

V702 Aktivierung mit Neutronen

Connor Magnus Böckmann

email: connormagnus.boeckmann@tu-dortmund.de

Tim Theissel

email: tim.theissel@tu-dortmund.de

9. Februar 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theoretische Grundlagen	3
2.1	Kernreaktionen mit Neutronen	3
2.2	Erzeugung niederenergetischer Neutronen	5
2.3	Untersuchung des Zerfalls instabiler Isotope	6
2.3.1	Rhodium	7
3	Durchfuehrung	7
3.1	Messapparatur	7
3.2	Nulleffekt	8
3.3	Bestimmung der Halbwertszeit bei Vanadium	8
3.4	Bestimmung der Halbwertszeit bei Rhodium	8
4	Auswertung	8
4.1	Anmerkung zur Fehlerrechnung	8
4.2	Bestimmung des Untergrundes	8
4.3	Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium	8
4.4	Halbwertszeit von Rhodium	10
5	Diskussion	12
5.1	Vanadium	12
5.2	Rhodium	13
6	Literatur	13
7	Tabellen	14

1 Zielsetzung

Der folgende Versuch dient der experimentellen Bestimmung der Halbwertszeiten und Zerfallskurven von verschiedenen radioaktiven Isotopen und Isotopengemische mit Hilfe von Neutronenstrahlung.

2 Theoretische Grundlagen

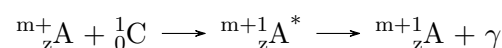
Die Stabilität, des aus Protonen und Neutronen bestehenden Kerns eines Atoms, hängt von dem Verhältnis zwischen Neutronen und Protonen ab. Sollte bei einem Kern das Verhältnis ausserhalb des Stabilitätsbereichs liegen, wandelt sich der Kern mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit in einen stabilen oder in einen instabilen Kern um. Dieser instabile Kern zerfällt dann weiter. Die Zerfallswahrscheinlichkeit wird durch die Halbwertszeit T ausgedrückt. Diese Halbwertszeit ist der Zeitraum, in dem von einer grossen Anzahl an Kernen gerade die Hälfte zerfallen ist. Dieses Zeitintervall kann dabei sehr unterschiedliche Längen annehmen. Die Variation erstreckt sich dabei über 23 Zehnerpotenzen. Kernphysikalisch ist T eine bedeutsame Grösse, weshalb es entscheidend ist, diese zu bestimmen. Dafür gibt es verschiedene Methoden.

Die im Folgenden benutzte Methode ermöglicht eine Bestimmung im Bereich von Sekunden bis Stunden. Um eine akkurate Messung zu ermöglichen, müssen die Nuklide direkt vor der Messung hergestellt werden, um die Messung nicht zu verfälschen. Eine einfache und verlässliche Methode dafür stellt der Beschuss von stabilen Kernen mit Neutronen dar. Vorteil dieser Methode ist die fehlende elektrische Ladung der Neutronen, weshalb sie nicht die Coulomb-Barriere überwinden müssen.

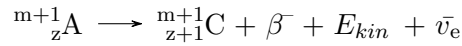
Auf die Wechselwirkung von Neutronen mit Kernen, die Erzeugung freier Neutronen, sowie das Messverfahren zur Bestimmung der Halbwertszeit samt geeignetem Messaufbau soll in den folgenden Abschnitten tiefer eingegangen werden.

2.1 Kernreaktionen mit Neutronen

Als Kernreaktionen werden alle Wechselwirkungen von Teilchen mit Atomkernen bezeichnet. Speziell die Reaktion von Neutronen mit dem Kern sind hier von Interesse für den Versuch. Absorbiert der Ursprungskern A ein Neutron bildet sich ein so genannter Compoundkern A^* . Energetisch liegt dieser um die kinetische Energie und die Bindungsenergie des Neutron höher als A . Dabei wird die hinzugekommene Energie gleichmässig auf die Nukleonen verteilt. Dies rührt von den starken Wechselwirkungen des neuen Neutron mit dem Kern her. Die Nukleonen werden dadurch in höhere Energiezustände versetzt. Es wird von einer so genannten Aufheizung von A^* gesprochen. Häufig ist der Kern dabei nicht in der Lage ein Nukleonen abzustossen, wenn die kinetische Energie des eintreffenden Neutronen nur gering war. Es läuft eine Reaktion ab, bei der der Kern nach etwa $10^{-16}s$ unter Emission eines γ -Quants zurück in den Grundzustand fällt. Die Reaktion läuft dabei folgendermassen ab:



