

V702

## Aktivierung mit Neutronen

David Venker

Nico Guth

david.venker@tu-dortmund.de

nico.guth@tu-dortmund.de

Abgabe: 16.06.2020

gutes Protokoll,  
keine Korrekturen nötig

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Halbwertszeit . . . . .	3
2.2 Kernreaktionen mit Neutronen . . . . .	3
2.3 Erzeugung niederenergetischer Neutronen . . . . .	4
2.4 Untersuchung des Zerfalls instabiler Isotope . . . . .	4
<b>3 Durchführung</b>	<b>6</b>
3.1 Bestimmung der Untergrundrate . . . . .	6
3.2 Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium . . . . .	6
3.3 Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium . . . . .	6
<b>4 Auswertung</b>	<b>7</b>
4.1 Bestimmung der Untergrundrate . . . . .	7
4.2 Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium . . . . .	7
4.3 Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium . . . . .	8
<b>5 Diskussion</b>	<b>10</b>
<b>Literatur</b>	<b>11</b>

## 1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll die Halbwertszeit der Zerfälle von, mit Neutronen aktivierten, Vanadium- und Rhodiumproben bestimmt werden.

## 2 Theorie

### 2.1 Halbwertszeit

Atomkerne können unter Umständen sehr instabil werden. [Variieren] die Verhältnisse von Protonen und Neutronen zu sehr, kann es passieren, dass der Kern zerfällt. Dabei kann er entweder in einen stabilen Zustand zerfallen, oder in einen Zwischenzustand, der ebenfalls durch einen Zerfall in einen neuen Zustand übergeht. Es ist unmöglich zu sagen, wann genau dies bei einem einzelnen Atom passiert. Allerdings ist es möglich bei einer großen Anzahl an Kernen eine Aussage über die Anzahl der nicht zerfallenden Kerne zu treffen. Nachdem die sogenannte Halbwertszeit  $T$  verstrichen ist, sind noch die Hälfte der Kerne nicht zerfallen. Diese Größe kann je nach Kern über 23 Größenordnungen variieren. Um diesen Prozess und somit auch die Messung der Halbwertszeit zu verstehen, wird im Folgenden erklärt wie die instabilen Kerne genau funktionieren.

[ ] das klingt als würde sich das  $n$  zu  $p$  Verhältnis ständig ändern. Hier passt "unterscheiden" besser.

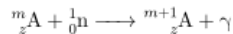
das ist ne sehr umgangssprachliche Formulierung.

### 2.2 Kernreaktionen mit Neutronen

Die instabilen Kerne müssen zunächst erzeugt werden. Einige von ihnen zerfallen so schnell, dass sie optimalerweise kurz vor der Messung erzeugt werden. [Dafür] werden Neutronen auf stabile Kerne [geschossen]. Der Kern nimmt die kinetische Energie auf und verteilt sie auf seine Nukleonen. Es ist jetzt nicht möglich ein Nukleon abzustößen, also gibt der Kern ein Photon  $\gamma$  ab. Damit begibt er sich in seinen Grundzustand zurück.

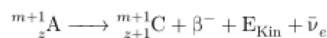
[ ] klingt nicht nach "langsamen" Neutronen.

[ ] das ist eine Möglichkeit



Wegen des neuen Neutrons ist auch dieser Kern nicht dauerhaft stabil und zerfällt schließlich auch, dabei emittiert er ein Elektron und ein Antineutrino. Beide Teilchen teilen sich die [Energie, die nach diesem Prozess überschüssig wäre].

[ kinetische



wie sollt man den zwischen überschüssiger und nicht-überschüssiger Energie unterscheiden?

→ Beim Zerfall erhalten  $\beta^-$  und  $\bar{\nu}_e$  jeweils kinetische Energie. (Das zugehörige Energiespektrum ist kontinuierlich.)

L gedachte (würde)

→ das ist nur eine Vorstellung, die Fläche ist nur "imaginär" und die Verben sind im Konjunktiv.

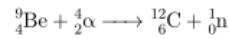
Ein weiterer wichtiger Begriff ist der Wirkungsquerschnitt  $\sigma$ . Dieser gibt eine Fläche an, in der jedes auf diese Fläche treffende Neutron eingefangen (wird). Wird eine dünne Folie mit einer Fläche von  $1 \text{ cm}^2$  mit der Dicke  $d$  und einer Anzahl Atome  $K$  pro  $\text{cm}^3$  von  $n$  Neutronen pro Sekunde getroffen, ergibt sich der Wirkungsquerschnitt

$$\sigma = \frac{u}{n K d}. \quad (1)$$

Wobei  $u$  die Anzahl der Kerne ist, die tatsächlich einschlagen.

