

Versuch 702

Aktivierung mit Neutronen

Jonah Nitschke
lejonah@web.de

Sebastian Pape
sepa@gmx.de

Durchführung: 18.04.2017

Abgabe: 25.04.2017

1 Theorie

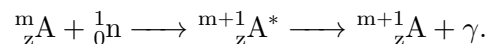
1.1 Zielsetzung

Der Versuch 702 setzt sich mit dem radioaktiven Zerfall von Aktivierten Atomkernen auseinander. Das Ziel des Versuches ist es die Halbwertszeit des Isotopes $^{116}_{49}\text{In}$ und eines Rhodiumisomeres zu bestimmen.

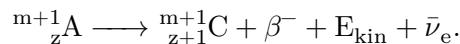
1.2 Theoretische Grundlagen

Damit instabile Kerne erzeugt werden, werden stabile Kerne mit Neutronen beschossen. Der Vorteil der Neutronenaktivierung liegt darin, dass die ladungsneutralen Neutronen weniger Energie benötigen, um die Kerne zu aktivieren, da sie nicht die Coulomb-Barriere des geladenen Kernes überwinden müssen.

Eine Allgemeine Kernreaktion eines Beispielkernes ^m_zA sieht folgendermaßen aus:



$^m_z\text{A}^*$ ist dabei der sogenannte Zwischenkern oder auch Compoundkern. Seine Energie ist im Vergleich zu dem Ausgangskern um die kinetische Energie des Neutrons und der Bindungsenergie höher. Bei geringer kinetischer Energie des Neutrons ist die eingebrachte Energie zu gering um ein Nukleon oder ein Neutron wieder abzugeben. Deshalb wird nach etwa 10^{-16} s ein γ -Quant abgegeben, sodass der Kern wieder in seinen Grundzustand zurückfällt. Dieser Kern ist immernoch instabil, hat aber eine deutlich längere Lebensdauer als der Zwischenkern. Die Zerfallsreihe dieses Kerns läuft wie folgt ab:



Dieser Zerfall ist ein erlaubter Zerfall, da die Masse der linken Seite größer ist als die Gesamtmasse der rechten Seite. Der Massenunterschied ist durch die Einsteinsche Energie-Masse Beziehung einzusehen.

$$\Delta E = \Delta mc^2 \tag{1}$$

Die Masse wird in Form von kinetischer Energie an das β^- - und $\bar{\nu}_e$ -Teilchen abgegeben ($\bar{\nu}_e$ ist ein Antineutrino).

Wenn Neutronen auf stabile Atomkerne geschossen werden, ist die charakteristische Größe, dass ein Neutron von einem Atomkern eingefangen wird der Wirkungsquerschnitt. Er ist über die Formel

$$\sigma = \frac{u}{nKd} \quad (2)$$

definiert, wenn Neutronen auf eine Folie mit einem Flächeninhalt von 1 cm^2 geschossen werden. Dabei ist n die Anzahl der abgeschossenen Neutronen, u die Anzahl der eingefangenen Neutronen, d die Dicke der beschossenen Fläche und K die Anzahl der Atome pro Quadratcentimeter in der Folie. Der Wirkungsquerschnitt wird in der Einheit $10^{-24} \text{ cm}^2 = 1 \text{ b}$ gemessen. Bei den abgeschossenen Neutronen wird zwischen schnellen und langsamen Neutronen unterschieden. Die beiden unterscheiden sich, wie der Name es suggeriert lediglich in ihrer Geschwindigkeit v . Als Kriterium dieser Klassifizierung dient die De-Broglie-Wellenlänge λ , die definiert ist über:

$$\lambda = h/m_n v. \quad (3)$$

Ist λ groß gegenüber dem Kernradius $R (\approx 10^{-14} \text{ m})$ handelt es sich um schnelle Neutronen. Andersherum handelt es sich um langsame Neutronen. Bei langsamen Neutronen ist der Wirkungsquerschnitt deutlich größer als bei schnellen Neutronen, weshalb sich langsame Neutronen besser für die Aktivierung von Atomkernen eignen. Es stellt sich heraus, dass σ reziprok von der Geschwindigkeit v der Neutronen abhängt.