Die Massenzahl wird dabei durch m ausgedrueckt. Der nun entstandene Kern ${}^{m+1}_{z}\text{A}^*$ ist meistens nicht stabil, da dieser nun mehr Neutronen als ein normaler, stabiler Kern enthaelt. Dieser ist verhaeltnismaessig langlebig im Vergleich mit dem Zwischenkern, auf Grund des Energieverlustes ueber den γ -Quant. Der Kern wird nun in einen stabilen Kern umgewandelt. Die Emission eines Elektronen, welche dafuer benoetigt wird, erfolgt folgendermassen:



$\bar{\nu}_e$ stellt dabei ein Antineutrino dar. Die Summe der einzelnen Massen der Teilchen ist dabei geringfuegig kleiner, als die Masse des Kerns ${}^{m+1}_{z}\text{A}$. Der so genannte Massendefekt wird entsprechend der Einsteinschen Beziehung $\Delta E = \Delta mc^2$ in kinetische Energie und Antineutrino umgewandelt.

Entscheidend fuer die Wahrscheinlichkeit des Einfangens eines Neutrons ist der Wirkungsquerschnitt σ . Es ist die Flaeche, welche der Kern haben muesste, damit jedes auftreffende Neutron eingefangen wuerde. Wenn ein 1cm^2 -Stueck Folie mit der Dicke d und K Atomen pro cm^3 von n Neutronen pro Sekunde getroffen wird, wobei u Einfange geschehen, wird σ gegeben durch

$$\sigma = \frac{u}{nKd}$$

gegeben. Der Wirkungsquerschnitt hat die Einheit $10^{-24}\text{cm}^2 =: 1\text{barn}$. Der Neutroneneinfang und damit der Wirkungsquerschnitt ist stark abhaengig von der Geschwindigkeit der Neutronen. Daher unterscheidet man schnelle und langsame Neutronen mit dem Kriterium der De-Broglie-Wellenlaenge λ . Ein Neutron der Geschwindigkeit v hat eine Wellenlaenge nach De Broglie von

$$\lambda = \frac{h}{m_n v}$$

mit dem plankschen Wirkungsquantum h und der Neutronenmasse m_n . Ist v so gross, dass die Wellenlaenge verglichen mit dem Kernradius klein ist ($\approx 10^{-12}\text{cm}$), lassen sich geometrische Ueberlegungen nutzen, um die Wechselwirkungen des Kerns mit den Neutronen zu beschreiben. Analog geometrisch dazu laesst sich in der Optik Lichtstreuung an einem Objekt beschreiben, welches gross verglichen mit der Wellenlaenge ist. Diese Ueberlegungen sind bei langsamen Neutronen aber nutzlos auf Grund von Interferenzeffekten. Der Wirkungsquerschnitt kann um mehrere Zehnerpotenzen groesser sein als der geometrische Querschnitt. Resonanzabsorption tritt auf, wenn ein Neutron genau die Energie hat wie die Differenz zweier Energieniveaus des Compoundkerns. Dieser kann etwa als ein System harmonischer Oszillatoren mit diskreten Energieeigenwerten aufgefasst werden. Der Wirkungsquerschnitt kann als Funktion der Neutronenenergie beschrieben werden:

$$\sigma = \sigma_0 \sqrt{\frac{E_{r_i}}{E}} \frac{\tilde{c}}{(E - E_{r_i})^2 + \tilde{c}}$$

\tilde{c} und c_0 sind die charakteristischen Konstanten der Kernreaktion. E_{r_i} sind die unterschiedlichen Energieniveaus des Compoundkerns. $\sigma(E)$ hat immer dann ein Maximum, wenn die Energie, die einfaellt, gleich der Hoehe eines der Energieniveaus ist. Fuer den

Fall, dass $E \ll E_r$ ist, lässt sich $(E - E_r)^2$ als quasi konstant annehmen. Daraus folgt:

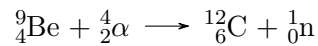
$$\sigma \approx \frac{1}{\sqrt{E}} \approx \frac{1}{v}$$

Der Einfangquerschnitt ist also umgekehrt proportional zur Neutronengeschwindigkeit. Das heisst, dass die Wahrscheinlichkeit fuer das Einfangen steigt je langsamer die Neutronen sind.

2.2 Erzeugung niederenergetischer Neutronen

Es werden also niederenergetische Neutronen benoetigt. Im Folgenden soll erklart werden, wie diese erreicht werden.

Die Neutronen werden in diesem Versuch durch Kernreaktionen erzeugt, da Neutronen in der Natur nicht als freies Teilchen vorkommen. Hier werden die Neutronen beim Beschuss von ${}^9\text{Be}$ mit α -Teilchen freigesetzt.



