
Versuch Nr. 24 Radioaktivität Protokoll

Praktikant: Michael Lohmann
Felix Kurtz
E-Mail: m.lohmann@stud.uni-goettingen.de
felix.kurtz@stud.uni-goettingen.de
Betreuer: Phillip Bastian
Versuchsdatum: 12.03.2015

Testat:

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theorie	3
2.1	Grundbegriffe	3
2.2	Radioaktiver Zerfall	3
2.3	Silberisotope	4
3	Durchführung	4
4	Auswertung	5
4.1	Halbwertszeit	5
5	Diskussion	7
5.1	Halbwertszeit	7
	Literatur	8

1 Einleitung

Radioaktivität ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Vielfalt der Oberfläche unserer Erde. Ohne sie wäre der Erdkern kalt und es gäbe viele Gesteine wie Marmor nicht, da kein Vulkanismus existieren könnte. Außerdem stellt sie eine Gefahr für den Menschen dar, da sie das Erbgut verändern und so Zellen schädigen kann. Daher ist es von existentieller Bedeutung, sie zu verstehen. Dies soll mit diesem Versuch geschehen.

2 Theorie

2.1 Grundbegriffe

Atome bestehen aus Nukleonen und Elektronen. Die Nukleonen sind Protonen und Neutronen, die sich, wie der Name nahe legt, im Atomkern befinden. Die Elektronen kreisen um ihn herum. Die größten Einflüsse auf alltägliche Erfahrungen hat hierbei die Anzahl der Protonen, welche mit Z bezeichnet wird. Diese legt das chemische Element fest. In nicht ionisierten (elektrisch neutralen) Atomen ist die Anzahl der Elektronen gleich groß. Die zweite wichtige Kennzahl, womit sich insbesondere die Kernphysik beschäftigt ist die Anzahl N der Neutronen. Diese bestimmt, welches *Isotop* vorhanden ist. Die sogenannte *Massenzahl* ist nun die Summe der beiden Zahlen: $A = N + Z$.

Da Atomkerne sehr dicht gepackt sind und darin (je nach Ordnungszahl) viele positiv geladene Protonen sind, kann man schon mit grundlegenden Kenntnissen der Elektrostatik sagen, dass dies instabil sein sollte. In der Realität sind jedoch auch Elemente mit höherer Ordnungszahl vorhanden, so dass es eine Kraft geben muss, welche zumindest auf kurze Distanzen die enormen elektromagnetischen Kräfte überwinden kann. Die hierfür zuständigen Kräfte sind nach [Mes10, S. 928] die starke und die schwache Kernkraft. Insbesondere die starke Wechselwirkung, welche als Wechselwirkungsteilchen das Gluon besitzt und nur eine Reichweite von $\approx 10^{-15}\text{m}$ hat, ist maßgeblich an der Stabilität der Atome beteiligt. Werden die Radien der Atomkerne jedoch zu groß, so können die elektrostatischen Kräfte die Überhand nehmen und die Atomkerne regelrecht in zwei Teile zerreißen. Dieser Vorgang nennt sich Kernspaltung. Er entsteht spontan, da die Nukleonen sich zunächst noch innerhalb des kritischen Radius befinden, jedoch durch statistische Unschärfen im Ort diesen verlassen. Die durchschnittliche Zeit, in der die Hälfte aller Atomkerne zerfällt, heißt Halbwertszeit. Sie ist natürlich davon abhängig, wie dicht an der Grenze der Instabilität der Kern ist und kann so von Femtosekunden bis in die Jahrmillionen gehen.

2.2 Radioaktiver Zerfall

Sind die Atomradien zu groß, so zerfallen die Atomkerne, da die Starke Kernkraft nicht mehr ausreicht, die Protonen zusammenzubinden. Der Zerfall kann auf drei Weisen stattfinden:

- α -Zerfall, bei dem Heliumkerne (${}^4_2\text{He}^{2+}$) emittiert werden
- β -Zerfall, bei dem entweder Elektronen (e^- bei dem β^-) oder Positronen (e^+ bei dem β^+) ausgesandt werden
- γ -Zerfall, bei dem energiereiche Photonen (Röntgenstrahlung) ausgesandt wird.

