

# Auswertung P2-80 – Beta & Gamma Absorption

Michael Prim & Tobias Volkenandt

17. Juli 2006

## Aufgabe 1.1 – Bestimmung der Zählrohrcharakteristik

Zur Bestimmung der Zählrohrcharakteristik führten wir mit dem Sr-90/Y-90 Präparat #1375 eine Messung der Zählrate, sowie der Impulshöhe, in Abhängigkeit der Betriebsspannung am Zählrohr durch.

Eine Einzelmessung dauerte 20 Sekunden.

Betriebsspannung [V]	Zählrate [N/20s]	Impulshöhe [V]
243	0	0
313	0	0
363	0	0
387	1307	1,0
395	1672	1,1
413	2282	1,5
425	2467	1,7
437	2735	2,0
450	3026	2,2
466	3173	2,5
478	3434	2,8
488	3516	3,0
495	3674	3,2
508	3848	3,4
525	3941	3,8
546	4102	4,2
561	4353	4,5

Tabelle 1: Messwerte zur Zählrohrcharakteristik

Trägt man nun die Zählrate über der Betriebsspannung wie in Diagramm 1 auf, so ist leider nicht das erwartete Plateau zu erkennen. Auf Anraten unseres Tutors wählten wir daher im weiteren Verlauf 561V als Betriebsspannung.

In Diagramm 2 ist jedoch deutlich zu erkennen, dass die Impulshöhe über der Betriebsspannung einem linearen Verlauf folgt. Es wurden dabei nur die Wertepaare aufgetragen, bei denen überhaupt Impulse gemessen wurden.