### 2.3 Erzeugung niederenergetischer Neutronen

Um niederenergetische Neutronen zu erzeugen werden andere Kernreaktionen dafür genutzt. In diesem Versuch wird die Reaktion



verwendet. Nach dieser Reaktion sind die Neutronen allerdings hochenergetisch, also werden sie gebremst. Es wird eine Apparatur wie in Abbildung 1 verwendet. Dort werden die entstandenen Neutronen durch Paraffin geschickt, es besteht größtenteils aus Wasserstoff, dem idealen Stoßpartner für die Neutronen.

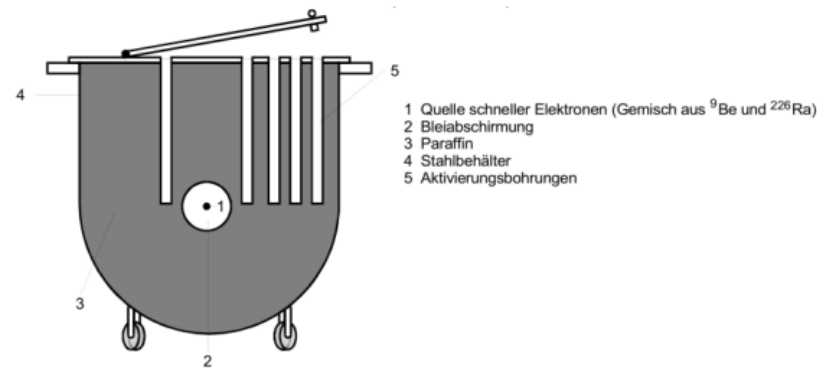


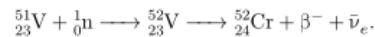
Abbildung 1: Querschnitt einer Quelle für thermische Neutronen.[1]

Bei einer Temperatur von 290 K besitzen sie dann noch eine Energie von etwa 0,025 eV. Neutronen mit so einer Energie werden thermische Elektronen genannt.

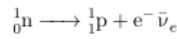
↳ Neutronen ;)

### 2.4 Untersuchung des Zerfalls instabiler Isotope

Die eigentliche Analyse der Isotope kann nun beginnen, im folgenden werden Vanadium und Rhodium Isotope betrachtet. Diese werden in die Aktivierungsschächte in Abbildung 1 gesteckt. Dort werden sie dann durch Neutronenbeschuss instabil und es wird der daraufhin auftretende Zerfall gemessen. Der Zerfall von Vanadium ist



Wegen des Neutronenüberschusses wandelt sich eines von ihnen in ein Proton, Elektron und ein Elektronen-Antineutrino um.



Dadurch entsteht das stabile Chrom. Dieser Zerfall wird ~~über die~~ <sup>mit der</sup> Funktion

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

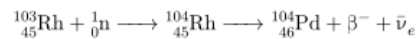
<sup>beschrieben</sup>

<sup>untersucht</sup>.  $N$  gibt die Anzahl der noch nicht zerfallenen Kerne an und  $N_0$  die Anzahl der bei  $t = 0$  vorliegenden Kerne.  $\lambda$  ist hier die Zerfallskonstante. Sie ist über die Halbwertszeit

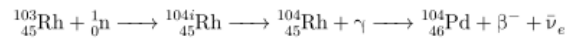
$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (3)$$

bestimmbar.

Rhodium zerfällt nicht nur auf eine Art, daher müssen hier zwei Fälle unterschieden werden. Zu 90% zerfällt es wie



Dies ist der erwünschte Zerfall, der auch gemessen werden soll. Es kann allerdings auch passieren, dass die Reaktion nach



verläuft. Dabei wird ein sogenannter isomerer Kern  ${}_{45}^{104i}\text{Rh}$  gebildet, der ein Photon aussendet und dadurch in einen anderen Zustand übergeht. Dieser Vorgang beeinflusst die Messung des ersten Zerfalls, trägt man die Messung beider Zerfälle auf, sieht es in etwa so aus, wie in Abbildung 2.