Die noetigen α -Teilchen stammen aus dem Zerfall von ${}^{226}\text{Ra}$ -Kernen. Sie haben ein kontinuierliches Energiespektrum bis zu 13,7 MeV. Abgebremst werden sie durch das Diffundieren durch dickere Materialsichten aus Atomen mit leichten Kernen. Durch elastische Stoesse wird dabei Energie an die leichten Kerne abgegeben. Je aehnlicher die Massen der stossenden Massen, desto besser ist der Bremseffekt. Dadurch ergibt sich Wasserstoff als geeignetster Stosspartner fuer die Neutronen.

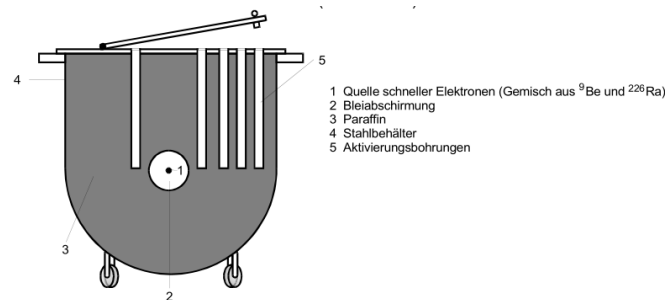
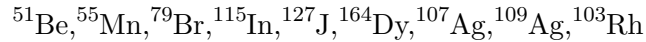


Abbildung 1: Querschnitt durch die verwendete Quelle fuer Neutronen
 Aus: Anleitung V702 Seite 213

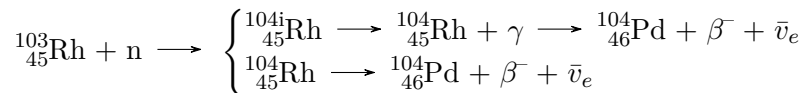
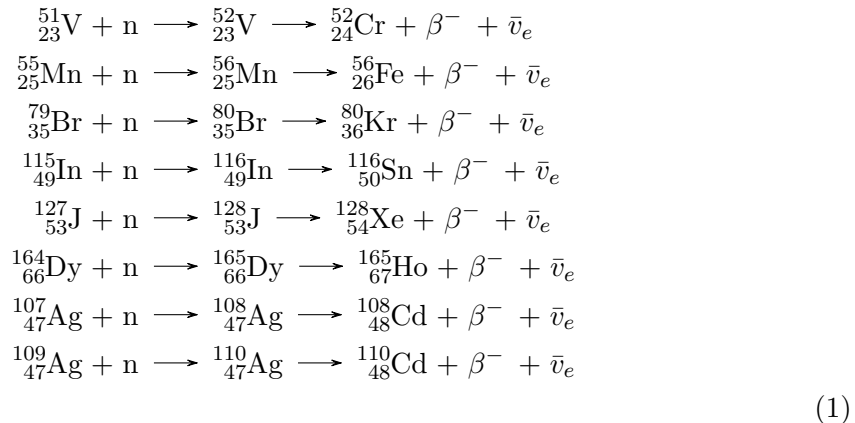
Aus diesem Grund wird die Neutronenquelle mit einem Mantel aus Paraffin umgeben, wie in 1 zu sehen ist. Durch die Stoesse mit den Kernen des Paraffins werden die Neutronen schliesslich auf eine Ernergie gebracht, die den Molekuelen ihrer Umgebung entspricht. Dies entspricht etwa 0,025 eV bei 290 K. Die Neutronengeschwindigkeit entspricht dabei 2,2 km/s. Diese Neutronen nennen sich thermische Neutronen.

2.3 Untersuchung des Zerfalls instabiler Isotope

Durch Neutronenstrahlung koennen folgende stabile Isotope in instabile verwandelt werden:



Um diesen Prozess durchzufuehren, werden Proben dieser Isotope in die Schaechte der Neutronenquelle (1) gesteckt. Durch β^- -Zerfall werden die erzeugten instabilen Isotope wieder zu stabilen Isotopen. Die Halbwertszeiten erstrecken sich dabei von Sekunden bis Stunden. Die Prozesse laufen folgendermassen ab:



Aufgabe des hier durchzufuehrenden Experiments soll sein, die Halbwertszeiten der obigen Isotope zu bestimmen. Dazu muss der radioaktive Zerfall und seine Gesetzmaessigkeiten bekannt sein.