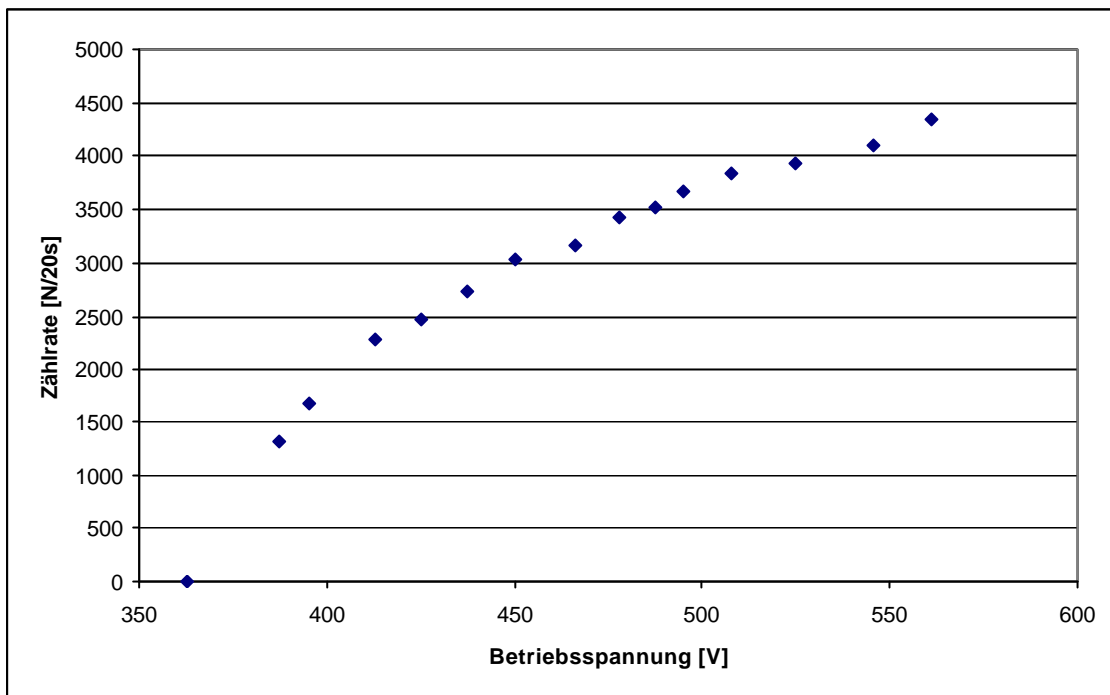


Diagramm 1: Zählrate über der Betriebsspannung

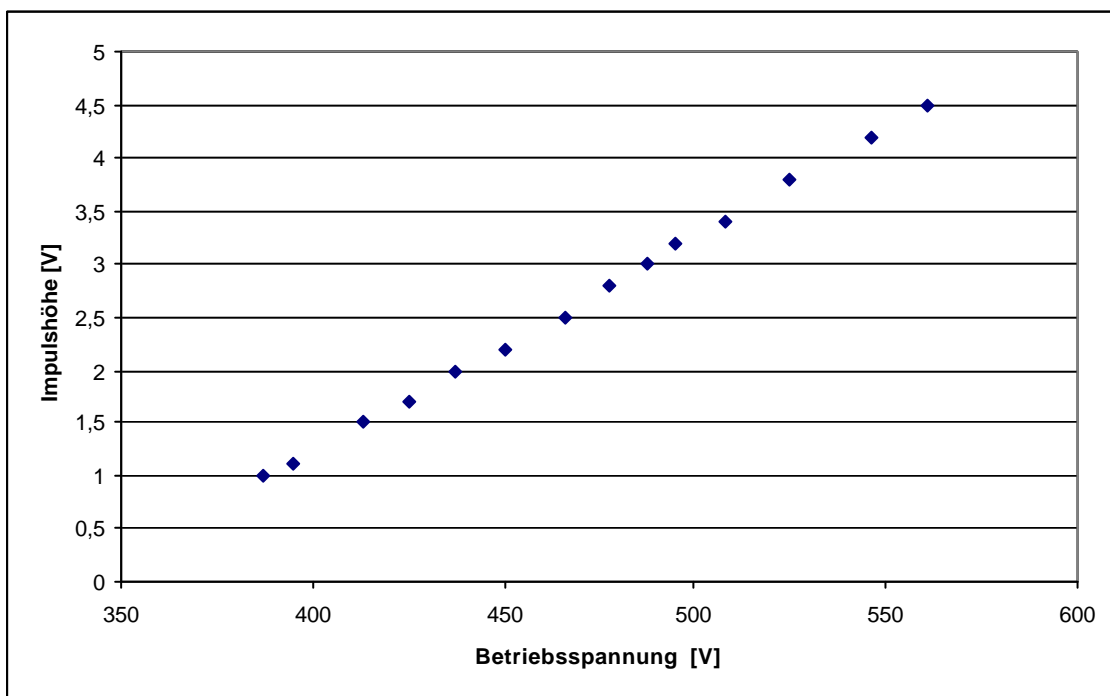


Diagramm 2: Impulshöhe über der Betriebsspannung

## Aufgabe 1.2 – Oszillographische Bestimmung der Totzeit

Wir versuchten am Oszilloskop den Abstand zwischen zwei Impulsmaxima zu messen, was aufgrund des sich schnell verändernden Bildes eher qualitativen Charakter hatte.

$$T \text{ [ms]} \quad | \quad 1 \quad | \quad 1,8 \quad | \quad 1,2$$

Die Totzeit entspricht dem Abstand zwischen zwei Impulsmaxima, womit sich eine mittlere Totzeit von  $\bar{\tau} = 1,33 \text{ ms}$  ergab.

### Aufgabe 1.3 – Bestimmung der Totzeit aus Zählergebnissen

Um die Totzeit genauer zu bestimmen, führten wir Messungen der Zählrate für einzelne Präparate und zwei Präparate gleichzeitig durch um mit der angegebenen Auswerteformel die Totzeit zu bestimmen.

$$t = \frac{T}{N_{12}} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{(N_1 + N_2 - N_{12}) \cdot N_{12}}{N_1 \cdot N_2}} \right)$$

Wir führten die Messung zweimal durch. Einmal für eine Zählrate von ca. 150/s wenn beide Präparate auf das Geiger-Müller-Zählrohr gerichtet sind und einmal für ca. 300/s. Wir wählten 300/s als Zählrate entgegen der 500/s, welche in der Aufgabenstellung angegeben war, da sich Letztere nicht realisieren ließ.

Beide Messungen erfolgten über eine Dauer von  $T = 20s$ . Auf Anraten des Tutors wählten wir zwei Sr-90/Y-90 Präparate statt eines Sr-90/Y-90 und eines Co-60 Präparates.

