

V702

# **AKTIVIERUNG MIT NEUTRONEN**

Phuong Quynh Ngo  
phuong-quynh.ngo@tu-dortmund.de

Durchführung: 25.05.2020

Abgabe: DATUM

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
2.1	Die Kernreaktionen mit Neutronen . . . . .	3
2.2	Erzeugung niederenergetischer Neutronen . . . . .	4
2.3	Der Zerfall instabiler Isotope . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Aufbau und Durchführung</b>	<b>6</b>
3.1	Aufbau . . . . .	6
3.2	Duchführung . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>7</b>
4.1	Bestimmung der Untergrundrate . . . . .	8
4.2	Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium . . . . .	9
4.3	Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium . . . . .	10
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>15</b>
	<b>Literatur</b>	<b>17</b>

# 1 Einleitung

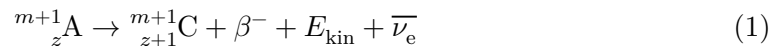
In diesem Versuch sollen die mittlere Halbwertszeiten bestimmt werden.

## 2 Theorie

Der Kern eines Atoms besteht aus Protonen und Neutronen. Dieser ist nur stabil, solange sich das Verhältnis beider innerhalb enger Grenzen befindet. Liegt es hingegen außerhalb der Grenzen ist der Kern instabil und zerfällt zu einem kleineren Kern. Das entsprechende Atom ist dann radioaktiv. Die Wahrscheinlichkeit mit welcher ein Kern innerhalb eines Zeitintervalls wird über seine Halbwertszeit  $T$  definiert, nach welcher die Hälfte der Kerne zerfallen sind.

### 2.1 Die Kernreaktionen mit Neutronen

Dringt ein freies Neutron in den Wechselwirkungsbereich eines Kerns  $A$  ein, wird es von letzterem absorbiert. Der neue Kern  $A^*$  wird als Compoundkern bezeichnet und liegt energetisch um die Gesamtenergie des Neutrons höher. Die zusätzliche Energie verteilt sich über die Nukleonen des Kerns und hebt diese in höhere Niveaus. Aufgrund der Energieverteilung besitzen die einzelnen Nukleonen nun zu wenig Energie, um das neue Neutron wieder abzustossen und geben die überschüssige Energie nur in Form von Gammaquanten wieder ab. Der neue Kern ist nun nicht mehr stabil und wandelt sich unter Abgabe eines Elektrons  $\beta^-$  und eines Antineutrinos  $\bar{\nu}_e$  in einen stabilen Kern um.



Die nun überschüssige Energie geht in kinetische Energie von Elektron und Antineutrino über. Die Wahrscheinlichkeit, mit welcher ein Kern ein freies Neutron fängt wird über den Wirkungsquerschnitt  $\sigma$  dargestellt. Dieser beschreibt die Fläche, die ein theoretischer Kern besitzen müsste um jedes Neutron zu fangen. Für ihn gilt:

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

mit der Neutronenanzahl  $n$ , der Einfänge  $u$  auf einer  $1\text{cm}^2$  großen Folie der Dicke  $d$  und  $K$  Atomen pro  $\text{cm}^3$ . Es zeigt sich jedoch, dass zwischen langsamen und schnellen Neutronen unterschieden werden muss. Ist die Geschwindigkeit des Neutrons groß, so ist die de-Broglie Wellenlänge des Neutrons klein gegenüber dem Kern und das Problem kann rein geometrisch betrachtet werden. Ist sie jedoch gering, so rücken die quantenmechanischen Effekte in den Vordergrund. In Näherung kann