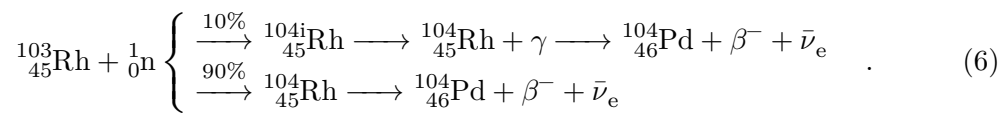
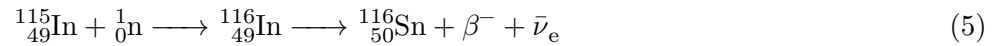
Bei der Aktivierung der Proben müssen langsame Neutronen zunächst erzeugt werden. Schnelle Neutronen lassen sich aus verschiedenen Reaktionen gewinnen. Der Abbremsungsvorgang wird über elastische Stöße realisiert. Dabei stoßen die Neutronen mit den Kohlenwasserstoffen in einem Paraffinmantel, der um die Neutronenquelle anliegt. Zum Abbremsen der schnellen Neutronen eignen sich ähnlich schwere Moleküle besser, da aus den Formeln des elastischen Stoßes hervorgeht, dass der größte Energieübertrag zweier elastisch stoßender Teilchen bei gleicher Masse erfolgt. Deshalb eignet sich Paraffin, weil der in dem Paraffin enthaltene Wasserstoff beinahe die selbe Masse wie ein Neutron besitzt. Sind die Neutronen auf eine Geschwindigkeit von $2,2 \text{ km/s}$ abgebremst, werden sie auch als thermische Neutronen bezeichnet.

Der radioaktive Zerfall von instabilen Atomkernen lässt sich durch ein Exponentialgesetz beschreiben. Die Anzahl der zur Zeit t noch nicht Zerfallenen Kerne lässt sich wie folgt berechnen.

$$N(t) = N_0 \exp^{-\lambda t} \quad (4)$$

Dabei ist N_0 die anfängliche Anzahl der instabilen Kerne und λ die Zerfallskonstante.

Die Zerfallsreihen der verwendeten Proben Indium und Rhodium sind im Folgenden dargestellt.



2 Durchführung

Die zu untersuchenden Proben wurden im Vorhinein aktiviert. Für die Aktivierung wird die Apparatur aus Abb. 1 verwendet.

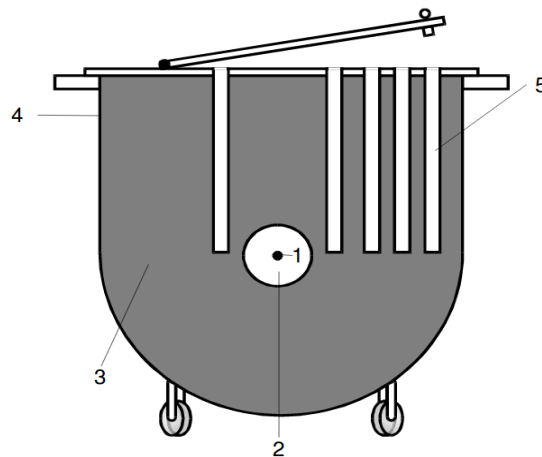


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Aktivierungsvorrichtung[TUD17].

Die in Abb. 1 aufgeführten Markierungen sind wie folgt erklärt.

- 1 Quelle schneller Neutronen
- 2 Bleiabschirmung
- 3 Paraffin
- 4 Stahlbehälter
- 5 Aktivierungsbohrungen

Vor der ersten Messung muss der Nullwert bestimmt werden. Dafür wird eine Messung über 900 s ohne Probe gemacht. Danach wurden die zu untersuchenden Proben in den Aufbau eingelegt. Es wurden das Isotop Indium-116 (${}^{116}\text{In}$) und ein Rhodiumisomer (${}^{104}\text{Rh}$ & ${}^{104i}\text{Rh}$) untersucht. Für das Indiumisotop ist eine Messzeit von einer Stunde mit einem Messintervall von $\Delta t = 240$ s gewählt worden. Für das Rhodiumisomer ist eine Messzeit von 12 min angesetzt worden, mit einem Messintervall Δt von 15 s.