Betrachtet man nun eine größere Menge radioaktiver Substanz und zeichnet die Zerfälle auf, so stellt sich heraus, dass man die Verlaufskurve vorhersagen kann. Dies ist jedoch nicht auf einzelne Atome übertragbar, da es sich um statistische Vorgänge handelt, welche nicht vorhersehbar sind. Bei diesen kann man nur eine Zeitspanne angeben, innerhalb derer sie mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% zerfallen sind. Diese Zeit nennt man Halbwertszeit.

Man kann nun mit der Zerfallskonstanten λ die Ratengleichung aufstellen:

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

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

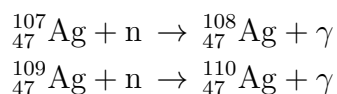
Die Halbwertszeit T ist definiert über $N(T) = \frac{1}{2}N_0$ und damit folglich

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (3)$$

$$\Rightarrow N(t) = N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T}t} \quad (4)$$

2.3 Silberisotope

Die beiden Isotope ${}^{107}_{47}\text{Ag}$ und ${}^{109}_{47}\text{Ag}$ sind stabil. Sie können jedoch durch Anregung mit einem Neutron in die Isotope ${}^{108}_{47}\text{Ag}$ und ${}^{110}_{47}\text{Ag}$ umgewandelt werden wobei ein Photon ausgesandt wird. Diese sind jedoch β^- -Strahler. Diese wiederum kann in einem GEIGER-MÜLLER-Zählrohr gemessen werden.



Die entstandenen Isotope sind jedoch beide instabile β -Strahler, welche Halbwertszeiten von $T_{{}^{108}_{47}\text{Ag}} = 143\text{s}$ und $T_{{}^{110}_{47}\text{Ag}} = 24.6\text{s}$ besitzen. Dadurch überlagern sich die zwei Zerfälle was in der Auswertung berücksichtigt werden muss.

Im Folgenden werden die Isotope mit A für ${}^{108}_{47}\text{Ag}$ und B für ${}^{110}_{47}\text{Ag}$ bezeichnet.

3 Durchführung

Zunächst wird der Computer zur Auswertung hochgefahren und das Programm zur Datenspeicherung geöffnet. Das Ausgabegerät des Geigerzählers wird angeschaltet. Nun

kann das Silberplättchen mit einer Pinzette in den langen Halter gelegt werden, in dem es in die radioaktive Quelle geführt wird. Zeitgleich wird eine Stoppuhr gestartet, die die Zeit misst, wie lange es aktiviert wird. Diese beträgt 1,2,4 und 8min. Danach wird der lange Halter herausgezogen und das Plättchen erneut mit der Pinzette in den kurzen Halter gelegt. Während des Herausziehens wird am Computer der Knopf „Zeit starten“ betätigt. Anschließend wird die Probe zügig zu dem Geiger-Müller-Zählrohr getragen und sobald sie eingeführt wurde wird am Computer die Messung gestartet. Nun muss gewartet werden, bis die Zählrate pro Sekunde ungefähr konstant ist. Dies tritt bei einem Wert von ungefähr einem bis zwei Zerfällen pro Sekunde ein. Bei der Aufzeichnung am Computer ist darauf zu achten, dass an der y-Achse des Plots vom Auswertungsprogramm zwar steht „Zerfälle pro 5 sec“, es wird jedoch über die Periode von 5 Sekunden gemittelt und der heruntergerechnete Wert auf eine Sekunde wird dargestellt.

In den beiden Versuchsräumen sollte nicht gegessen werden und nach der Durchführung sind die Hände sorgfältig zu waschen.