$$\sigma = \frac{1}{v} \quad (3)$$

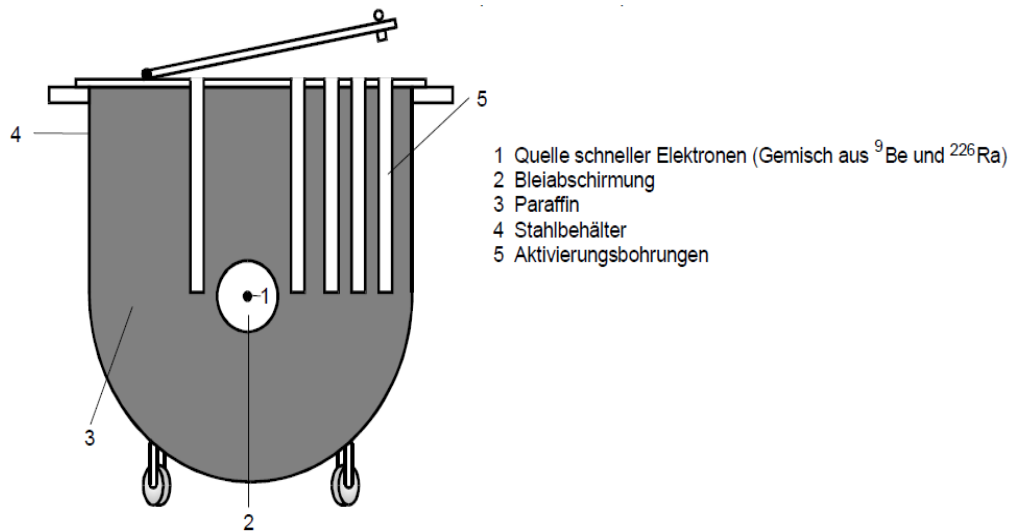
angenommen werden, welches mit der Vorstellung übereinstimmt, dass sich ein langsames Neutron länger im Wirkungsbereich des Kerns aufhält. Somit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Kernkräfte es in den Kern ziehen.

## 2.2 Erzeugung niederenergetischer Neutronen

Um die benötigten Neutronen zu gewinnen werden  $^9\text{Be}$ -Kerne mit der Alphastrahlung einer  $^{226}\text{Ra}$  Quelle beschossen. Dabei gilt:



Die entstandenen Neutronen besitzen ein kontinuierliches Energiespektrum bis zu 13.7 MeV. Um sie auf die gewünschte mittlere kinetische Energie von 0,025 eV zu bringen, diffundieren sie vor dem Probenkontakt durch dicke Materieschichten, in welchen sie ihre kinetische Energie in elastischen Stößen abgeben. Die Stöße sind am effektivsten, wenn der Stoßpartner Wasserstoff ist. Die benutzte Neutronenquelle besitzt daher einen Mantel aus Paraffin (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Der Querschnitt durch die verwendete Quelle für thermische Neutronen.[1]

Wenn die Neutronen die Probe erreichen bewegen sie sich im Mittel nur noch mit 2,2 km/s. Solche Neutronen werden als thermische Neutronen bezeichnet.

## 2.3 Der Zerfall instabiler Isotope

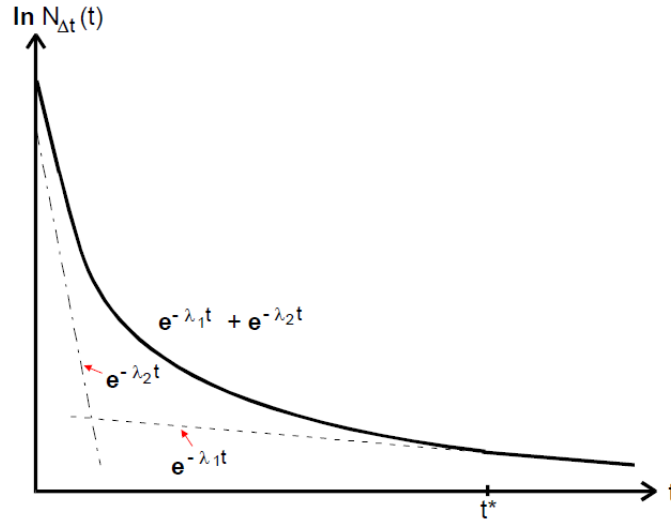
Ein instabiles Isotop zerfällt wie bereits beschrieben in stabile, leichtere Isotope. Für die Anzahl der zum Zeitpunkt  $t$  noch nicht zerfallenen Kerne gilt dabei:

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

mit den anfänglichen Kernen  $N_0$  und der Zerfallskonstante  $\lambda$ . Für  $T$  folgt:

$$T = \frac{\log(2)}{\lambda}. \quad (6)$$

Die zur Zeit  $t$  noch existierenden Kerne zu bestimmen ist jedoch sehr schwierig. Deswegen werden stattdessen die auftretenden Zerfälle in einem festen Zeitintervall gemessen, da diese ebenso exponentiell mit der Zeit abfallen. Dies ist in Abbildung 2 dargestellt.