$N_1$  bezeichnet das Sr-90/Y-90 Präparat #1375

$N_2$  bezeichnet das Sr-90/Y-90 Präparat #24c

$N_{12}$  bezeichnet die beiden Präparate gemeinsam

	Messung mit ~150/s	Messung mit ~300/s
	Zählrate [N/20s]	Zählrate [N/20s]
$N_1$	1642	3763
$N_2$	1372	3166
$N_{12}$	2745	5996

Tabelle 3: Messwerte zur Totzeitbestimmung

Es ergaben sich mit oben stehender Auswerteformel die folgenden Totzeiten:

$$t_{150/s} = 0,001312s = 1,312ms$$

$$t_{300/s} = 0,000906s = 0,906ms$$

Im weiteren Verlauf des Versuchs verwenden wir als Totzeit stets den Mittelwert dieser beiden Messungen.

$$\bar{t} = 0,001109s = 1,109ms$$

## Aufgabe 1.4 – Absorption der Beta-Strahlung durch Aluminium

Um das Absorptionsvermögen von Aluminium zu bestimmen, brachten wir unterschiedlich dicke Aluminiumplatten zwischen Zählrohr und Sr-90/Y-90 Präparat #1375 um dann die Zählrate zu bestimmen.

Hierbei ist zu beachten, dass die Dicke der Präparatabdeckung, das Zählrohrfenster und der Luftweg zusammen etwa das Absorptionsvermögen von 12µm Aluminium besitzen. Dieser Wert ist daher noch als Korrekturfaktor auf die Dicke aufzusummieren.

Weiterhin ist die Zählrate noch um die Totzeit des Zählrohrs und die Hintergrundstrahlung  $N_0$  gemäß der folgenden Beziehung aus der Vorbereitung zu korrigieren:

$$N_{\text{kor}} = \frac{N}{1 - N \cdot t} - N_0$$

Die Hintergrundstrahlung kann hierbei aus der Messung in Aufgabe 1.6 bestimmt werden, in der die Gesamtzeit für 300 Pulse der Hintergrundstrahlung 527,89 Sekunden beträgt, womit sich eine Hintergrundstrahlung von  $N_0 = 0,568/s$  ergibt.

Dies ersparte uns eine separate Messung im Rahmen dieses Aufgabenteils. Außerdem ist die Messdauer in Aufgabe 1.6 sehr lang, womit statistische Schwankungen ausgeglichen werden.

Pulse [N]	Messdauer [s]	Dicke [mm]	Zählrate [N/s]	Zählrate korrigiert [N/s]	Dicke korrigiert [mm]
14512	60	0,0000	241,867	329,988	0,0120
9347	40	0,0060	233,675	314,876	0,0180
9528	40	0,0100	238,200	323,178	0,0220
9431	40	0,0125	235,775	318,715	0,0245
9094	40	0,0228	227,350	303,459	0,0348
9163	40	0,0234	229,075	306,551	0,0354
8720	40	0,0438	218,000	286,968	0,0558
8576	40	0,0500	214,400	280,738	0,0620
7715	40	0,0915	192,875	244,810	0,1035
9719	50	0,0965	194,380	247,251	0,1085
8051	50	0,2100	161,020	195,473	0,2220
8213	60	0,3100	136,883	160,828	0,3220
7436	70	0,5250	106,229	119,858	0,5370
8359	140	0,9800	59,707	63,382	0,9920
5952	200	1,4600	29,760	30,216	1,4720
4375	350	1,9900	12,500	12,116	2,0020
576	350	3,0000	1,646	1,089	3,0120
135	350	4,0000	0,386	-0,174	4,0120
133	350	14,0000	0,380	-0,180	14,0120
130	350	25,0000	0,371	-0,188	25,0120

Tabelle 3: Messwerte zur Bestimmung des Absorptionsvermögens von Aluminium

Betrachtet man die Messergebnisse, fällt auf, dass die letzten 4 Werte verhältnismäßig stark ausreissen bzw. schlicht unphysikalisch sind. Wir führen dies darauf zurück, dass bei großen Absorberdicken die Annahme es handle sich um eine exponentielle Abschwächung falsch ist und hier tatsächlich eine weitaus größere Abschwächung stattgefunden hat, so dass die Messung nicht mehr von der Hintergrundstrahlung zu unterscheiden war.