Die Messungen sind mit dem Aufbau, der in Abb. 2 dargestellt ist, zu realisieren. Der Aufbau besteht grundlegend aus einem Geiger-Müller-Zählrohr, einem Impulsverstärker und einem Zählwerk mit zwei Displays. Das Geiger-Müller-Zählrohr misst die radioaktiven Zerfälle in Form eines elektrischen Impulses. Dieser wird durch einen Impulsverstärker geschickt und letztendlich von einem Zählwerk registriert. Das Zählwerk besitzt zwei Displays, sodass kontinuierlich gemessen werden kann.

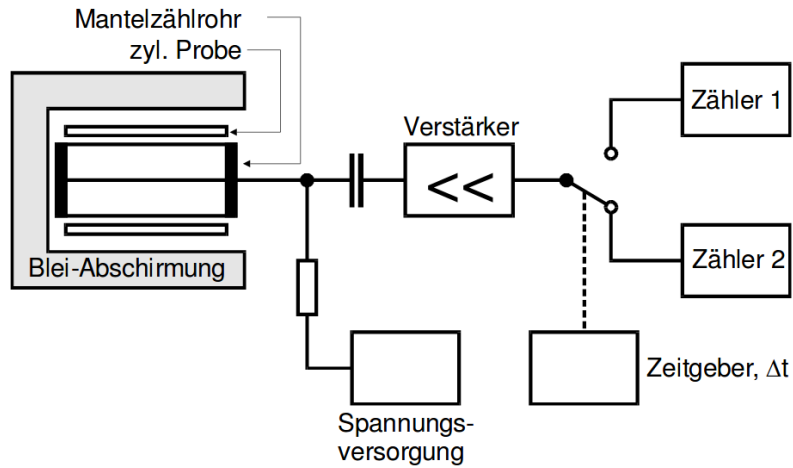


Abbildung 2: Schematischer Versuchsaufbau[TUD17].

Die Probe wird zu Beginn der Messung gemäß Abb. 2 eingelegt. Vor dem Einlegen der Probe muss das Messintervall Δt an dem Zählwerk eingestellt werden. Die Messwerte können an dem Zählwerk erhoben werden.

3 Auswertung

Bei der Nullmessung wurde ein Zeitintervall von $\Delta t = 900$ gewählt und es wurden zwei Messungen durchgeführt, deren Mittelwert für weitere Berechnungen verwendet wurde:

$$N_1 = 218$$

$$N_2 = 224$$

$$\bar{N} = 221$$

$$\sigma_{\text{Nullmessung}} = 14.87$$

Alle Fehler der folgenden Messungen wurden mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung errechnet und die verschiedenen Abbildungen wurden mit Python angefertigt. Desweiteren wird bei allen Messungen eine lineare Regression in der folgenden Form verwendet, um die Zerfallskonstante zu bestimmen:

$$f(x) = A \cdot x + B \quad (7)$$

3.1 Halbwertszeit von Indium

Bei der Messung von Indium wurde ein Zeitintervall von $\Delta t = 240$ s und ein Messzeitraum von $t_{\text{ges}} = 3600$ s gewählt. Die gemessenen Zerfälle sind in Tabelle 2 eingetragen und grafisch in Abbildung 3 dargestellt.

Tabelle 1: Gemessene Zerfälle bei Indium.

$\Delta t \text{ in s}$	Anz. Zerfaelle	$\Delta t \text{ in s}$	Anz. Zerfaelle
240	2995	480	2485
720	2465	960	2346
1200	2345	1440	2268
1680	2076	1920	1943
2160	1894	2400	1827
2640	1686	2880	1555
3120	1525	3360	1512
3600	1417		

Mithilfe einer linearen Regression der Form (7) gemäß Formel (4) werden dabei die Zeitkonstante λ und $N_{0,\text{Indium}}$ bestimmt:

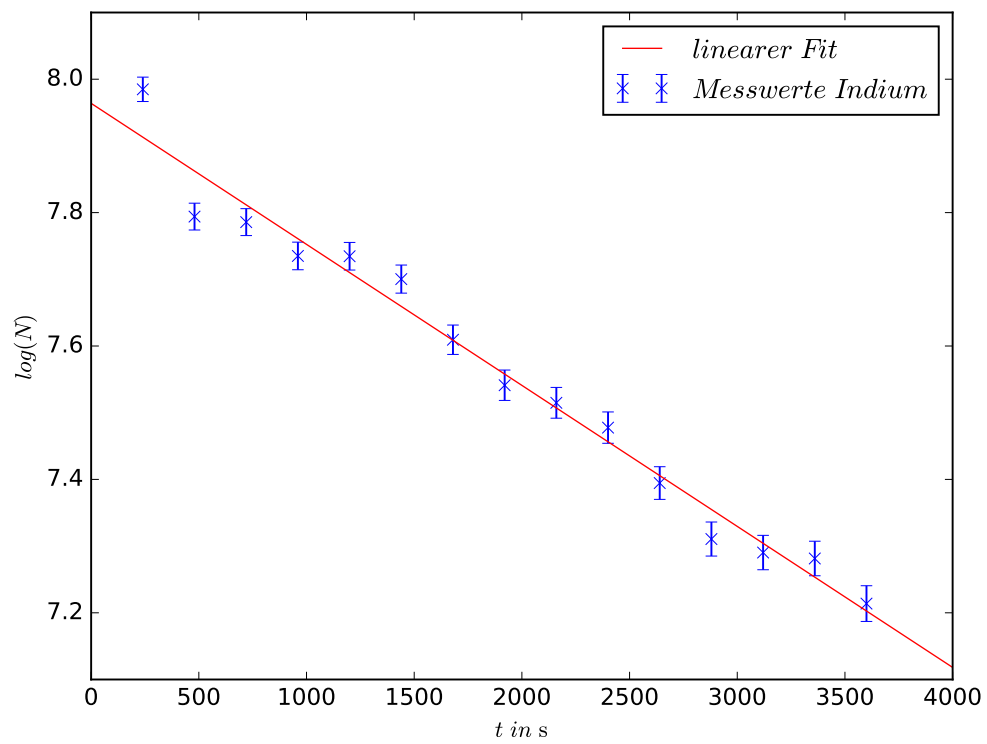


Abbildung 3: logarithmische Darstellung der gemessenen Zerfälle (N) bei Indium.

$$A = \lambda_{\text{Indium}} = (0.0002 \pm 9 \cdot 10^{-6}) \frac{1}{\text{s}}$$

$$B = N_{0,\text{Indium}} = (7.96 \pm 0.02)$$

$$T(\lambda) = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (8)$$

$$\sigma_T = \frac{\ln(2)}{\lambda^2} \cdot \sigma_\lambda \quad (9)$$

Mit der Formel (9) kann aus der bestimmten Zeitkonstante nun die Halbwertszeit von Indium bestimmt werden, für die sich der folgende Wert ergibt:

$$T_{\text{Indium}} = (3278 \pm 141) \text{ s}$$

3.2 Halbwertszeit von Rhodium

Bei der Messung mit Rh_{45}^{103} wurde ein Zeitintervall von $\Delta t = 12 \text{ s}$ und ein Messzeitraum von $t_{\text{ges}} = 720 \text{ s}$ gewählt. Die gemessenen Zerfälle sind in Tabelle 2 eingetragen sowie grafisch in Abbildung 4 dargestellt.

Um die Halbwertszeiten der zwei verschiedenen Isotope Rh^{104} sowie Rh^{104i} zu bestimmen, die bei der Aktivierung von Rh_{45}^{103} entstehen, werden für die Unterteilung die Messzeiten $t^* = 355 \text{ s}$ und $t_{\text{max}} = 80 \text{ s}$ gewählt.

Mithilfe einer linearen Regression gemäß Formel (7) können dann mithilfe der Werte für $t < t_{\text{max}}$ (Abbildung 5) zuerst die beiden Parameter für Rh^{104} bestimmt werden:

$$A = \lambda_{\text{Rhodium } 104} = (0.0147 \pm 0.0009) \frac{1}{\text{s}}$$

$$B = N_{0,\text{Rhodium } 104} = (6.68 \pm 0.05)$$

Mit den Werten und Formel (9) ergibt sich für die Halbwertszeit von Rh^{104} folgender Wert:

$$T_{\text{Rhodium } 104} = (47 \pm 3) \text{ s}$$

Mithilfe der selben Vorgehensweise kann aus allen Werten für $t > t^*$ (Abbildung 6) auch die Halbwertszeit für Rh^{104i} berechnet werden, sodass sich folgende Parameter ergeben:

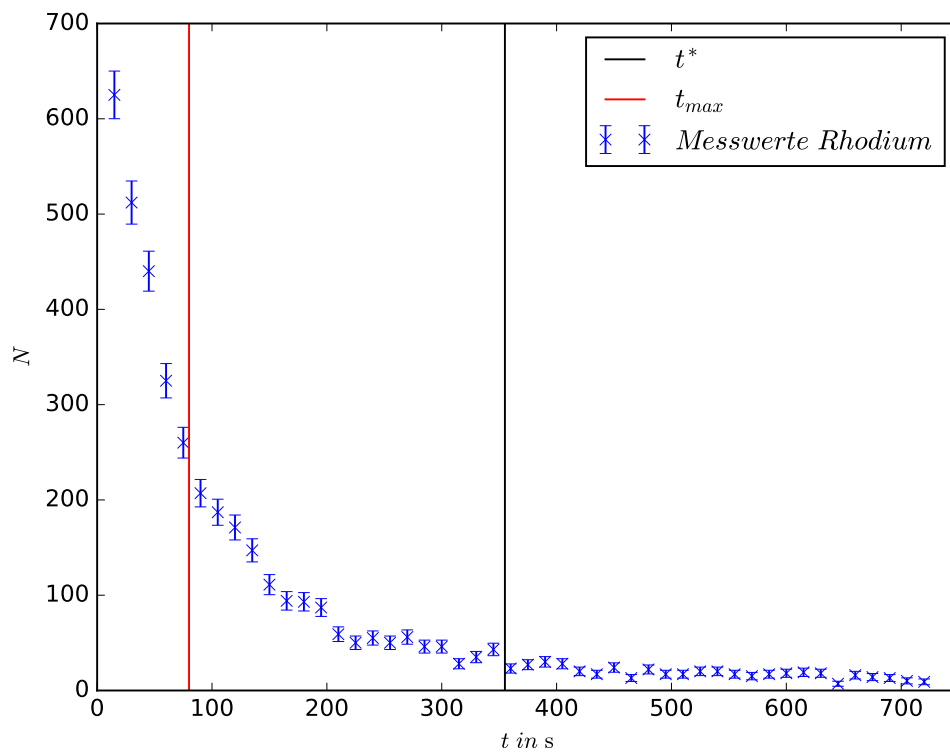


Abbildung 4: Gemessene Zerfälle (N) bei Rhodium.