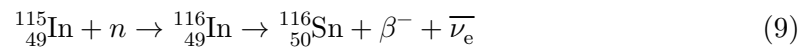
**Abbildung 2:** Die Zerfallskurve eines Präparates.[1]

Für sie gilt:

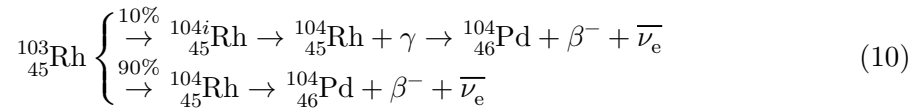
$$N_{\Delta t}(t) = N_0 (1 - e^{-\lambda \Delta t}) e^{-\lambda t} \text{ bzw. } \ln(N_{\Delta t}(t)) \quad (7)$$

$$= \ln(N_0(1 - e^{-\lambda \Delta t})) - \lambda t. \quad (8)$$

Es ist jedoch darauf zu achten geeignete Zeitintervalle zu verwenden, damit die statistischen Fehler gering bleiben, jedoch auch keine systematischen Fehler auftreten. Auf diese Weise kann das Zerfallsverhalten vieler Stoffe untersucht werden. Für das Element Indium gilt beispielsweise:



Es gibt jedoch auch einige Sonderfälle, von denen der Fall Rhodium nun gesondert betrachtet wird.



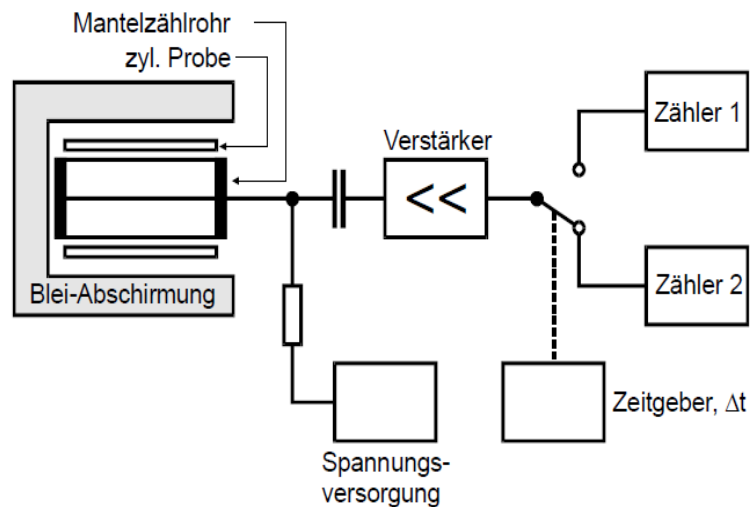
Bei der Aktivierung von reinem  ${}^{103}\text{Rh}$  durch Neutronen können nach der Zerfallsreihe in (10) zwei verschiedene Isomere entstehen, welche sich in ihrer Energie unterscheiden. Das langlebige  ${}^{104i}\text{Rh}$  zerfällt anschließend wieder zu energieärmeren  ${}^{104}\text{Rh}$ . Das verwendete Zählrohr zählt jedoch die Zerfälle beider Reihen. Aufgrund der sehr unterschiedlich

Halbwertszeiten kann jedoch davon ausgegangen werden, dass das kurzlebige Isomer nach einiger Zeit zerfallen ist und von da an nur noch Zerfälle des langlebigen registriert werden. Zwar zerfällt auch das durch den  $^{104i}\text{Rh}$ - Zerfall entstandene  $^{104}\text{Rh}$  weiter zu  $^{104}\text{Pd}$ , jedoch spielen diese Zerfälle nur eine untergeordnete Rolle.

### 3 Aufbau und Durchführung

#### 3.1 Aufbau

Der Messaufbau besteht im Kern aus einem radioaktiven Isotop und einem Geiger-Müller-Zählrohr, welches die auftretenden Zerfälle registriert (siehe Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Eine schematische Darstellung des Messaufbaus. [1]