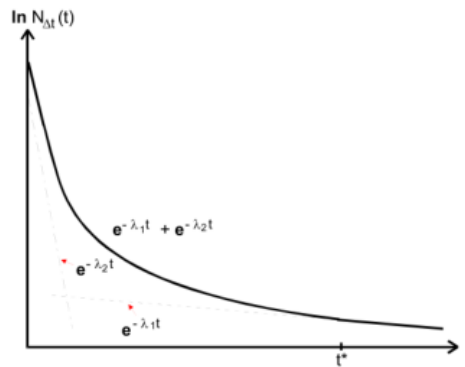


Abbildung 2: Zerfallskurve mit zwei verschieden schnell ablaufenden Zerfällen.[1]

Das ist ja nur die halbe Wahrheit, wir messen ja in Intervallen  $\Delta t$ , da ändert sich das Gesetz leicht.

die Zerfallskonstante wird nicht abgezogen, sondern die Anzahl der Kerne, die zum langlebigen Zerfall gehören!  
 ist natürlich nur ne statistische Schätzung.

Hier sind gleich zwei Zerfälle überlagert, ein kurzlebiger und ein langlebiger. Für die Auswertung wird zunächst die Zerfallskonstante des langlebigen Zerfalls bestimmt. Dann wird diese vom kurzlebigen Zerfall abgezogen.

### 3 Durchführung

#### 3.1 Bestimmung der Untergrundrate

Das erste Problem der Messung ist die Umgebungsradioaktivität, diese sollte so niedrig wie möglich gehalten werden. Dennoch muss diese Grundstrahlung aus den späteren Berechnungen herausgerechnet werden können. Dafür wird zunächst die Untergrundrate  $N_U$  berechnet. Für alle weiteren Versuche wird der Versuchsaufbau aus Abbildung 3 verwendet.

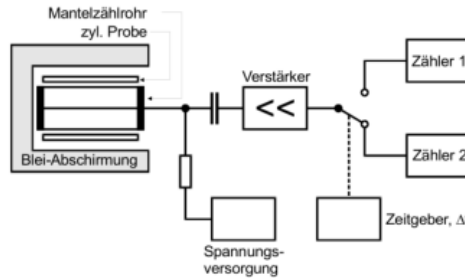


Abbildung 3: Schematischer Aufbau des Versuchs.[1]

In der Nullmessung, wird keine Probe eingesetzt. Für 300 s wird  $N_U$  sieben mal gemessen und die Zählrate notiert.

Stimmt natürlich, aber auf echte Umgebungsradioaktivität\* hat man kaum Einfluss. Man sollte nicht neben der Quelle stehen, auch aus anderen Gründen.\*\*  
 \* Betongebäude, Radon, Höhenstrahlung ...  
 \*\* Bleibt eigentlich nur die Nullmessung vorher

#### 3.2 Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium

Der Titel passt nicht so gut: Zerfallsmessung von ...  
 in 300 s 7x messen oder 7x 300s messen?

Es wird eine zerfallende Vanadium-Probe mit einer Apparatur wie in Abbildung 1 erzeugt und dann sofort in die Messapparatur gesteckt. Mit einer Integrationszeit von 30 s werden dann die Zerfälle gemessen. Nach 1230 s wird die Messung beendet.

#### 3.3 Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium

siehe oben

Für Rhodium wird die gleiche Messung wie für Vanadium durchgeführt. Der Unterschied ist hierbei, dass die Integrationszeit 15 s beträgt und dementsprechend bis 630 s gemessen wird.

## 4 Auswertung

### 4.1 Bestimmung der Untergrundrate

Die Messung der einfallenden Strahlung ohne eine vor den Zähler gestellte Probe ergab die Messwerte

$$N_0 = \{129, 143, 144, 136, 139, 126, 158\} \frac{\text{Imp}}{300\text{s}}.$$

Nun wird der Mittelwert und der Fehler des Mittelwerts berechnet und ergibt eine durchschnittliche Untergrundrate von

$$\begin{aligned}\bar{N}_0 &= (139 \pm 4) \frac{\text{Imp}}{300\text{s}} \\ &= (0,46 \pm 0,01) \frac{\text{Imp}}{\text{s}}.\end{aligned}$$

es ist generell sinnvoll, wenn man die Rate (so) stehen lässt, dann hat man noch Anzahlen (nur als Faustregel)

### 4.2 Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium

Die Messreihe der Intensität der zerfallenden Vanadiumprobe ( $^{52}_{23}\text{V}$ ) ergab die Messwerte in Tabelle 1. Von diesen Werten wird für alle folgenden Berechnungen die Untergrundrate  $N_0 = (13,9 \pm 0,4) \frac{\text{Imp}}{30\text{s}}$  abgezogen. Diese korrigierten Werte sind außerdem in Abbildung 4 logarithmisch dargestellt. Als Fehler wird hier aufgrund der Poissonverteilung  $\Delta N = \sqrt{N}$  angenommen.