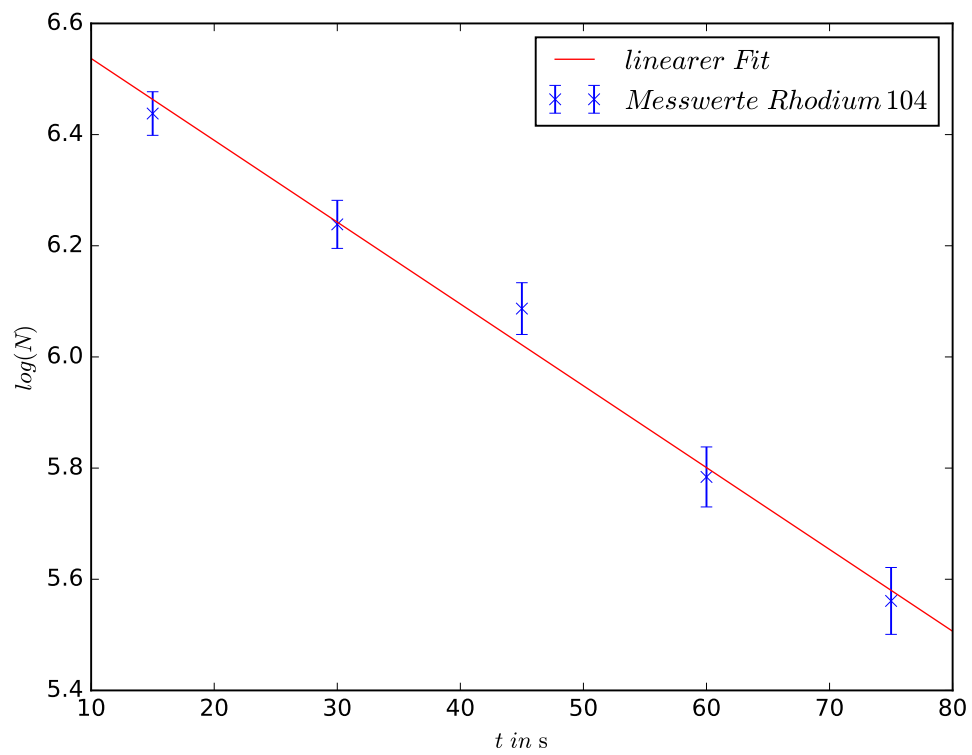


Abbildung 5: logarithmische Darstellung der gemessene Zerfälle (N) für $t < t_{max}$ bei Rh^{104} .

Tabelle 2: Gemessene Zerfälle bei Indium.

$\Delta t \text{ in s}$	Anz. Zerfaelle	$\Delta t \text{ in s}$	Anz. Zerfaelle	$\Delta t \text{ in s}$	Anz. Zerfaelle
15	630	30	517	45	445
60	330	75	265	90	212
105	192	120	176	135	152
150	116	165	99	180	98
195	92	210	64	225	55
240	60	255	55	270	61
285	51	300	51	315	33
330	40	345	48	360	28
375	32	390	35	405	33
420	25	435	22	450	29
465	18	480	27	495	22
510	22	525	25	540	25
555	22	570	20	585	22
600	13	615	24	630	23
645	12	660	21	675	19
690	18	705	15	720	14

$$A = \lambda_{\text{Rhodium } 104i} = (0.0023 \pm 0.0004) \frac{1}{s}$$

$$B = N_{0,\text{Rhodium } 104i} = (4.1 \pm 0.2)$$

$$T_{\text{Rhodium } 104i} = (297 \pm 54) \text{ s}$$

Mit den bestimmten Parametern für Rh^{104} und Rh^{104i} kann nun auch eine Summenkurve gezeichnet werden (Abbildung 7).

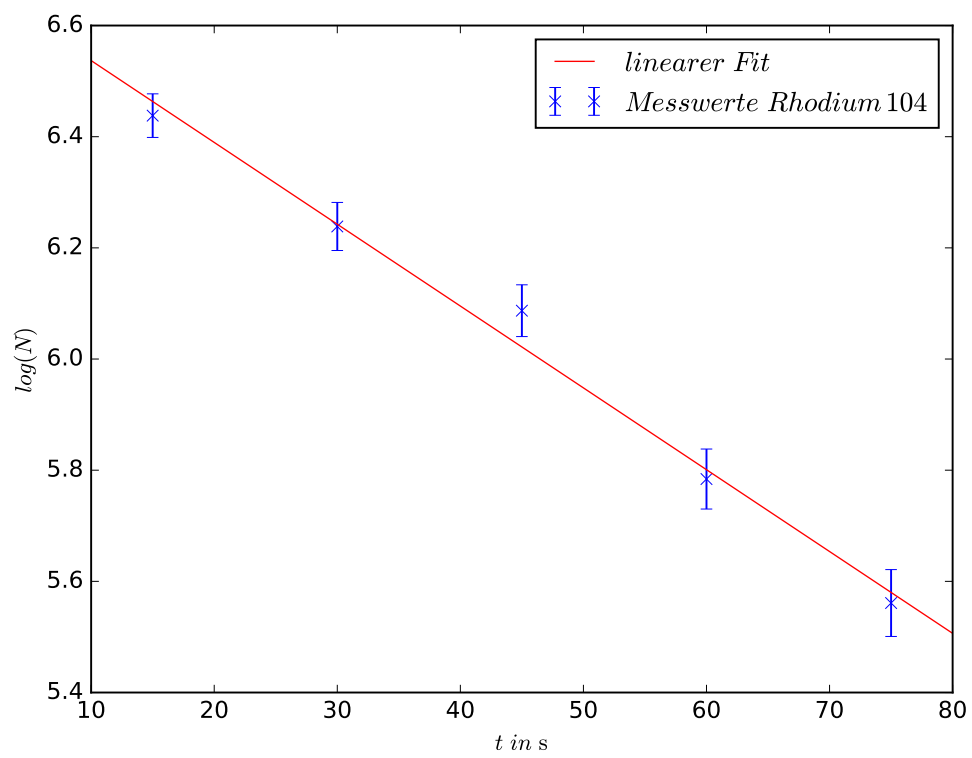


Abbildung 6: logarithmische Darstellung der gemessene Zerfälle (N) für $t > t^*$ bei Rh^{104i} .