Die Zahl $N(t)$ der nicht zerfallenen Kerne zum Zeitpunkt t gegeben wird durch:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Die Zahl N_0 gibt die zum Zeitpunkt $t = 0$ nicht zerfallenen Kerne an. λ ist die so genannte Zerfallskonstante. Sie stellt ein Mass fuer die Wahrscheinlichkeit eines Zerfalls vor und ist daher aeusserst wichtig, da sie somit in direktem Zusammenhang mit der Halbwertszeit T steht.

$$\frac{1}{2} N_0 = N_0 e^{-\lambda T}$$

Daraus folgt schliesslich:

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

Der hier verwendete Weg zur ermittelnden Halbwertszeiten geht ueber die Messung der pro festem Zeitintervall Δt zerfallenen Kerne $N_{\Delta t}(t)$ in Abhaengigkeit von der Zeit. $N_{\Delta t}(t)$ haengt dabei von der Zeit in exponentieller Beziehung ab. Der Definition entsprechend ist

$$N_{\Delta t}(t) = N(t) - N(t + \Delta t) \quad (3)$$

Es folgt also aus 2 fuer $N_{\Delta t}(t)$:

$$N_{\Delta t}(t) = N_0 e^{-\lambda t} - N_0 e^{-\lambda(t+\Delta t)} = N_0(1 - e^{-\lambda\Delta t})e^{-\lambda t}$$

$$\ln(N_{\Delta t}(t)) = \ln N_0(1 - e^{-\lambda\Delta t}) - \lambda t$$

Dies ist nun ueber eine Ausgleichsgerade bestimmbar, da $\ln(N_0(1 - e^{-\lambda\Delta t}))$ konstant ist. Schwierigkeit ist dabei ein geeignetes Δt zu waehlen, da zu kleine Δt zu statistischen Fehlern und zu grosse Δt zu systematischen Fehlern fuehren.

2.3.1 Rhodium

Rhodium kommt nach der Aktivierung sowohl in der Form von ^{104}Rh (90%), sowie $^{104\text{i}}\text{Rh}$ (10%) vor. Zweiteres geht nach der Emission eines γ -Quants ebenfalls in ersteres Isotop ueber. Auch hier besteht also das Problem, dass zwei verschiedene Prozesse zur gleichen Zeit ablaufen. Um diese zu trennen wird nun die γ -Strahlung detektiert und somit kann in die beiden verschiedenen Zerfaelle aufgetrennt werden. Nun kann in langlebige und kurzlebige Isotope unterschieden werden.

3 Durchfuehrung

3.1 Messapparatur

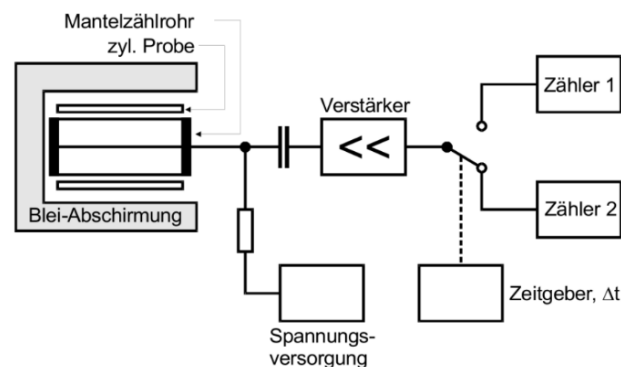


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der Messapparatur
Aus: Anleitung V702 Seite 217

Die oben beschriebenen Messungen werden mit der Apparatur in 2 durchgefuehrt. Ein Geiger-Mueller-Zaehlrohr wird genutzt, um einen konstanten Teil der ausgestrahlten β - und γ -Strahlung zu detektieren. Eine Abschirmung aus Blei soll dabei den Nulleffekt reduzieren. Die Impulse werden verstaerkt und abwechselnd an die Zaehler 1 und 2 geleitet und dort gezaehlt. der Zeitgeber uebernimmt dabei den Wechsel zwischen den Zaehlern und definiert so das Zeitintervall Δt .

3.2 Nulleffekt

Natuerliche Radioaktivitaet und Hoehenstrahlung sorgen am Zaehlrohr fuer Ausschlaege, auch wenn sich keine Probe in der Apparatur befindet. Diese Impulse beeintraehtigen die Messung und muessen daher moeglichst genau bestimmt werden. Dazu wird mit einem Messintervall von $t=300s$ sieben mal die Hintergrundstrahlung gemessen. Diese werden dann aus weiteren Messungen herausgerechnet.

3.3 Bestimmung der Halbwertszeit bei Vanadium

Als Beispiel fuer einfachen Zerfall dient in diesem Versuch Vanadium, welches in aktivierter Form in das Zaehlrohr gesteckt wird. Als Messintervalle wird $\Delta t=30s$ festgelegt.