Dieses besteht aus einer mit Argon gefüllten Röhre. Trifft nun ein Betateilchen oder ein Gammaquant auf das Argon, wird dieses ionisiert und sorgt aufgrund einer hohen anliegenden Spannung für eine Elektronenlawine. Die Spannung kann anschließend ohne einen größeren Verstärker gemessen werden. Die Messzeit kann am Ausgabegerät des Zählrohrs eingestellt werden. Nach einem Durchlauf wird auf ein zweites Zählwerk gewechselt, sodass die aktuellen Ergebnisse notiert werden können. Zusätzlich ist der Messaufbau mit einer Bleikleidung versehen. Zum einen schirmt Sie das Messgerät vor verfälschender kosmischer Strahlung ab, zum anderen schützt Sie den Anwender vor der vorherrschenden Radioaktivität. Um die benötigten radioaktiven Isotope zu erzeugen, werden stabile Kerne in einem Behälter nach mit Neutronen beschossen. Um die Ausbeute zu maximieren durchlaufen die Neutronen zunächst jedoch eine bremsende Paraffinschicht.

### 3.2 Durchführung

Als erstes wird eine Messung für den Nulleffekt  $N_U$  durchgeführt. Um Fehler aufgrund von Störquellen, wie kosmischer Strahlung, zu minimieren wird zunächst ein Leerlauf ohne Isotop über 600s durchgeführt. Nun folgt zunächst eine Zerfallsmessung des Elementes Vanadium. Die Vanadium-Probe wird in das Geiger-Müller-Zählrohr gesteckt, wie in Abbildung 4 dargestellt ist.



Abbildung 4: Der Versuchsaufbau. [1]

Es wird in einem Intervall von  $\Delta t = 30$  s gemessen. Anschließend wird die Vanadium-Probe durch die Rhodium-Probe ausgetauscht. Diesmal wird die Messung in einem Zeitintervall von  $\Delta t = 15$  s gemessen.

## 4 Auswertung

Die Formel für den Mittelwert lautet

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (11)$$

Die Standardabweichung wird mit folgender Formel

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

berechnet. Die Formel für den Fehler des Mittelwertes lautet

$$\Delta \bar{x} = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (13)$$

Diese werden im Folgenden verwendet.

#### 4.1 Bestimmung der Untergrundrate

Die Untergrundrate  $N_U$  wird mehrfach gemessen mit dem Messintervall  $\Delta t = 300\text{s}$ .

Die Messwerte von  $N_U$  betragen  $=\{129, 143, 144, 136, 139, 126, 158\}$  Imp.

Der Untergrund  $N_U$  wird mit der Formel

$$N_U = \frac{\bar{N}_U}{\Delta t} \quad (14)$$

bestimmt. Der Untergrund ergibt

$$N_U = (0,464 \pm 0,033) \text{ Imp.}$$

Der Untergrund (Anzahl der Impulsen bei der ohne Probe erhältlichen Zählrohr) werden bei der folgenden Teilen des Versuches von den Zählraten abgezogen.



## 4.2 Bestimmung der Halbwertszeit von Vanadium

Die aktivierte Vanadiumprobe wird direkt nach dem Entnehmen aus der Neutronenquelle auf das Geiger-Muller-Zählrohr gesteckt, dann wird die Messung gestartet. Als Messintervall wird  $\Delta t = 30\text{s}$  gewählt. Die Nullraten werden aus den gemessenen Zählraten mit Formel

$$N = N_{\text{mess}} - N_U \cdot \Delta t \quad (15)$$

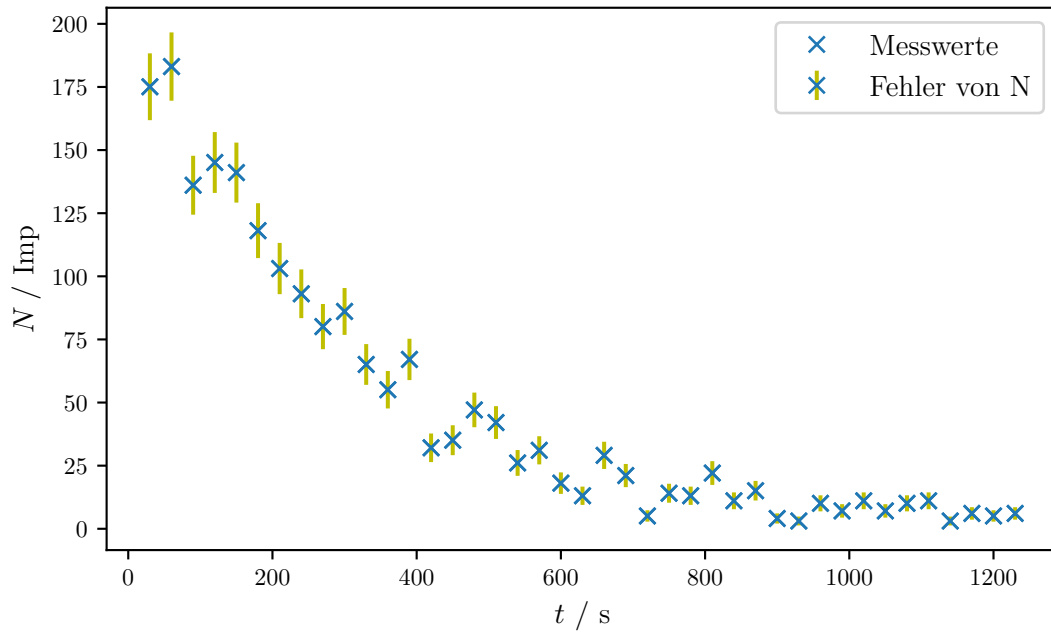
abgezogen und die Fehler der Zählraten werden mit Formel