4 Auswertung

Die natürliche Hintergrundstrahlung, welche durch radioaktive Zerfälle in der Umgebung oder durch kosmische Strahlung hervorgerufen wird, ist abhängig von dem Ort der Beobachtung. Insbesondere steigert der Einbau bestimmter Baumaterialien in Hauswänden die Radon-Konzentration, wodurch die Nullrate gesteigert wird. Daher ist es wichtig für Messungen, zunächst zu vermessen, wie hoch diese ist. Dafür wird über einen Zeitraum von ca. 5min ohne die Anwesenheit einer Probe einfach gemessen, wie viele Zerfälle stattfinden.

Es ergibt sich eine mittlere Zerfallsrate von

$$N_0 = 0.378 \pm 0.039 \quad (5)$$

4.1 Halbwertszeit

Bei der Auswertung der Halbwertszeiten ist zu bedenken, dass nicht nur ein Silberisotop instabil ist, sondern es sich um zwei sich überlagernde Zerfälle handelt. Daher werden zur Auswertung pro Plot jeweils zwei Exponentialfunktionen gefittet. Damit jedoch von allen Plots die jeweilige Halbwertszeit mit gefittet wird, wird von Gnuplot die 11-parametrische Funktion

$$f(t) = \left\{ \begin{array}{ll} \dot{N}_{A,0}^{1 \text{ min}} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_A} t} + \dot{N}_{B,0}^{1 \text{ min}} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_B} t} + \dot{N}^{\text{Null}} & \text{für 1 Min Aktivierung} \\ \dot{N}_{A,0}^{2 \text{ min}} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_A} t} + \dot{N}_{B,0}^{2 \text{ min}} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_B} t} + \dot{N}^{\text{Null}} & \text{für 2 Min Aktivierung} \\ \dot{N}_{A,0}^{4 \text{ min}} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_A} t} + \dot{N}_{B,0}^{4 \text{ min}} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_B} t} + \dot{N}^{\text{Null}} & \text{für 4 Min Aktivierung} \\ \dot{N}_{A,0}^{8 \text{ min}} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_A} t} + \dot{N}_{B,0}^{8 \text{ min}} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_B} t} + \dot{N}^{\text{Null}} & \text{für 8 Min Aktivierung} \\ \dot{N}^{\text{Null}} & \text{Für die Nullrate} \end{array} \right\} \quad (6)$$

gefittet. Es ergeben sich die Werte aus Tabelle 1, die aus der Funktion mit einem reduzierten $\chi^2 = 0.069$.

