

V702: Aktivierung von Neutronen

Felix Geyer Rune Dominik
felix.geyer@tu-dortmund.de rune.dominik@tu-dortmund.de

Durchführung: 09. Mai 2017
Abgabe: 16. Mai 2017

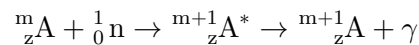
Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	1
2	Durchführung	3
2.1	Versuchsaufbau	3
2.2	Versuchsdurchführung	4
3	Auswertung	4
3.1	Behandlung der Messwerte	4
3.2	Nullmessung	4
3.3	Messung von Indium	5
3.4	Messung von Silber	5
4	Diskussion	9
	Literatur	10

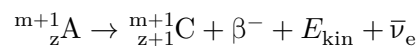
1 Theorie

Atomkerne zerfallen, wenn das Verhältnis zwischen Anzahl von Neutronen und Protonen bestimmte Grenzen überschreitet. Eine wichtige Größe zum Zerfall von Atomen ist die Halbwertszeit T . Diese bezeichnet den Zeitraum, in dem die Hälfte der instabilen Kerne zerfallen ist. In diesem Versuch wird eine Methode diskutiert, die Halbwertszeit von Nukliden zu bestimmen, deren T in der Größenordnung Sekunden bis Stunden liegt. Da diese zu Beginn der Messung hergestellt werden müssen, geschieht dies durch den Beschuss stabiler Kerne mit Neutronen, da diese die Coulomb-Barriere nicht überwinden müssen. Im folgenden wird diese Kernreaktion betrachtet.

Sobald ein Neutron von einem Kern A aufgenommen wird, entsteht ein neuer Kern A^* , der Compound - oder Zwischenkern genannt wird. Ihn unterscheidet von seinem Mutternuklid die kinetische und Bindungsenergie des Neutrons. Diese Energie verteilt sich auf viele Nukleonen, die dadurch in höhere Energiezustände gebracht werden. Deswegen ist es nicht möglich, dass der Kern das neue Nukleon oder ein anderes abstößt. Aus diesem Grund geht der Kern nach der Emission eines γ - Quants wieder in seinen Grundzustand über:



mit m als Massenzahl und z als Kernladungszahl. Der neue Kern ${}_z^{m+1}\text{A}$ ist nicht mehr stabil, da er mehr Neutronen als ein stabiler Kern enthält. Er zerfällt nach längerer Zeit nach folgender Gleichung:



mit $\bar{\nu}_e$ als Antineutrino. Der Massendefekt in der obigen Gleichung wird durch die kinetische Energie von Elektron und Antineutrino ausgeglichen.

Der Wirkungsquerschnitt σ gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der ein Neutron von einem stabilen Kern absorbiert wird. Er ist definiert durch

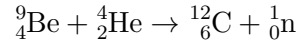
$$\sigma = \frac{u}{nKd} \quad (1)$$

mit u als Anzahl der Treffer, n als Anzahl Neutronen pro Sekunde und d als Dicke und K als Atome pro cm^3 einer 1 cm^2 breiten Folie. Der Wirkungsquerschnitt ist stark geschwindigkeitsabhängig. Wenn die Geschwindigkeit des Neutrons hoch genug ist, dass die De-Broglie Wellenlänge klein gegen den Radius des Kerns ist, kann geometrische Optik angewendet werden und es müssen keine Interferenzeffekte betrachtet werden. Damit Resonanzabsorption auftritt muss die Energie des Neutrons der Differenz zweier Energieniveaus von A^* entsprechen. Aus einer Formel von Breit und Wigner folgt somit die Relation

$$\sigma \propto \frac{1}{v}.$$

Daraus wird bestätigt, dass bei kleinen Geschwindigkeiten die Wahrscheinlichkeit steigt, dass das Neutron vom Kern aufgenommen wird.