Tabelle 1: Messergebnisse für die Vanadiumprobe

$t / \text{s}$	$N / \frac{\text{Imp}}{30\text{s}}$	$t / \text{s}$	$N / \frac{\text{Imp}}{30\text{s}}$	$t / \text{s}$	$N / \frac{\text{Imp}}{30\text{s}}$
30	$189 \pm 13$	480	$61 \pm 7$	930	$17 \pm 4$
60	$197 \pm 14$	510	$56 \pm 7$	960	$24 \pm 4$
90	$150 \pm 12$	540	$40 \pm 6$	990	$21 \pm 4$
120	$159 \pm 12$	570	$45 \pm 6$	1020	$25 \pm 5$
150	$155 \pm 12$	600	$32 \pm 5$	1050	$21 \pm 4$
180	$132 \pm 11$	630	$27 \pm 5$	1080	$24 \pm 4$
210	$117 \pm 10$	660	$43 \pm 6$	1110	$25 \pm 5$
240	$107 \pm 10$	690	$35 \pm 5$	1140	$17 \pm 4$
270	$94 \pm 9$	720	$19 \pm 4$	1170	$20 \pm 4$
300	$100 \pm 10$	750	$28 \pm 5$	1200	$19 \pm 4$
330	$79 \pm 8$	780	$27 \pm 5$	1230	$20 \pm 4$
360	$69 \pm 8$	810	$36 \pm 6$	1260	$18 \pm 4$
390	$81 \pm 9$	840	$25 \pm 5$	1290	$16 \pm 4$
420	$46 \pm 6$	870	$29 \pm 5$	1320	$17 \pm 4$
450	$49 \pm 7$	900	$18 \pm 4$		

Nun wird nach Gleichung 2 eine Ausgleichsgerade mit

$$\ln(N(t)) = \lambda t + b \quad (4)$$

unschön: \color oder gar nichts

Warum nehmt ihr nicht die aus der Anlehnung?

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

über die Funktion `curve_fit` der Python Bibliothek SciPy bestimmt und ebenfalls in Abbildung 4 dargestellt.[2] Die Bestimmung der Parameter ergibt

$$\lambda = (-0,0032 \pm 0,0001) \frac{1}{s}$$

$$b = 5,32 \pm 0,04.$$

Über Gleichung 3 lässt sich nun die Halbwertszeit zu

$$T = (215 \pm 7) s$$

berechnen. Ein Vergleichswert aus der Literatur ist

$$T_{\text{lit}} = 224,58 s.[3]$$

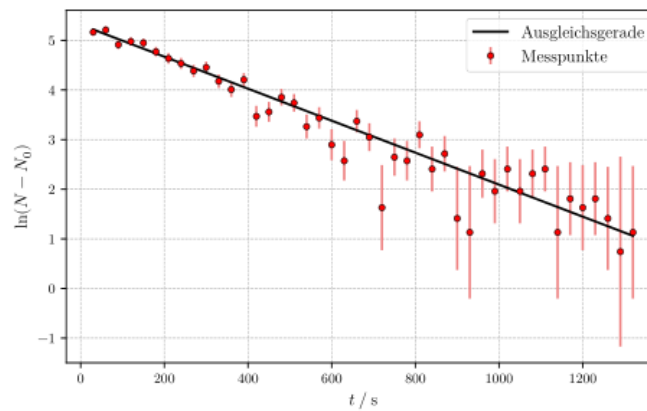


Abbildung 4: Plot der Messwerte für Vanadium

schöner Plot  
und plausibles  
Ergebnis



### 4.3 Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium

Die Messreihe der Intensität der zerfallenden Rhodiumprobe (ca. 10 %  $^{104i}_{45}Rh$  und 90 %  $^{104}_{45}Rh$ ) ergab die Messwerte in Tabelle 2. Auch hier wird für die weiteren Berechnungen die Untergrundrate  $N_0 = (6,96 \pm 0,20) \frac{\text{Imp}}{15s}$  abgezogen und der Fehler  $\Delta N = \sqrt{N}$  angenommen. Diese korrigierten Werte sind außerdem in Abbildung 5 logarithmisch dargestellt.