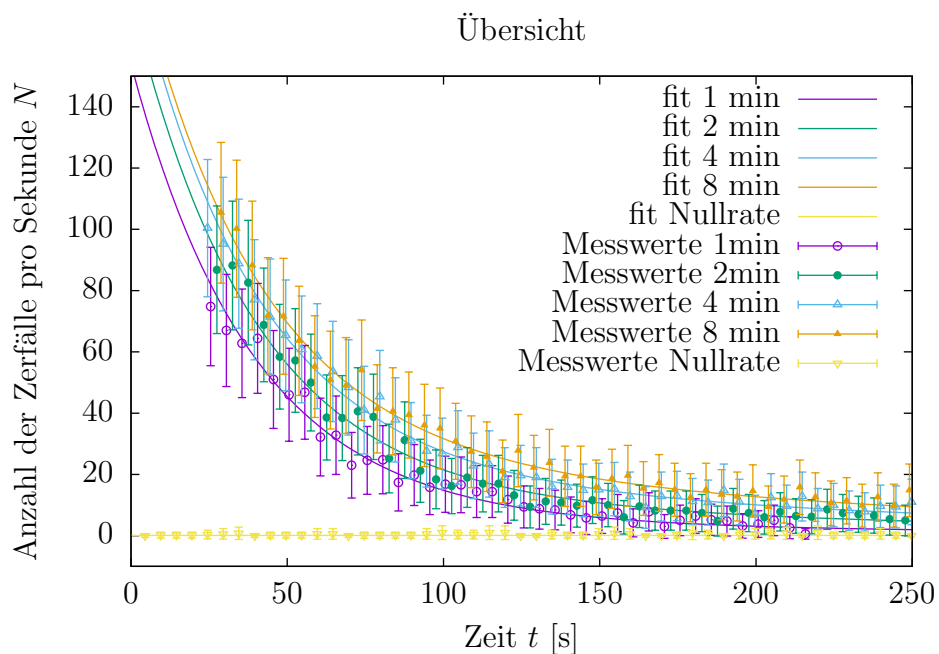


Abbildung 1: Alle Zerfallsreihen in einem Plot zusammengefasst

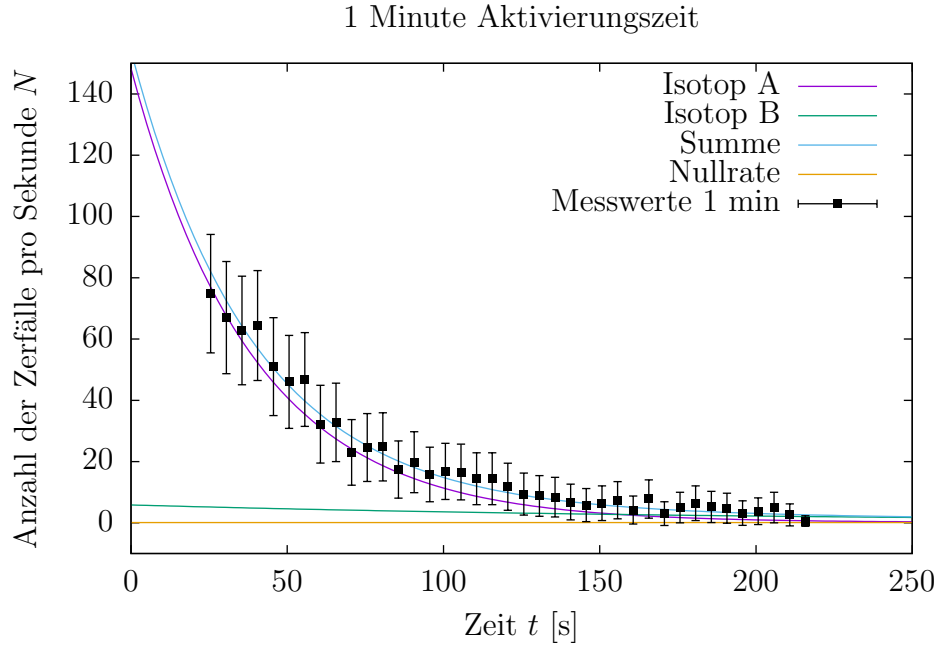


Abbildung 2: Zerfallsrate für ein Minute Aktivierung linear aufgetragen.

5 Diskussion

Das sich aus dem Fit von Formel (6) ergebende χ^2_{red} von 0.069 ist kleiner als 1. Dies bedeutet, dass über 60% der Werte mit ihrem Fehlerintervall die Kurve schneiden. Dies spricht für eine gute Messung, was sich auch in den Plots wiederfindet.

5.1 Halbwertszeit

Die Halbwertszeit von Isotop A beträgt nach Tabelle 1 (26.9 ± 0.9)s. Dies ist um 9% größer, als der Literaturwert von 24.6s. Es könnte jedoch sein, dass mit noch besseren Startwerten für den Fit auch ein besserer Wert herausgekommen wäre, denn Gnuplot benötigt für einen 11-dimensionalen nichtlinearen Fit sehr gute Startwerte.

Die Halbwertszeit von Isotop B ist mit (138 ± 7)s nur um 3.5% kleiner als der Literaturwert von 143s, welcher auch im Fehlerintervall liegt.

Aufgefallen ist uns, dass die Nullrate, wenn man sie nur aus der Messung der Nullrate fittet (s. Gleichung (5)) ein wenig höher ist, als wenn man sie mit allen anderen Daten mitfittet (s. Tabelle 1).