Da Neutronen als freie Teilchen instabil sind, müssen sie vor dem Versuch erzeugt werden. Dabei läuft folgende Reaktion ab:



Die α -Teilchen stammen aus dem Zerfall von ${}^{226}\text{Ra}$. Die Neutronen werden noch abgebremst, da aufgrund obiger Überlegungen niederenergetische Neutronen am besten geeignet sind. Zu diesem Zweck werden die Neutronen auf dicke Materieschichten mit leichten Atomkernen geschossen, damit sie wegen elastischen Stößen Energie abgeben. Aus dem Gesetz zum elastischen Stoß folgt, dass die Energieübertragung maximiert wird, falls die Massen der Stoßpartner gleich sind. Dafür bietet sich Wasserstoff an. Der Aufbau zur Erzeugung der niederenergetischen Neutronen ist in Abbildung 1 abgebildet. Die Neutronen, die diese Apparatur verlassen, haben eine Energie von 0.025 eV. Diese

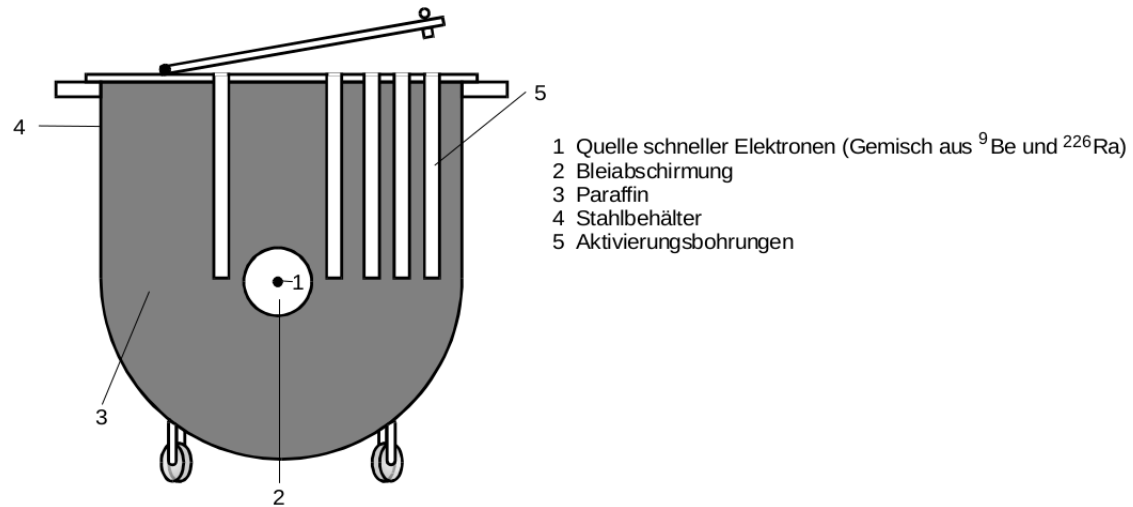
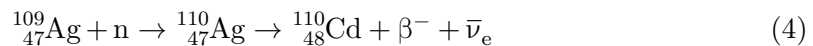
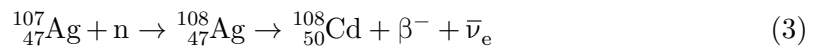
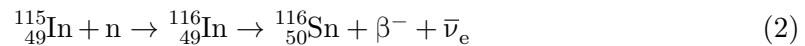


Abbildung 1: Quelle zur Erzeugung von niederenergetischen Neutronen [Dor17].

entspricht einer Temperatur von 290 K. Daraus folgt eine mittlere Neutronengeschwindigkeit von 2.2 km/s. Solche Neutronen werden als thermische Neutronen bezeichnet.