c) Gegensatz

Hier sind allerdings im Vergleich zu Vanadium zwei Zerfallsprozesse zu beobachten. Die Halbwertszeit von  $^{104i}_{45}Rh$  ist deutlich geringer und liefert wie in Abbildung 5 zu sehen ab einem gewissen Zeitpunkt nahezu keinen Beitrag zur Intensität mehr. Um also die

der Anleitung nach ist der isomere Kern der langlebige, weil Übergang in den Grundzustand (verboden) stark unterdrückt ist.



**Tabelle 2:** Messergebnisse für die Rhodiumprobe

$t / s$	$N / \frac{\text{Imp}}{15s}$	$t / s$	$N / \frac{\text{Imp}}{15s}$	$t / s$	$N / \frac{\text{Imp}}{15s}$
15	$667 \pm 25$	240	$52 \pm 7$	465	$20 \pm 4$
30	$585 \pm 24$	255	$56 \pm 7$	480	$24 \pm 4$
45	$474 \pm 21$	270	$53 \pm 7$	495	$30 \pm 5$
60	$399 \pm 19$	285	$41 \pm 6$	510	$30 \pm 5$
75	$304 \pm 17$	300	$36 \pm 6$	525	$26 \pm 5$
90	$253 \pm 15$	315	$37 \pm 6$	540	$28 \pm 5$
105	$213 \pm 14$	330	$32 \pm 5$	555	$23 \pm 4$
120	$173 \pm 13$	345	$36 \pm 6$	570	$20 \pm 4$
135	$152 \pm 12$	360	$38 \pm 6$	585	$28 \pm 5$
150	$126 \pm 11$	375	$34 \pm 5$	600	$17 \pm 4$
165	$111 \pm 10$	390	$40 \pm 6$	615	$26 \pm 5$
180	$92 \pm 9$	405	$21 \pm 4$	630	$19 \pm 4$
195	$79 \pm 8$	420	$35 \pm 5$	645	$13 \pm 3$
210	$74 \pm 8$	435	$33 \pm 5$	660	$17 \pm 4$
225	$60 \pm 7$	450	$36 \pm 6$		

siehe oben: andersrum  
<sup>104</sup><sub>45</sub>Rh: kurzlebig

Halbwertszeit vom langlebigeren <sup>104</sup><sub>45</sub>Rh zu bestimmen, wird eine Ausgleichsgerade durch alle Messwerte ab  $t = 270$  s gelegt, da hier der Übergang vom kurzlebigen zum langlebigen Zerfallsprozess nahezu vorüber ist. Somit ergeben sich nach Gleichung 4 die Parameter zu

$$\lambda_{\text{lang}} = (-0,0027 \pm 0,0004) \frac{1}{s}$$

$$b_{\text{lang}} = 4,35 \pm 0,17$$

und über Gleichung 3 eine Halbwertszeit von

$$T_{\text{lang}} = (257 \pm 37) s.$$

Der entsprechende Vergleichswert aus der Literatur ist

$$T_{\text{lang,lit}} = 260,4 s \cdot [3]$$

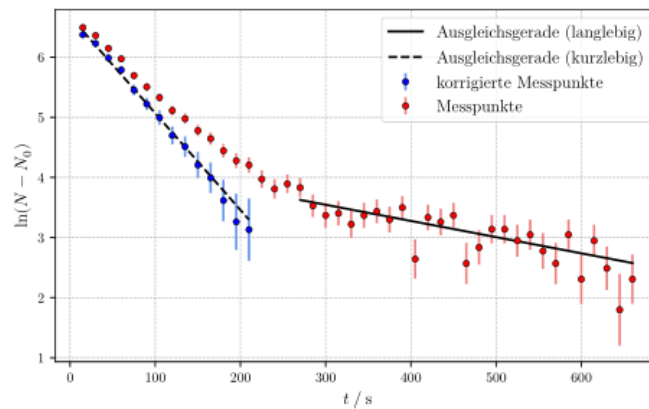
In der Zeit bis  $t = 210$  s ist analog nahezu nur der kurzlebige Zerfall zu beobachten, allerdings müssen hier die Messwerte über die extrapolierte Ausgleichsgerade des langlebigen Prozesses korrigiert werden. Also werden die in blau dargestellten Messwerte über