$$\Delta N = \sqrt{N} \quad (16)$$

berechnet.

Diese Messwerte und berechneten Werte sind in Tabelle 1 (siehe 6) aufgelistet.

Die Zerfallskurve der Vanadiumprobe wird in Grafik 5 veranschaulicht.



**Abbildung 5:** Die Zerfallskurve der Vanadiumprobe.

Da die letzten Zeitintervalle sehr geringe Zählraten haben, wird die Bestimmung der Zerfallszeit dadurch sehr ungenau. Deswegen werden nur die Messwerte verwendet, die im Zeitintervall von 0 bis 540 s gemessen werden. In diesem Zeitintervall wird eine lineare Regression hinzugeführt. Die Ausgleichsgerade besitzt die Form:

$$\ln(N) = -a \cdot t + b \quad (17)$$

mit  $a = \lambda$ ,  $b = \ln(N_{t=0})(1 - e^{\lambda \Delta t})$ .  
Die Parameter ergeben

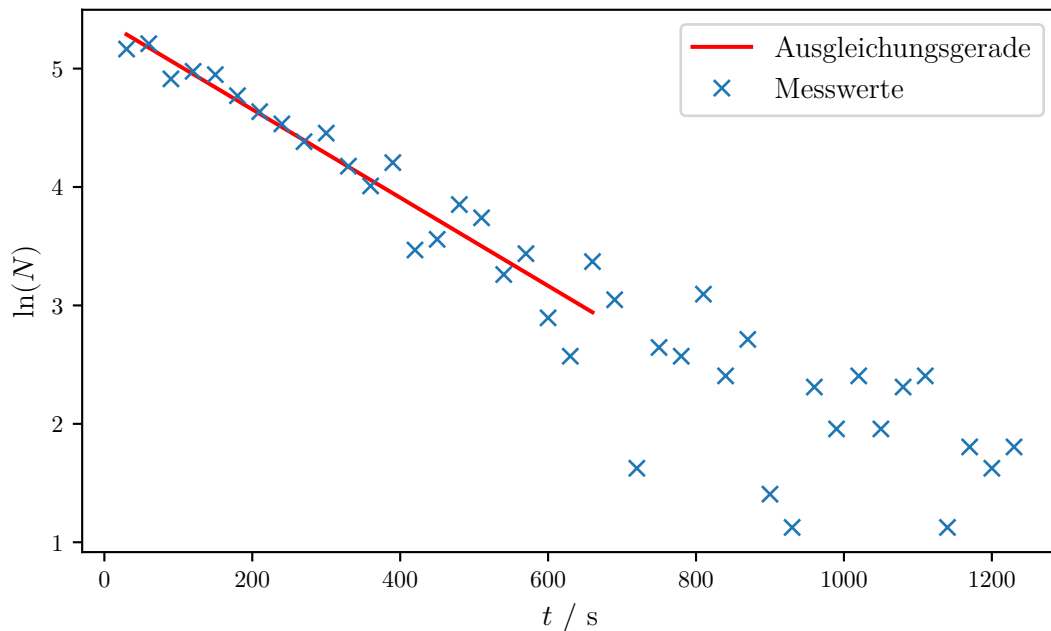
$$a = (3,724 \pm 0,246) \cdot 10^{-3} \frac{1}{s}$$

$$b = (5,400 \pm 0,097).$$

Daraus ergibt sich die Halbwertszeit von Vanadium

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = (186,130 \pm 12,295) \text{ s.} \quad (18)$$

Zur Bestimmung der Zerfallskonstante  $\lambda$  und Halbwertszeit  $T$  der Vanadiumprobe wird eine Ausgleichungsgerade hinzugeführt. Diese wird in Abbildung 6 dargestellt.