In diesem Versuch werden folgende Zerfälle untersucht:



Dabei ist jedoch für Silber eine Besonderheit zu beachten: Silber liegt in der Natur zu 52,3 % als ${}^{107}\text{Ag}$ und zu 48,7 % als ${}^{109}\text{Ag}$. Die Zerfälle (3) und (4) laufen gleichzeitig ab und die Gesamtaktivität besteht aus der Addition der beiden Einzelaktivitäten. Da ${}^{110}\text{Ag}$ aber sehr kurzlebig ist, kommt nach einiger Zeit t^* sämtliche Aktivität nur noch von ${}^{108}\text{Ag}$ (siehe Abbildung 2). Über diese Relation und das Zerfallsgesetz

$$N(t) = N_0 e^{-\mu t} \quad (5)$$

mit μ als Zerfallskonstante und $N_0 = N(0)$ lassen sich die beiden Halbwertszeiten getrennt voneinander bestimmen.

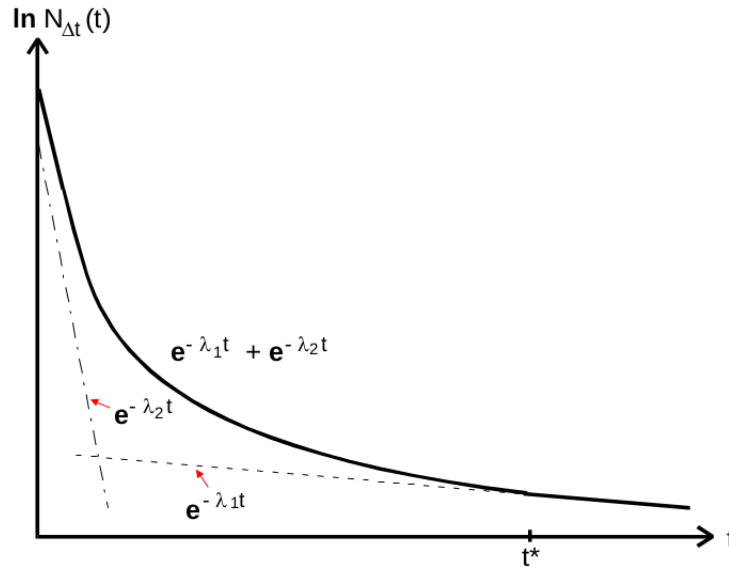


Abbildung 2: Zerfallsdiagramm eines Materials, dass zwei unterschiedlich langlebige Isotope besitzt [Dor17].

Aus (5) folgt für die Halbwertszeit

$$T = \ln(2)/\mu. \quad (6)$$

Da die Bestimmung von $N(t)$ nicht ohne weiteres möglich ist, wird eine neue Größe $N_{\Delta t}(t)$ eingeführt. Diese wird definiert als

$$N_{\Delta t}(t) = N(t) - N(t + \Delta t) \quad (7)$$

mit Δt als beliebigem Zeitintervall. Aus (5) folgt mit der Definition (7)

$$\ln[N_{\Delta t}(t)] = \ln [N_0(1 - e^{-\mu\Delta t})] - \mu t. \quad (8)$$

Aus (8) lässt sich mittels linearer Ausgleichsrechnung μ und damit aus (6) T bestimmen. Das Zeitintervall Δt ist dabei von Material zu Material unterschiedlich und wird angegeben.

2 Durchführung

2.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in 3 zu sehen. Mit dem Geiger-Müller-Zählrohr werden die Zerfälle nachgewiesen, wobei die Bleiummantelung den Einfluss der Umgebungsstrahlung

und die Strahlung außerhalb des Versuchsaufbaus minimieren soll. Das Gerät zum Anzeigen der Zerfälle hat dabei zwei Speicherplätze, die laufend überschrieben werden. Das Zeitintervall, in dem gemessen werden soll, lässt sich am Gerät einstellen.