$$N_{\text{korrigiert}}(t) = N(t) - \exp(\lambda_{\text{lang}} * t + b_{\text{lang}}) \quad (5)$$

berechnet und für die Ausgleichsgerade des kurzlebigen Prozesses verwendet. Damit ergeben sich die Parameter zu

$$\lambda_{\text{kurz}} = (-0,0161 \pm 0,0004) \frac{1}{s}$$

$$b_{\text{kurz}} = 6,68 \pm 0,03$$



die sollte ihr auch  
extrapoliert darstellen  
z.B. gepunktet oder in grau,  
oder einfach überall schwarz.

Abbildung 5: Plot der Messwerte für Rhodium

und über Gleichung 3 eine Halbwertszeit von

$$T_{\text{kurz}} = (43 \pm 1) \text{ s.}$$

Der entsprechende Vergleichswert aus der Literatur ist

$$T_{\text{kurz,lit}} = 42,3 \text{ s. [3]}$$

gut gemachte Messungen  
und plausible Ergebnisse



## 5 Diskussion

Die Messung der Untergrundrate zeigt ausreichend geringe Abweichungen in der gemessenen Intensität, deswegen scheint der Mittelwert  $N_0 = 139 \frac{\text{Imp}}{300\text{s}}$  geeignet um damit zu rechnen. Allerdings muss bemerkt werden, dass dies eine Näherung ist und zu weiteren Abweichungen in allen nachfolgenden Berechnungen führen wird.

Die Messung der Vanadiumprobe zeigt den erwarteten exponentiellen Verlauf, allerdings sind die Messwert am Ende der Messzeit sehr ungenau, da die Intensität fast so niedrig ist wie der Untergrund. Die Halbwertszeit wurde zu

$$T_V = (215 \pm 7) \text{ s}$$

ermittelt und ergibt somit eine Abweichung vom Literaturwert von

$$\Delta T_V = 4,27 \text{ \%}.$$

verwendet ihr die  
Fehler beim Fit? (Das  
Argument "sigma"  
von curve-fit)

gut das ihr das anspricht  
allg. gilt: Wenn die Annahme  
berechtigt ist, dass eine Messgröße  
zeitlich konstant ist, so ist der  
Mittelwert immer ein adäquater  
Mittel um diesen Wert genauer  
bestimmen zu können.  
\* über mehrere Messungen

Die Messung der Rhodiumprobe zeigt ebenfalls das erwartete Bild, wobei auch hier die Messwerte am Ende der Messreihe hohe Ungenauigkeiten zeigen. Zuerst wurde die Halbwertszeit vom langlebigen Zerfalls zu

$$T_{\text{Rh,lang}} = (257 \pm 37) \text{ s}$$

ermittelt und ergibt eine Abweichung vom Literaturwert von

$$\Delta T_{\text{Rh,lang}} = 1,31 \%.$$

Allerdings muss hier erwähnt werden dass der statistische Fehler sehr hoch ist.

Dann wurde mithilfe der extrapolierten Ausgleichsrechnung des langlebigen Zerfalls der kurzlebige Zerfall untersucht. Hier ergibt sich eine Halbwertszeit von

$$T_{\text{Rh,kurz}} = (43 \pm 1) \text{ s}$$

und eine Abweichung vom Literaturwert von

$$\Delta T_{\text{Rh,kurz}} = 1,65 \%.$$

Insgesamt konnten trotz der gemachten Näherungen und der statistischen Natur des Versuchs gute Schätzwerte für die Halbwertszeiten berechnet werden.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 702 Aktivierung mit Neutronen*. 2020.
- [2] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [3] Thomas Jefferson National Accelerator Facility - Office of Science Education. *The Periodic Table of Elements*. URL: <https://education.jlab.org/itselemental/> (besucht am 06.06.2020).

gute Diskussion  
ihr könntet noch mehr  
auf die Fits eingehen:  
• qualitativ: Passt der Fit zu  
den Messwerten  
• quantitativ: Wie groß sind die  
Fehler von den Parametern