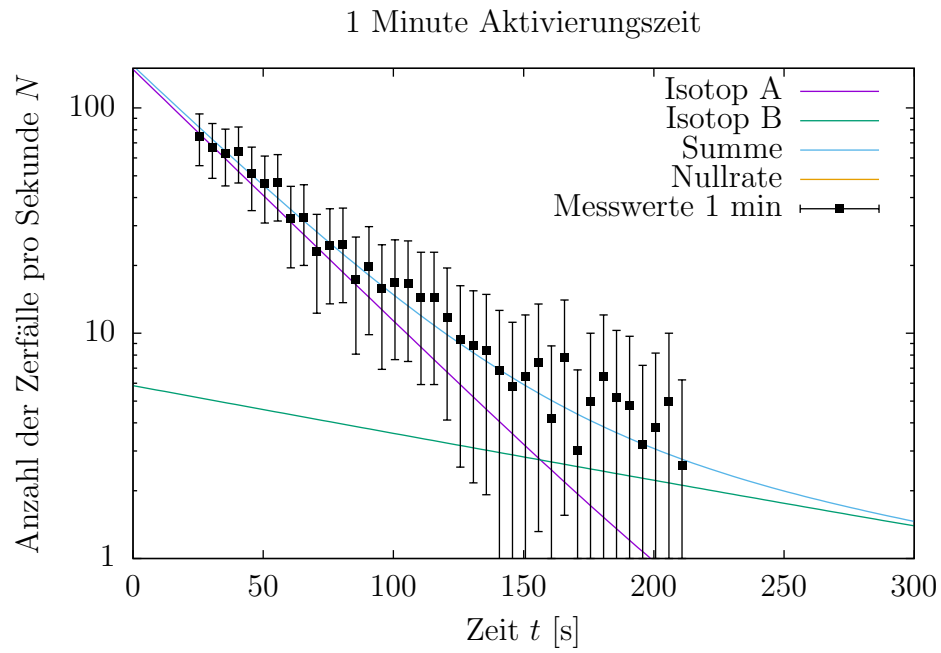


Abbildung 3: Zerfallsrate für ein Minute Aktivierung logarithmisch aufgetragen.

Literatur

- [Mes10] Meschede, Dieter: *Gerthsen Physik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 24. Auflage, 2010, ISBN 978-3-642-12893-6.

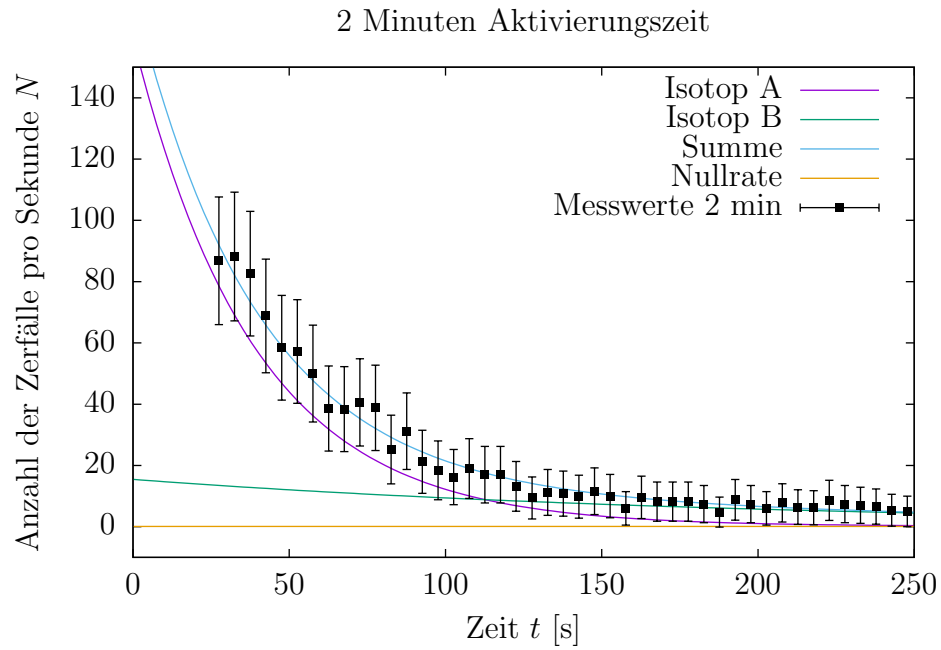


Abbildung 4: Zerfallsrate für 2 Minuten Aktivierung linear aufgetragen.