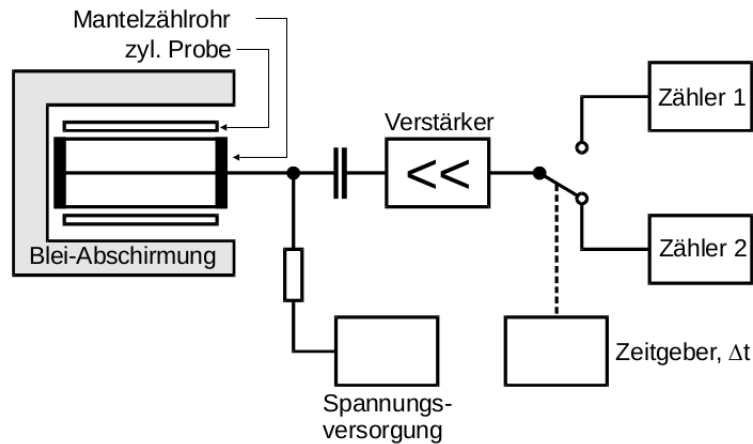


Abbildung 3: Schematischer Versuchsaufbau. [Dor17]

2.2 Versuchsdurchführung

Zuerst wurde 900 s lang der Nulleffekt gemessen. Danach werden für Indium 15 Messwerte mit einem Zeitintervall $\Delta t = 4 \text{ min}$ und für Silber 53 Messwerte mit einem Zeitintervall $\Delta t = 8 \text{ s}$ bestimmt.

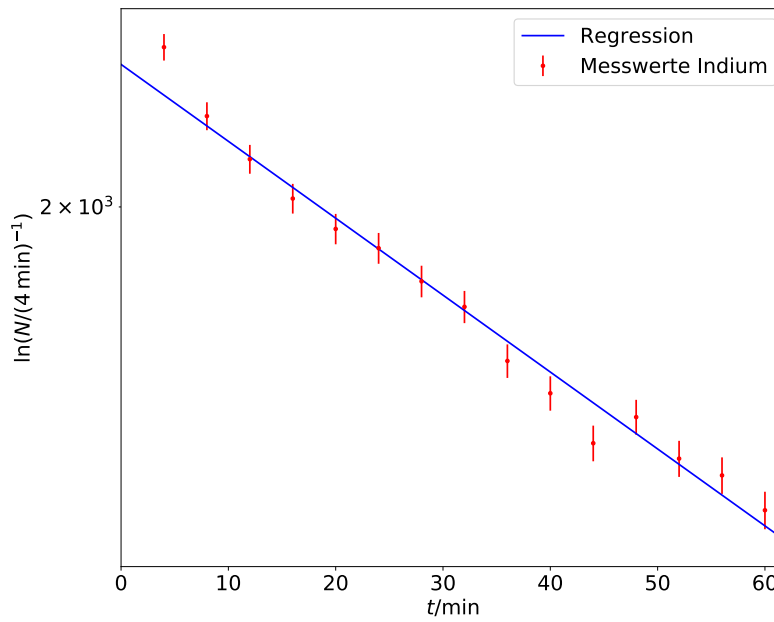
3 Auswertung

3.1 Behandlung der Messwerte

Die gemessenen Vorgänge unterliegen einer Poission-Verteilung, der Fehler eines Messwertes x_i ist somit durch $\sqrt{x_i}$ gegeben. Die dargestellten Ausgleichsrechnungen wurden durch die Funktion CURVE-FIT aus dem PYTHON-Paket SCIPY.OPTIMISE durchgeführt. Finden fehlerbehaftete Größen in Formeln Anwendung, wird der resultierende Fehler in UNCERTAINTIES bestimmt.

3.2 Nullmessung

Es werden innerhalb von 900 s 164 Ausschläge am Geiger-Müller-Zählrohr gemessen. Dies entspricht einem Wert von $N_{\text{null}} = 0.18 \text{ s}^{-1}$. Dieser Wert ist zwar gering, aber gerade bei längeren Messintervallen statistisch signifikant, sodass er von den Messwerten abgezogen werden muss.



t / min	N	σ_N
4	2540	50
8	2291	48
12	2148	46
16	2025	45
20	1935	44
24	1880	43
28	1789	42
32	1722	42
36	1588	40
40	1513	39
44	1404	37
48	1460	38
52	1372	37
56	1338	37
60	1270	36

(a) Grafische Darstellung der Messwerte mit Regression.

(b) Messwerte.