3.4 Bestimmung der Halbwertszeit bei Rhodium

Eine Halbwertszeitbestimmung eines Isotopengemischs wird am Beispiel von Rhodium durchgefuehrt. Die Messung erfolgt wie bei Vanadium, jedoch wird das Messintervall auf $\Delta t=15s$ verringert.

4 Auswertung

4.1 Anmerkung zur Fehlerrechnung

Die Fehlerrechnungen in dieser Auswertung werden mit pythons 'ufloats' durchgefuehrt. Diese beziehen direkt den Fehler der eingesetzten Wert mit ein und berechnet den Gauß-Fehler. Die Gaußsche Fehlerfunktion sieht folgendermaßen aus:

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 (\Delta x)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 (\Delta y)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 (\Delta z)^2}$$

4.2 Bestimmung des Untergrundes

Zur Bestimmung des Untergrundes wurden 7 Messungen durchgefuehrt. Für die Messungen wurde das Zählrohr eingeschaltet ohne eine Probe auf das Zählrohr zu stecken. Die Messungen liefen jeweils 300s.

Die enstanden Werte dieser Messungen sind in Tabelle 1 zu finden.

Aus diesen Werten wird nun ein arithmetischer Mittelwert berechent. Dieser wird dann noch auf ein Zeitintervall von 30s/15s skaliert, damit diese Mittelwerte in den Folgenden Aufgaben ohne weitere Anpassung verwendet werden können.

Es ergibt sich eine Untergrundrate von $13.9 \approx 14$ [Imp/30s] bzw. $6.95 \approx 7$ [Imp/15s]

4.3 Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium

In diesem Teil wurde die aktivierte Vanadiumprobe umgehend auf das Geiger-Müller-Zählrohr gesteckt und es wurden die Impulse in einem Zeitintervall von 30s abgelesen.

Diese Messdaten sind in Tabelle 2 zu finden. Von diesen Werten wird der im letzten Teil berechnete Mittelwert abgezogen. Anschließend werden die entstehenden Werte mit Fehler in einen halblogarithmischen Diagramm dargestellt.