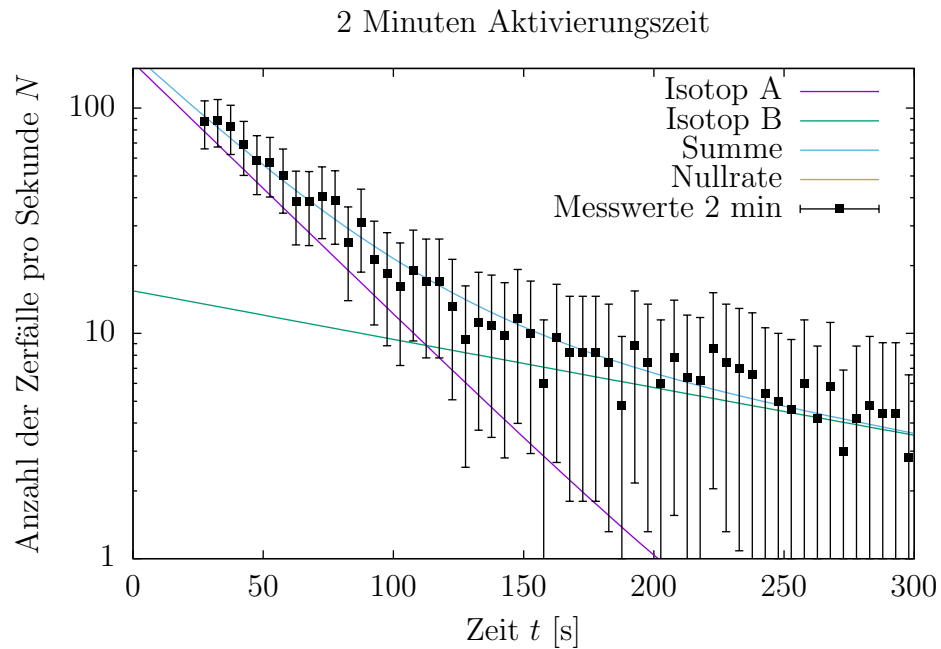


Abbildung 5: Zerfallsrate für 2 Minuten Aktivierung logarithmisch aufgetragen.

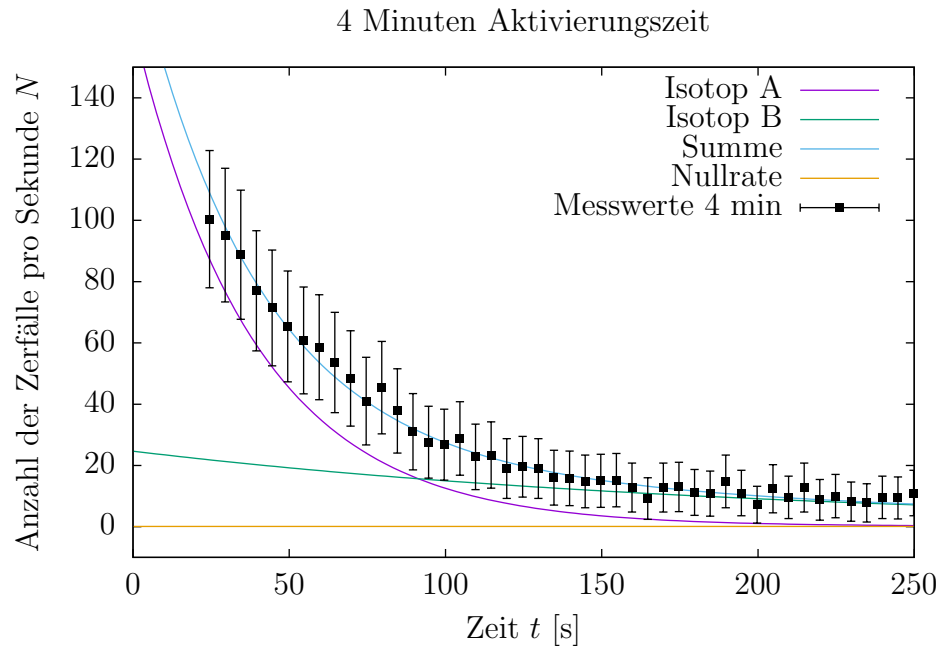


Abbildung 6: Zerfallsrate für 4 Minuten Aktivierung linear aufgetragen.