Abbildung 4: In Tabelle b sind die für das Isotop ^{116}In gemessenen Werte mit Fehler $\sigma_N = \sqrt{N}$ eingetragen. Diese Werte sind vom Nulleffekt bereinigt. In Grafik a findet sich die halblogarithmische Darstellung der vom Nulleffekt bereinigten Messwerte mit einer linearen Regression.

3.3 Messung von Indium

Die Messwerte finden sich in Tabelle 4b. Die Werte verhalten sich nach (5). Die Regression wird nach (8) ausgeführt. Mit (6) ergeben sich also folgende Konstanten:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{In}} &= (1.92 \pm 0.08) \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1} \\ N_{0,\text{In}} &= (2.48 \pm 0.05) \cdot 10^3 \\ T_{\text{In}} &= (60.2 \pm 2.5) \text{ min.}\end{aligned}$$

Die Messwerte mit Fehler sowie die berechnete Regression finden sich in Abbildung 4a.

3.4 Messung von Silber

Die Messwerte finden sich in Tabelle 1. Die halblogarithmische Darstellung der Messwerte findet sich in Abbildung 5. Die Messkurve lässt sich in drei Intervalle einteilen, die in der Grafik durch gepunktete vertikale Linien getrennt sind. Im ersten Intervall dominiert das kurzlebige ^{110}Ag die gemessenen Zerfälle. In einem folgenden Übergangsintervall kann über eine eventuelle Dominanz eines Isotops keine Aussage getroffen werden. Im letzten Intervall überwiegt dann das langlebigere ^{108}Ag . Lineare Ausgleichsrechnung durch die