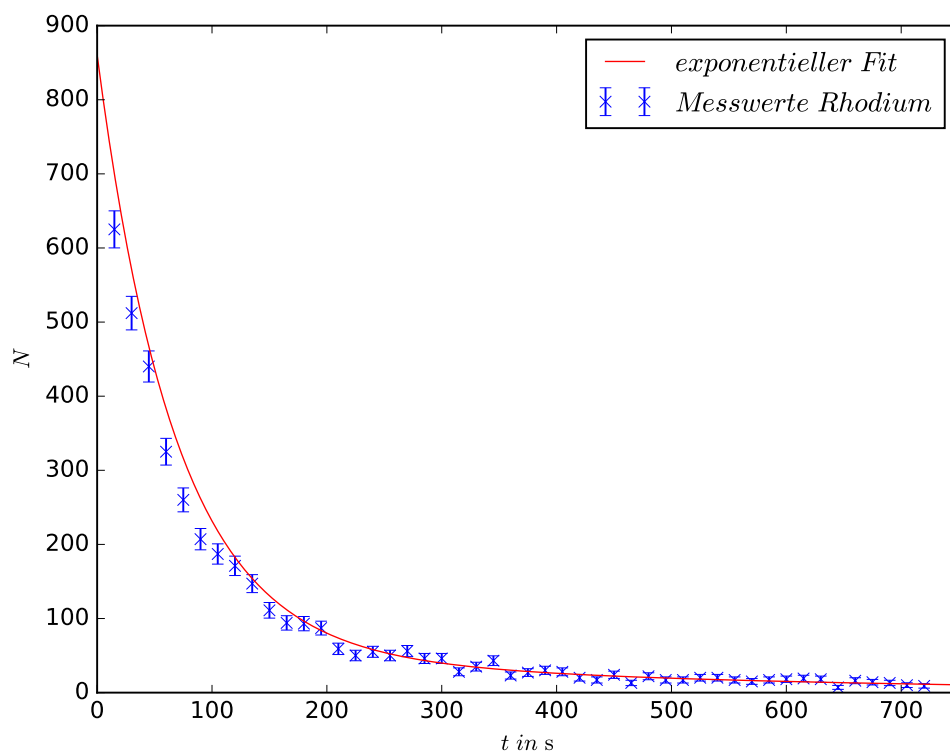


Abbildung 7: Summenkurve für den Zerfall von Rh_{45}^{103} .

3.3 Diskussion

Wenn die berechneten Halbwertszeiten für Rh_{45}^{103} und In_{49}^{115} mit den Literaturwerten verglichen werden, ist eine leichte Abweichung zu erkennen. Jedoch liegen die Literaturwerte bei zweien der drei Isotope im Fehlerintervall des jeweiligen experimentellen Werts und lediglich bei Rh^{104} weicht der Wert stärker ab (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Halbwertszeiten der verschiedenen Isotope [Wik17].

Isotop	$T_{exp} \text{ in s}$	$T_{Lit} \text{ in s}$
In_{49}^{115}	3278 ± 141	3269
Rh^{104}	47 ± 3	42.3
Rh^{104i}	297 ± 54	274

Zusammen mit dieser Erkenntnis und den verschiedenen Abbildungen lässt sich darauf schließen, dass die auftretenden Abweichungen lediglich durch statistische Fehler hervorgerufen werden.

Fehlerquellen können hierbei vor allem der Nulleffekt und das Geiger-Müller-Zählrohr sein, da die von der Umgebung abgegebene Radioaktivität im Laufe des Experimentes schwankt und nicht anhand einer vorher ausgeführten Nullmessung komplett eliminiert werden kann.

Literatur

- [TUD17] TU-Dortmund. *Versuch V702: Aktivierung mit Neutronen*. 18. Apr. 2017. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V702.pdf>.
- [Wik17] Wikipedia. *Liste der Isotope/5.Periode*. 23. Apr. 2017. URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Isotope/5._Periode#45_Rhodium.