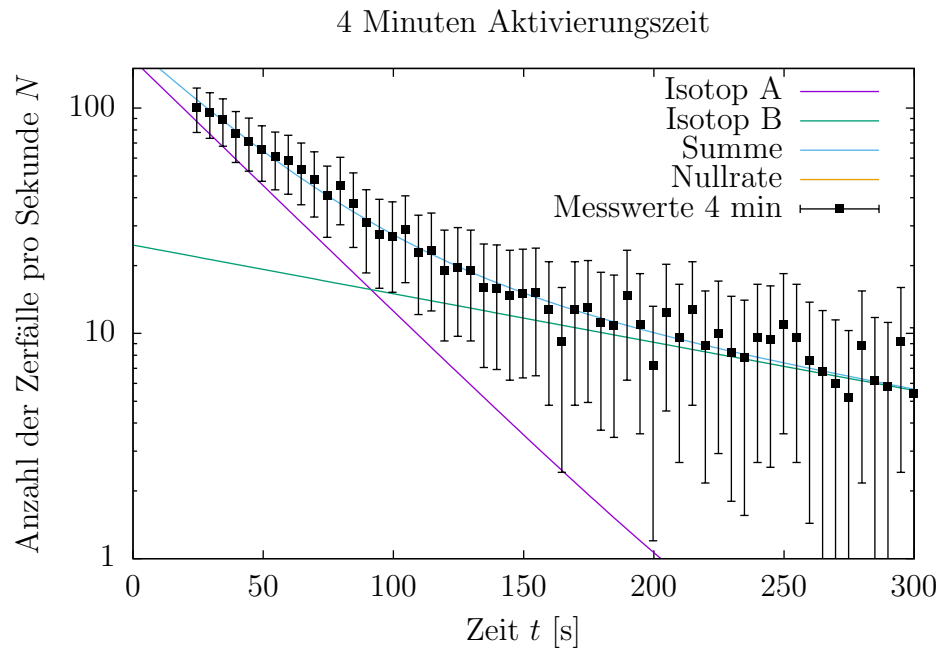


Abbildung 7: Zerfallsrate für 4 Minuten Aktivierung logarithmisch aufgetragen.