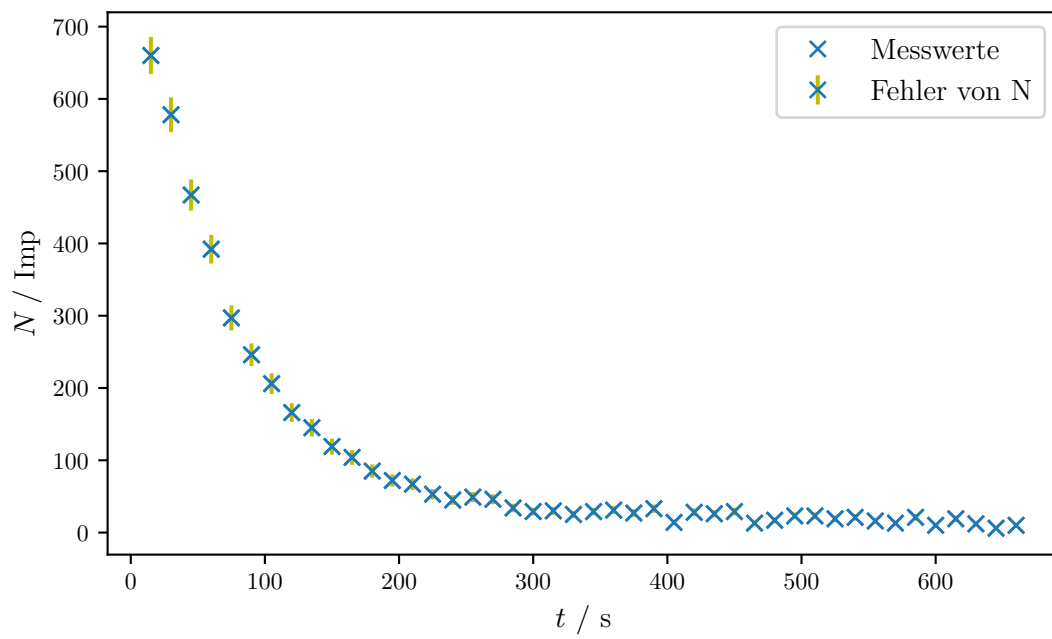


**Abbildung 6:** Die Ausgleichungskurve zur Bestimmung der Zerfallskonstante und Halbwertszeit der Vanadiumprobe.

### 4.3 Bestimmung der Halbwertszeit von Rhodium

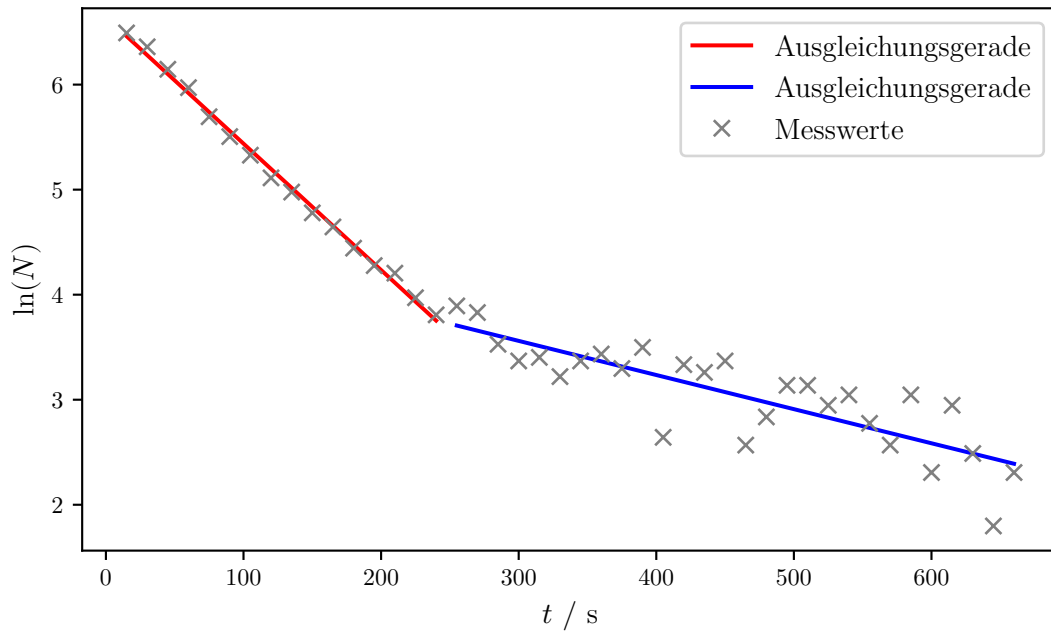
Die Messung wird analog zu der Messung mit Vanadium durchgeführt. Der Messintervall beträgt bei Rhodium  $\Delta t = 15 \text{ s}$ . Diese Messwerte und berechneten Werte sind in Tabelle 2 (siehe 6) aufgelistet.