Wir verwerfen daher die Messwerte der Dicken 3mm, 4mm, 14mm und 25mm.

Da Sr-90/Y-90 zwei Beta-Zerfälle aufweist, deren Abschwächung durch Aluminium jeweils einem exponentiellen Verlauf folgen tragen wir die logarithmierte korrigierte Zählrate über der korrigierten Dicke auf, womit wir lineare Zusammenhänge erhalten:

$$N(d) = N(0) \cdot \exp[-md] \quad \rightarrow \quad \ln(N(d)) = \ln(N(0)) - md$$

Tatsächlich erhalten wir jedoch zwei lineare Teilstücke mit einem Knick. Dieser rührt daher, dass die Summe der beiden Zerfälle keinem exponentiellen Verlauf folgt. Ab einer gewissen Dicke wird die energiearme Betastrahlung des Sr-90 Zerfalls völlig absorbiert und nur noch die energiereiche Betastrahlung des Y-90 Zerfalls durchdringt die Abschirmung.

In Diagramm 3 ist die logarithmierte korrigierte Zählrate über der korrigierten Dicke aufgetragen. Außerdem sind dort die Gleichungen der Ausgleichsgeraden für die beiden linearen Teilstücke angegeben, wobei wir einen Knick beim Messwert von 0,0558mm erkannt haben.

In Diagramm 4 ist der Teilbereich kleiner Dicken noch einmal vergrößert dargestellt.

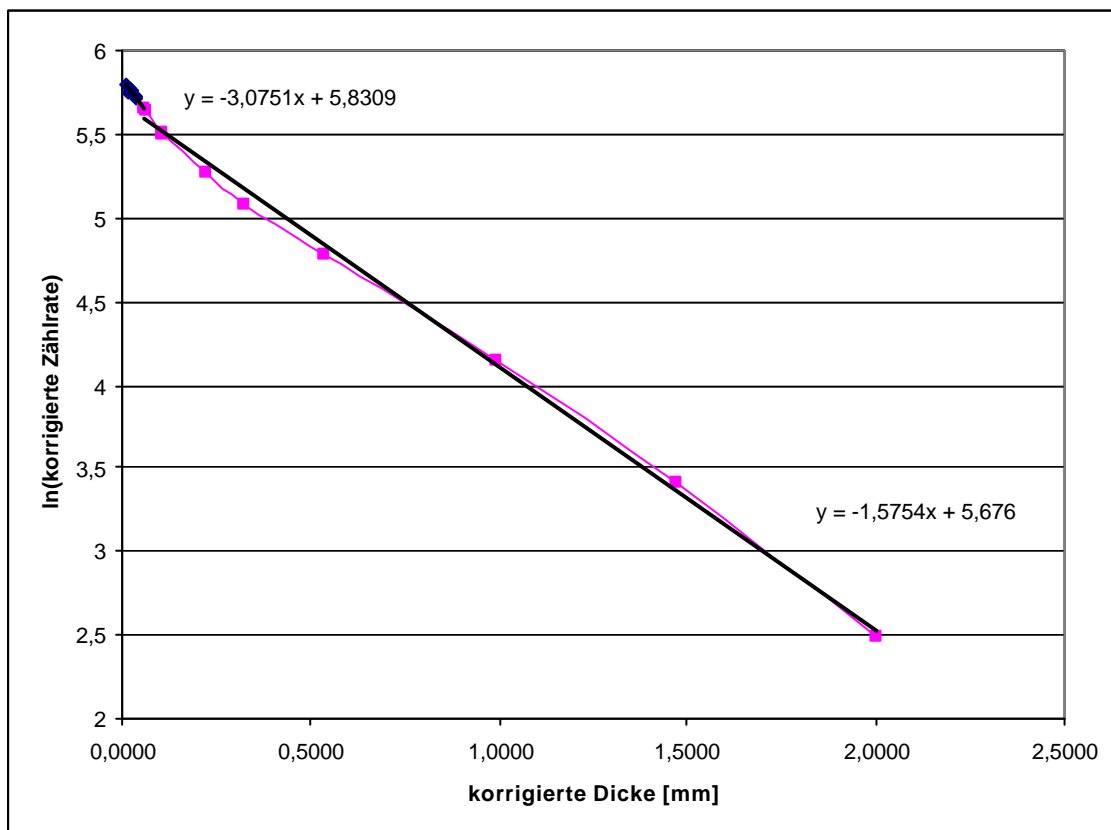


Diagramm 3: Logarithmus der korrigierten Zählrate über der korrigierten Dicke und Gleichungen der Ausgleichsgeraden für die beiden linearen Teilverläufe