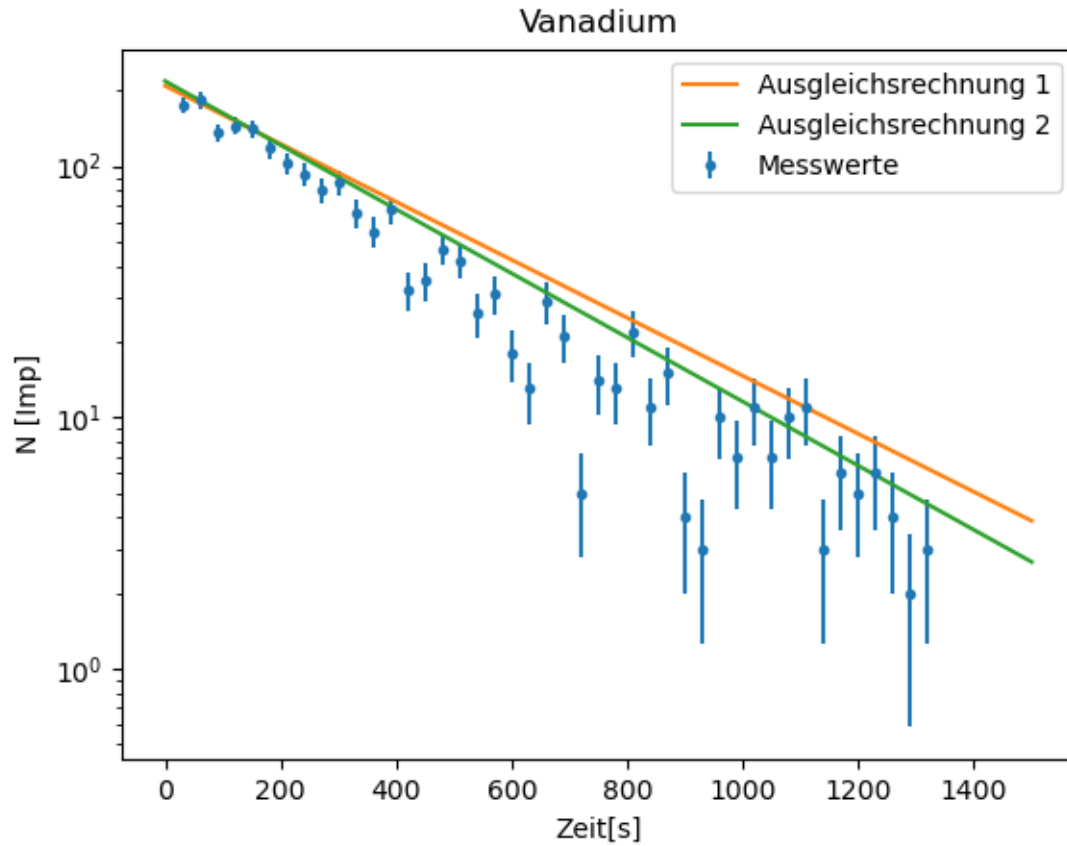


Abbildung 3: Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium

Als Ausgleichsfunktion wurde das Zerfallsgesetz verwendet. Dieses wurde für die Bestimmung der Halbwertszeit dann noch umgestellt.

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

$$\frac{1}{2}N_0 = N_0 * e^{-\lambda T}$$

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

Für die erste Ausgleichsrechnung wurden alle gemessenen Werte verwendet. Mit der

Python-Funktion "scipy.optimize curve fit" ergibt sich:

$$\begin{aligned}N_0 &= 208.761825 \pm 6.069003 \text{ [Imp]} \\ \lambda &= 0.002657 \pm 0.000106 \text{ [1/s]}\end{aligned}$$

Daraus lässt sich die Halbwertszeit berechnen zu:

$$T_1 = (261 \pm 10)s$$

Diese Rechnung wurde, wie auch alle weiteren Rechnungen, in python mit 'ufloats' durchgeführt. Diese beziehen den Fehler der Werte, welche in die Formel eingesetzt werden, direkt mit ein und der dazugehörige Gauß-Fehler wird automatisch berechnet. Bei der zweiten Ausgleichsrechnung werden nun nur die Werte bis zur doppelten Halbwertszeit für die Ausgleichsrechnung verwendet. Also alle Messwerte bis zu einer Zeit von maximal 520s. Für die Parameter ergeben sich diesmal die Werte:

$$\begin{aligned}N_0 &= 218.126931 \pm 7.601301 \text{ [Imp]} \\ \lambda &= 0.002937 \pm 0.000170 \text{ [1/s]}\end{aligned}$$

Die entstehende Halbwertszeit hat nun den Wert:

$$T_2 = (236 \pm 14)s$$

4.4 Halbwertszeit von Rhodium

Analog zu der Vorgehensweise bei Vanadium wird auch bei der Halbwertszeit zunächst ein halblogarithmisches Diagramm erstellt. Diesmal wird die Ungergrundrate wieder angepasst, da das Zeitintervall nun nur 15s beträgt. Die gemessenen Werte für Rhodium sind in Tabelle 3 zu sehen.

Das entstehende Diagramm mit dem angepassten Untergrund und dem Fehler \sqrt{N} sieht folgendermaßen aus:

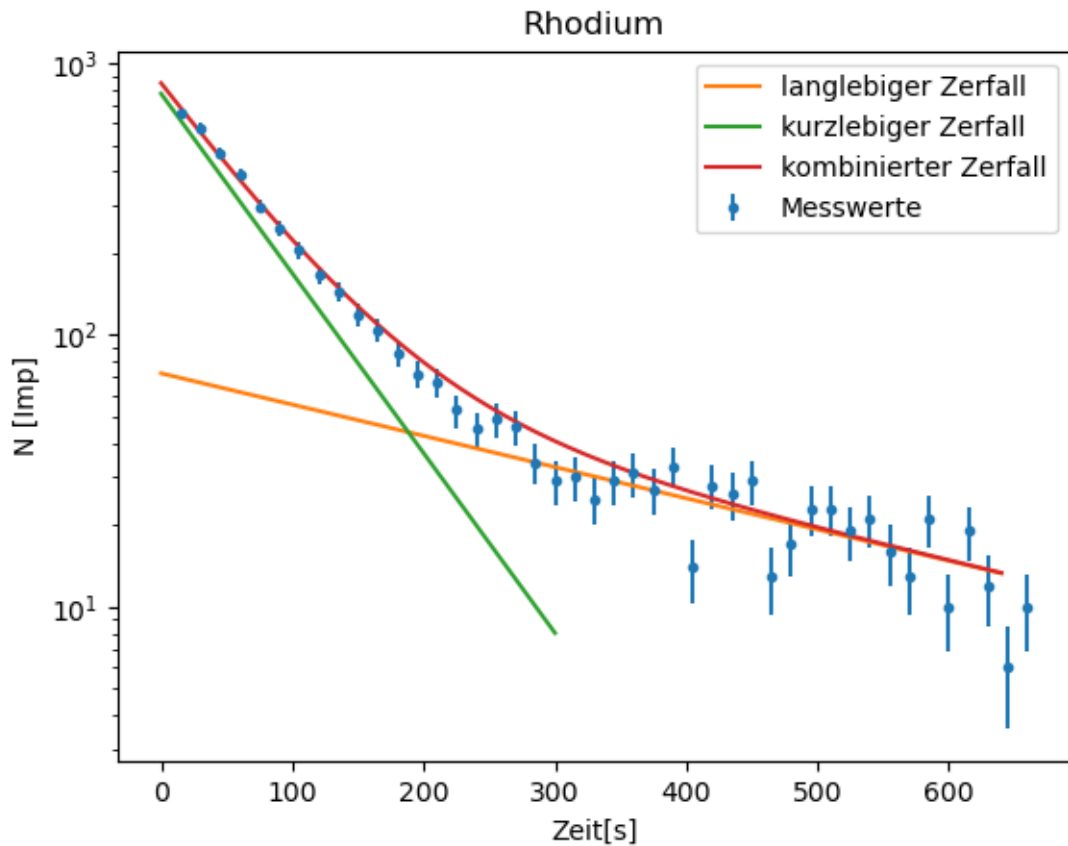


Abbildung 4: Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium

In diesem Diagramm sind bereits die benötigten Ausgleichsrechnungen eingetragen. Zu erkennen sind die verschiedenen Steigungen der beiden Zerfälle. Für die Ausgleichsrechnung des langsamen Zerfalls muss der Zeitpunkt bestimmt werden, ab dem nur noch der langlebige Zerfall stattfindet. Dieser Zeitpunkt wurde auf $t^* \approx 250\text{s}$ geschätzt. Um sicher zu sein, dass der exponentielle Zerfall möglichst keinen Einfluss mehr hat wurden bei der Ausgleichsrechnung alle Daten verwendet, die nach 300s oder später aufgenommen wurden.

Mit dem Zerfallsgesetz als Ausgangsfunktion ergeben sich folgende Parameter:

$$A_0 = 72.317788 \pm 16.092044 \text{ [Imp]}$$

$$\lambda = 0.002646 \pm 0.000501 \text{ [1/s]}$$

Mit diesen Parametern entsteht die langlebige Ausgleichsgerade. Dann wird das Intervall betrachtet, in dem der kurzlebige Zerfall stattfindet. Um sicher zu gehen, dass der Einfluss des kurzlebigen Zerfalls wird das Intervall $[0\text{s}; 165\text{s}]$ betrachtet. Dann werden auf dem

Intervall für alle Zeitpunkte des Intervall die zugehörigen Werte der Ausgleichsfunktion des langlebigen Zerfalls berechnet. Anschließend werden von den Werten, die im Diagramm aufgetragen sind die entsprechenden Werte der Ausgleichsfunktion abgezogen. Mit den entstehenden Werten wird nun die Ausgleichsrechnung für den kurzlebigen Zerfall durchgeführt.

Mit dem Zerfallsgesetz als Ausgangsfunktion ergeben sich folgende Parameter:

$$A_0 = 772.987833 \pm 20.717019 \text{ [Imp]}$$

$$\lambda = 0.015228 \pm 0.000551 \text{ [1/s]}$$

Der dritte Graph im Diagramm ist die Summe aus beiden Ausgleichsfunktionen. Nun lassen sich die Verschiedenen halbwertszeiten berechnen

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

Mit den Parametern lassen sich folgende Halbwertszeiten berechnen:

Halbwertszeit	Wert [s]	± Unsicherheit [s]
T_{lang}	260	± 50
T_{kurz}	45.5	± 1.6

5 Diskussion

5.1 Vanadium

Die berechneten Halbwertszeiten für Vanadium betragen:

$$T_1 = 261 \pm 10s$$

$$T_2 = 236 \pm 14s$$

Dabei ist T_1 die aus allen Werten berechnete Halbwertszeit und bei T_2 wurden die letzten sehr kleinen Werte weggelassen, da sie so klein sind, dass sie in den Untergrund übergehen.