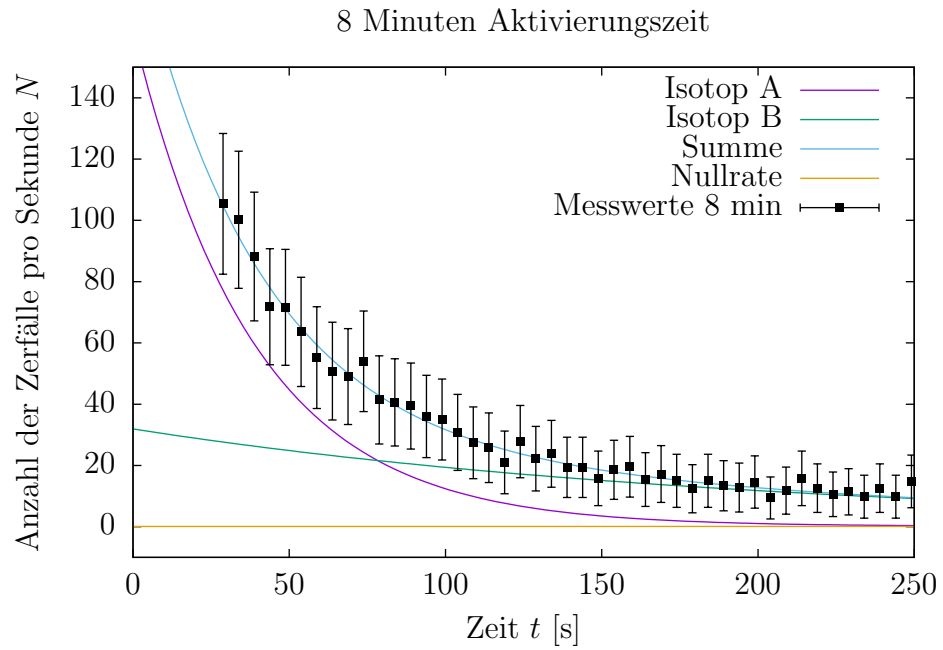


Abbildung 8: Zerfallsrate für 8 Minuten Aktivierung linear aufgetragen.

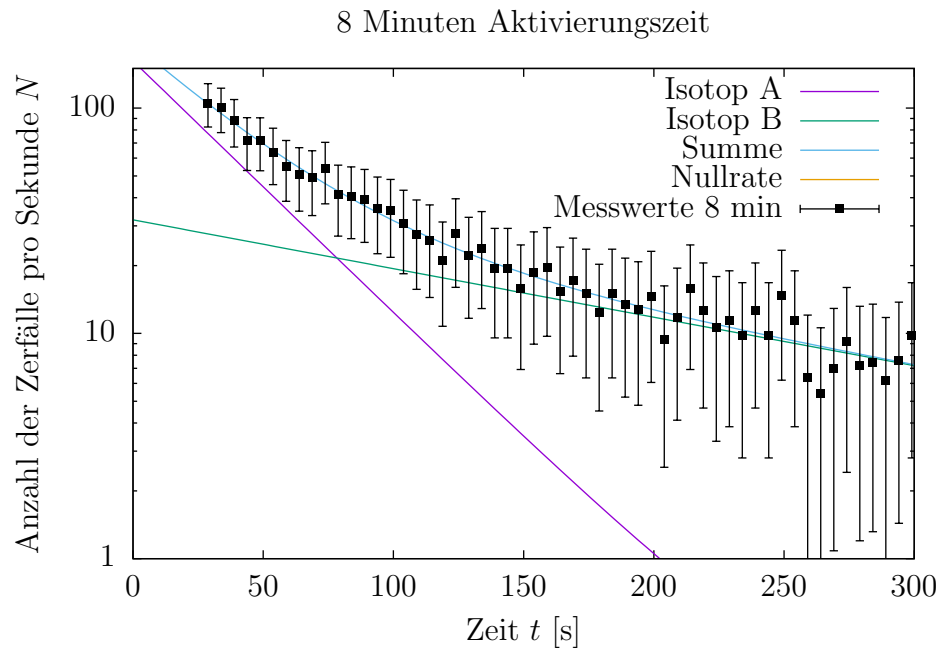


Abbildung 9: Zerfallsrate für 8 Minuten Aktivierung logarithmisch aufgetragen.

Variable	Wert aus Fit
N_0	$(0.12 \pm 0.03)\text{s}^{-1}$
N_{a1}	$(148 \pm 7)\text{s}^{-1}$
N_{a2}	$(159 \pm 7)\text{s}^{-1}$
N_{a4}	$(164 \pm 7)\text{s}^{-1}$
N_{a8}	$(162 \pm 8)\text{s}^{-1}$
N_{b1}	$(6 \pm 1)\text{s}^{-1}$
N_{b2}	$(15.3 \pm 1.3)\text{s}^{-1}$
N_{b4}	$(25 \pm 2)\text{s}^{-1}$
N_{b8}	$(31.8 \pm 2.2)\text{s}^{-1}$
T_a	$(26.9 \pm 0.9)\text{s}$
T_b	$(138 \pm 7)\text{s}$

Tabelle 1: 11 Parameter erhalten aus dem Gnuplot-Fit