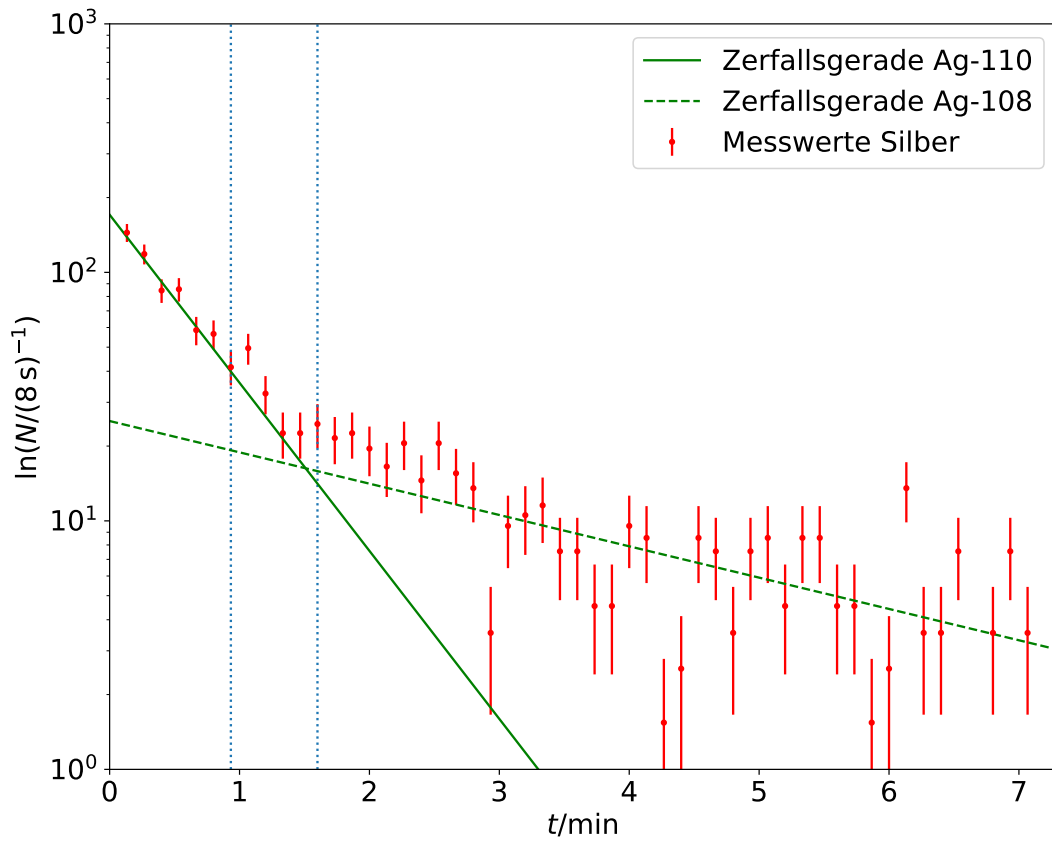


Abbildung 5: Diagramm der vom Nulleffekt bereinigten Messwerte. Ebenfalls eingetragen sind die Zerfallsgeraden der Isotope ^{108}Ag und ^{110}Ag .

$t / 8\text{ s}$	N	σ_N	$t / 8\text{ s}$	N	σ_N	$t / 8\text{ s}$	N	σ_N	$t / 8\text{ s}$	N	σ_N
8	145	12	112	23	5	216	8	3	320	9	3
16	119	11	120	20	4	224	5	2	328	9	3
24	85	9	128	17	4	232	5	2	336	5	2
32	86	9	136	21	5	240	10	3	344	5	2
40	59	8	144	15	4	248	9	3	352	2	1
48	57	8	152	21	5	256	2	1	360	3	2
56	42	6	160	16	4	264	3	2	368	14	4
64	50	7	168	14	4	272	9	3	376	4	2
72	33	6	176	4	2	280	8	3	384	4	2
80	23	5	184	10	3	288	4	2	392	8	3
88	23	5	192	11	3	296	8	3	408	4	2
96	25	5	200	12	3	304	9	3	416	8	3
104	22	5	208	8	3	312	5	2	424	4	2

Tabelle 1: Messwerte der Messung an Silberisotopen mit Fehler $\sigma_N = \sqrt{N}$.

logarithmierten Messwerte der beiden relevanten Intervalle liefert Werte für μ und N_0 . Aus μ kann aus (6) wieder die Halbwertszeit des Isotops bestimmt werden. Für ^{110}Ag ergibt sich:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Ag-110}} &= (0.026 \pm 0.002) \text{ s}^{-1} \\ N_{0,\text{Ag-110}} &= 171 \pm 13 \\ T_{\text{Ag-110}} &= (26.7 \pm 2.2) \text{ s}\end{aligned}$$

und für ^{108}Ag

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Ag-108}} &= (0.005 \pm 0.001) \text{ s}^{-1} \\ N_{0,\text{Ag-108}} &= 25 \pm 7 \\ T_{\text{Ag-108}} &= (2.4 \pm 0.5) \text{ min}\end{aligned}$$

Werden aus den beiden Geraden die zugrunde liegenden exponentiellen Zusammenhänge rekonstruiert und die erhaltenen Funktionen dann addiert, ergibt sich die in 6 dargestellte Summenkurve.