Der Literaturwert beträgt $T_{lit} = 224.4s$. Die prozentualen Abweichungen der Messwerte zu dem Literaturwert betragen für T_1 zu $T_{lit} \approx 16.31\%$ und für T_2 zu $T_{lit} \approx 5.17\%$

Es fällt auf, dass T_2 deutlich näher an der tatsächlichen Halbwertszeit liegt als T_1 . Daran ist deutlich zu erkennen, dass die kleinen Werte zu späteren Zeitpunkten die Rechnung negativ beeinflussen. Das liegt vor allem daran, dass diese Werte viel schwieriger zu messen sind. Es wird kaum noch Strahlung von der Probe ausgesendet. Damit ist kaum noch zu unterscheiden ob der gemessene Wert nicht einfach daran liegt, dass die Untergrundrate den Mittelwert überschritten hat. Das Problem existiert für alle anderen Werte zwar auch, aber weil dort mehr Strahlung von der Probe kommt und selbst eine hohe Untergrundrate daher einen geringeren Einfluss hat. Dennoch liegt die

restliche Abweichung vom Literaturwert vermutlich auch an diesem Problem, dass die Untergrundrate nicht immer gleich ist. Die geringere Abweichung vom Literaturwert der Methode zur Berechnung von T_2 lässt keinen Zweifel zu, dass diese Methode die bessere Wahl, da sie genauere Ergebnisse liefert.

Es gibt auch noch einen kleineren Ablesefehler. Allerdings liegt die Abweichung vom Literaturwert im Rahmen gewöhnlicher Messunsicherheiten.

5.2 Rhodium

Die berechnete Halbwertszeit für den langlebigen Zerfall von Rhodium beträgt: $260 \pm 5s$. Der Literaturwert dieser Halbwertszeit liegt bei 260.4s.

Diese Abweichung von gerade einmal 0.4s oder $\approx 0.15\%$ ist sehr gering. Das spricht für eine sehr gute Durchführung des Versuchs. Durch gewöhnliche unvermeidbare Messfehler ergibt sich noch eine Unsicherheit der berechneten Zeit. Bei diesem Experiment wurden allerdings sämtliche Fehlerquellen minimiert.

Für den kurzlebigen Zerfall gibt es folgende zu Vergleichende Werte:

$$T_{kurz} = 45.5 \pm 1.6$$

$$T_{lit} = 42.3$$

Der Wert von T_{kurz} weist zwar mit $\approx 7.56\%$ eine größere Abweichung als T_{lang} auf, aber diese ist auch nicht unerklärbar groß. Im Gegenteil, die Abweichung ist sogar sehr gering. Die Abweichung liegt hier an Fehlern durch die Ausgleichrechnung und der Unsicherheit von T_{lang} . Denn T_{kurz} wird mit T_{lang} bestimmt und setzt somit die Unsicherheit weiter fort.

Zusammenfassend lässt sich über dieses Experiment sagen, dass es überaus erfolgreich war. Alle Abläufe die zu sehen sein sollten konnten dargestellt werden und die entstandenen Werte sind durch ihre geringe Abweichung auch von überaus hoher Qualität. Es gibt nur Abweichungen durch praktisch unvermeidbare Fehler. Diese fallen aber sehr klein aus und sind deshalb im Bereich der zu erwartenden Abweichung.

6 Literatur

Anleitung V702:

https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1502371/mod_folder/content/0/V702.pdf?forcedownload=1

DantenHinweiseGeigerMueller:

https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1502371/mod_folder/content/0/DatenHinweiseAktivierung.pdf?forcedownload=1

Literaturwert der Halbwertszeit von Vanadium:

<https://www.internetchemie.info/chemische-elemente/vanadium-isotope.php>

Literaturwerte der Halbwertszeiten von Rhodium:

<https://www.internetchemie.info/chemische-elemente/rhodium-isotope.php>

7 Tabellen

N_U [Imp/300s]
129
143
144
136
139
126
158

Tabelle 1: Messung zur Bestimmung des Untergrundes

t [s]	N [Imp]
30	189
60	197
90	150
120	159
150	155
180	132
210	117
240	107
270	94
300	100
330	79
360	69
390	81
420	46
450	49
480	61
510	56
540	40
570	45
600	32
630	27
660	43
690	35
720	19
750	28
780	27
810	36
840	25
870	29
900	18
930	17
960	24
990	21
1020	25
1050	21
1080	24
1110	25
1140	17
1170	20
1200	19
1230	20
1260	18
1290	16
1320	17

Tabelle 2: Messwerte zur Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium

t [s]	N [Imp]
15	667
30	585
45	474
60	399
75	304
90	253
105	213
120	173
135	152
150	126
165	111
180	92
195	79
210	74
225	60
240	52
255	56
270	53
285	41
300	36
315	37
330	32
345	36
360	38
375	34
390	40
405	21
420	35
435	33
450	36
465	20
480	24
495	30
510	30
525	26
540	28
555	23
570	20
585	28
600	17
615	26
630	19
645	13
660	17

Tabelle 3: Messwerte zur Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium