Gain 1000
 shaping time 5 μ s

Timing SCA: Upper level 5
 lower level 2
 delay 0

upper level to highest setting (5), for every lower setting, a lot of signals from the MCA didn't trigger the TSCA

lower level to 2, for every higher setting again a lot of signals didn't trigger, for every lower setting, a lot of triggers without signals were measured.

delay: no real difference

MCA settings were not changed, as a clear signal was visible

Schälchen ohne Sm	mit Sm	Schälchen ohne K	Schälchen mit K
1,3240g	3,8393g	1,3240g	3,8393g 3,2705g

Diameter of the small pan: (10 measurements)

- | | |
|------------|-------------|
| 1) 2,89 mm | 7) 2,89 mm |
| 2) 2,88 mm | 8) 2,88 mm |
| 3) 2,89 mm | 9) 2,89 mm |
| 4) 2,88 mm | 10) 2,88 mm |
| 5) 2,90 mm | |
| 6) 2,88 mm | |

Voltage of maximum counts: 1) Sm: 2100 V
2) K: 3500 V

A. 

LHWZ

	V _{min} [V]	V _{end} [V]	V _{step} [V]	t _{min} [s]	w _{it} [s]
U _{min} =	1000	3500	100	50 ₀	20 ₀
S _{min} =	1700	2800	100	200	20
K :	3000	3900	100	100	20
S _{min} =	2100	2100	-	6000	20
Untergrund =	2100	3500	700	76500	60

Masse leer [g]	Masse voll [g]	Messdauer [s]	Count
1,2879	3,1668	501,6	2650
4,0774	4,7510	1133,25	2529
4,3020	4,3056	1161,83	2526
4,4956	4,8306	1154,36	2524
4,7152	4,9769	1335,56	2542
4,3967	4,4639	1161,89	2530
4,1978	4,8260	1134,00	2540
4,8093	5,0345	1430,42	2548
1,3240	2,9523	478,36	2526
4,9127	5,1029	2176,08	2626
5,0220	5,2492	2181,98	2602
1,3240	2,5532	535,19	2549
1,3240	2,3702	538,69	2522
1,3240	2,1385	607,58	2578
1,3240	1,8975	703,47	2586
1,3240	1,7235	825,38	2533
1,3240	1,5920	976,78	2509
1,3240	2,0495	636,88	2547
1,3240	2,7049	531,97	2537
1,3240	2,8295	493,81	2510

A. Spindel