Die Zerfallskurve der Rhodiumprobe wird in Grafik 7 veranschaulicht.



**Abbildung 7:** Die Zerfallskurve der Rhodiumprobe.

Die Ausgleichungskurven zur Bestimmung der Zerfallskonstante  $\lambda$  und Halbwertszeit  $T$  der Rhodiumprobe werden in Grafik 8 veranschaulicht.



**Abbildung 8:** Die Ausgleichungskurven zur Bestimmung der Zerfallskonstante und Halbwertszeit der Rhodiumprobe.

Wie aus der Abbildung 7 hervorgeht, besteht die Probe nicht aus einem einzelnen radioaktiven Nuklid, sondern aus zwei unabhängig zerfallenden Nukliden. In diesem Zeitintervall werden die lineare Regressionen hinzugeführt.

Die Ausgleichsgerade besitzt die Form:

$$\ln(N) = -a_{1,2} \cdot t + b_{1,2} \quad (19)$$

mit  $a_{1,2} = \lambda_{1,2}$ ,  $b_{1,2} = \ln(N_{t=0})(1 - e^{\lambda_{1,2}\Delta t})$ .

Die Parameter ergeben

$$a_1 = (12,035 \pm 0,207) \cdot 10^{-3} \frac{1}{s}$$

$$b_1 = (6,641 \pm 0,030).$$

$$a_2 = (3,249 \pm 0,430) \cdot 10^{-3} \frac{1}{s}$$

$$b_2 = (4,535 \pm 0,204).$$

Aus den Steigungen  $a_1$  und  $a_2$  der beiden eingezeichneten Geraden lassen sich näherungsweise die Halbwertszeiten  $T_{1,2}$  (entspricht dem kurzlebigen und langlebigen Zerfall)

$$\begin{aligned}T_1 &= (57,594 \pm 0,991) \text{ s} \\T_2 &= (213,341 \pm 28,235) \text{ s}\end{aligned}$$

bestimmen.

## 5 Diskussion

Die Abweichung wird im folgenden mit der Formel

$$\text{Abweichung } f = \left| \frac{\text{Berechnete Werte} - \text{Literaturwerte}}{\text{Literaturwerte}} \right| \cdot 100\% \quad (20)$$

berechnet. Bei dem Versuch werden folgende Einflüsse (systemmatische Fehler) nicht berücksichtigt:

1. Ablesefehler bei Messgeräten
2. Fehler in den Messgeräten bzw. Messmitteln
3. Schwankungen der Netzspannung

Der experimentelle Wert der Halbwertszeit der Vanadiumprobe beträgt  $T = (186,130 \pm 12,295) \text{ s}$ . Der Theoriewert von der Halbwertszeit der Vanadiumprobe lautet  $T = 224,6 \text{ s}$  [2]. Für die relative Abweichung ergibt sich 17,128%.

Der experimentelle Wert der Halbwertszeit der Rhodiumprobe beträgt  $T = (213,341 \pm 28,235) \text{ s}$ . Der Theoriewert von der Halbwertszeit der Rhodiumprobe lautet  $T = 260 \text{ s}$  [3]. Für die relative Abweichung ergibt sich 17,946%.