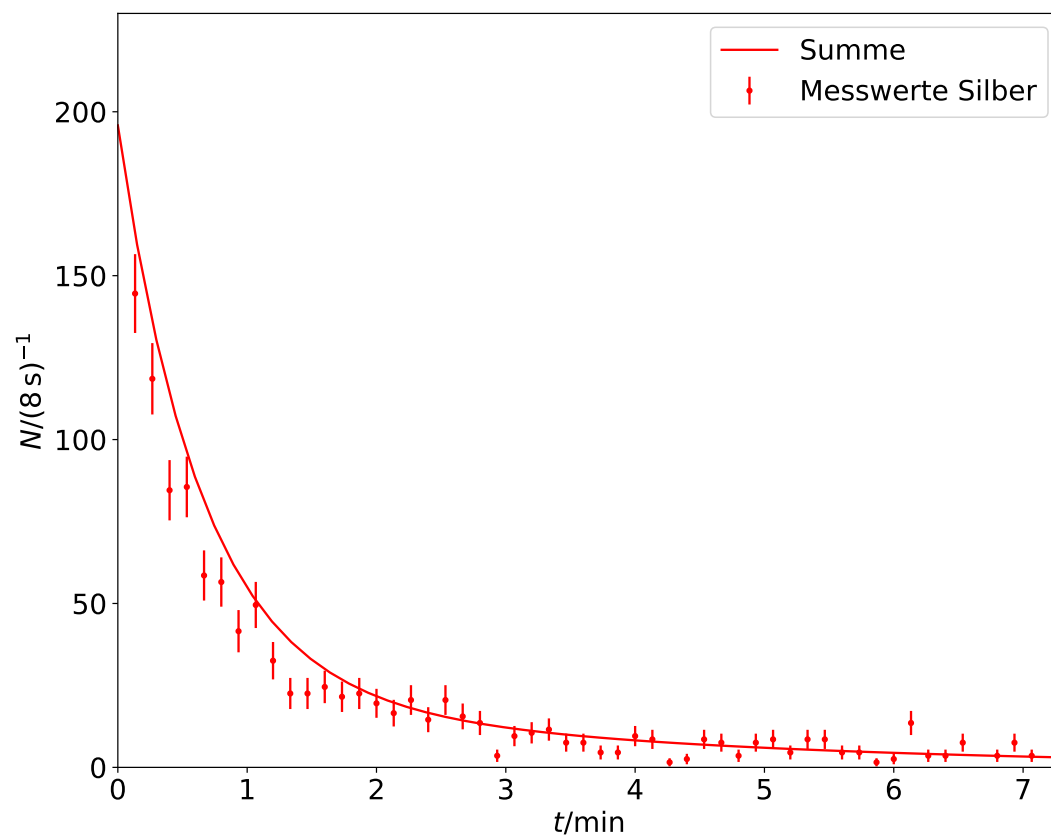


Abbildung 6: Diagramm der vom Nulleffekt bereinigten Messwerte mit Summenkurve.

4 Diskussion

Isotop	Quelle	μ	T
^{108}Ag	[Onl17a]	$4.9 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$	2.37 min
^{110}Ag	[Onl17b]	$2.8 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$	24.6 s
^{116}In	[Onl17c]	$2.1 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$	54.29 min

Tabelle 2: Literaturwerte.

In Tabelle 2 finden sich Literaturwerte für die einzelnen Isotope. Für beide Silberisotope liegen die Theoriewerte sowohl für Zerfallskonstante als auch für Halbwertszeit im Fehlerintervall der berechneten Werte. Die Abweichung der nominellen Werte von den Literaturwerten ist bei der Messung des kurzlebigeren ^{110}Ag signifikant größer als bei ^{108}Ag . Dies ist darauf zurückzuführen, dass auf dem Weg zwischen Anregungsbehälter und Messaufbau bereits eine signifikante Menge an Zerfallsprozessen des kurzlebigeren Isotops stattgefunden hat, sodass die Messwerte verfälscht werden. Dies ist beim langlebigeren Isotop ein geringeres Problem. Die guten Ergebnisse für Silber spiegeln sich auch in der Summenkurve wieder, die gut auf die Messwerte passt. Für ^{116}In gibt es keinen Wert, der im Bereich der Messtoleranz liegt. Die relativen Fehler sind jedoch mit 5.91 % für die Halbwertszeit und 4.76 % für die Zerfallskonstante gering. Mögliche Fehlerquelle sind hier statistische Schwankungen. Wiederholte Messungen würde genauere Ergebnisse bringen.

Literatur

- [Dor17] TU Dortmund. V702: Aktivierung von Neutronen. 9. Mai 2017. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V702.pdf>.
- [Onl17a] Periodensystem Online. Ag-108. 12. Mai 2017. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=47&mz=108&show=nuklid>.
- [Onl17b] Periodensystem Online. Ag-110. 12. Mai 2017. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=47&mz=110&show=nuklid>.
- [Onl17c] Periodensystem Online. In-116. 12. Mai 2017. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=49&mz=116&nrg=0.1273&show=nuklid>.