## 6 Anhang

**Tabelle 1:** Die gemessen und berechneten Daten für Vanadium.

$t/s$	$N_{\text{mess}}/\text{Imp}$	$N/\text{Imp}$	$\Delta N/\text{Imp}$	$\ln(N)$
30	189	175,08	13,232	5,165
60	197	183,08	13,531	5,210
90	150	136,08	11,665	4,913
120	159	145,08	12,045	4,977
150	155	141,08	11,878	4,949
180	132	118,08	10,866	4,771
210	117	103,08	10,153	4,636
240	107	93,08	9,648	4,533
270	94	80,08	8,949	4,383
300	100	86,08	9,278	4,455
330	79	65,08	8,067	4,176
360	69	55,08	7,422	4,009
390	81	67,08	8,190	4,206
420	46	32,08	5,664	3,468
450	49	35,08	5,923	3,558
480	61	47,08	6,861	3,852
510	56	42,08	6,487	3,740
540	40	26,08	5,107	3,261
570	45	31,08	5,575	3,437
600	32	18,08	4,252	2,895
630	27	13,08	3,617	2,571
660	43	29,08	5,393	3,370
690	35	21,08	4,591	3,048
720	19	5,08	2,254	1,625
750	28	14,08	3,752	2,645
780	27	13,08	3,617	2,571
810	36	22,08	4,699	3,095
840	25	11,08	3,329	2,405
870	29	15,08	3,883	2,713
900	18	4,08	2,020	1,406
930	17	3,08	1,755	1,125
960	24	10,08	3,175	2,311
990	21	7,08	2,661	1,957
1020	25	11,08	3,329	2,405
1050	21	7,08	2,661	1,957
1080	24	10,08	3,175	2,311
1110	25	11,08	3,329	2,405
1140	17	3,08	1,755	1,125
1170	20	6,08	2,466	1,805
1200	19	5,08	2,254	1,625
1230	20	6,08	2,466	1,805

**Tabelle 2:** Die gemessen und berechneten Daten für Rhodium.

$t/s$	$N_{\text{mess}}/\text{Imp}$	$N/\text{Imp}$	$\Delta N/\text{Imp}$	$\ln(N)$
15	667	660,04	25,691	6,492
30	585	578,04	24,042	6,360
45	474	467,04	21,611	6,146
60	399	392,04	19,800	5,971
75	304	297,04	17,235	5,694
90	253	246,04	15,686	5,505
105	213	206,04	14,354	5,328
120	173	166,04	12,886	5,112
135	152	145,04	12,043	4,977
150	126	119,04	10,911	4,779
165	111	104,04	10,200	4,645
180	92	85,04	9,222	4,443
195	79	72,04	8,488	4,277
210	74	67,04	8,188	4,205
225	60	53,04	7,283	3,971
240	52	45,04	6,711	3,808
255	56	49,04	7,003	3,893
270	53	46,04	6,785	3,830
285	41	34,04	5,834	3,528
300	36	29,04	5,389	3,369
315	37	30,04	5,481	3,403
330	32	25,04	5,004	3,220
345	36	29,04	5,389	3,369
360	38	31,04	5,571	3,435
375	34	27,04	5,200	3,297
390	40	33,04	5,748	3,498
405	21	14,04	3,747	2,642
420	35	28,04	5,295	3,334
435	33	26,04	5,103	3,260
450	36	29,04	5,389	3,369
465	20	13,04	3,611	2,568
480	24	17,04	4,128	2,836
495	30	23,04	4,800	3,137
510	30	23,04	4,800	3,137
525	26	19,04	4,363	2,947
540	28	21,04	4,587	3,046
555	23	16,04	4,005	2,775
570	20	13,04	3,611	2,568
585	28	21,04	4,587	3,046
600	17	10,04	3,169	2,307
615	26	19,04	4,363	2,947
630	19	12,04	3,470	2,488
645	13	6,04	2,458	1,798
660	17	10,04	3,169	2,307



## Literatur

- [1] *V702 Aktivierung mit Neutronen*. Eingesehen am 25.06.2020. URL: <https://moodle.tu-dortmund.de/mod/folder/view.php?id=600354>.
- [2] *Die Halbwertszeit von Vanadium 52*. Eingesehen am 29.06.2020. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=23&mz=52&nrg=0&show=nuklid&sel=>.
- [3] *Die Halbwertszeit von Rhothium*. Eingesehen am 29.06.2020. URL: <http://www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=45&mz=104&nrg=0.129&show=nuklid&sel=>.