Wie bereits erwähnt, sind im ersten Bereich die beiden Betastrahlungen überlagert, weshalb zur Bestimmung von  $m_{Sr-90}$  die Differenz zwischen der Steigung des ersten Teilstücks und  $m_{Y-90}$  gebildet werden muss. Es ergeben sich damit:

$$m_{Y-90} = 1575/m$$

$$m_{Sr-90} = 3075/m - m_{Y-90} = 1500/m$$

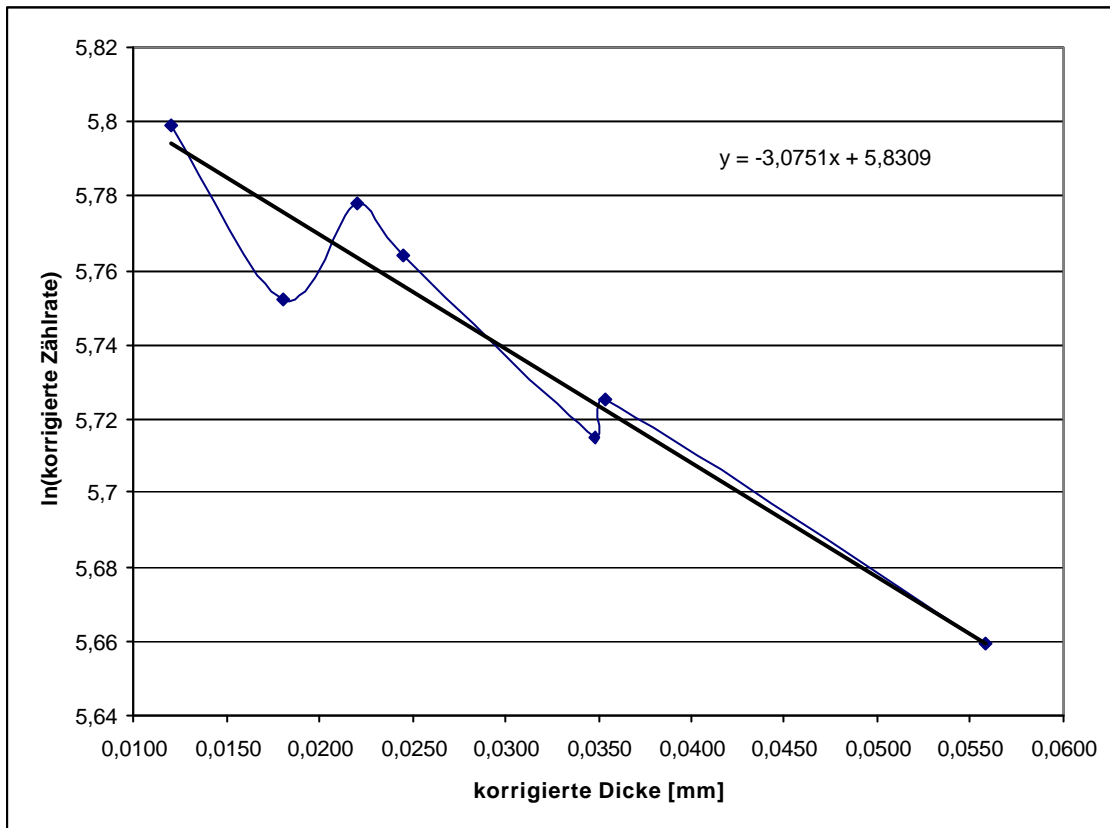


Diagramm 4: Logarithmus der korrigierten Zählrate über korrigierten kleinen Dicken und Gleichung der Ausgleichsgeraden des linearen Teilverlaufs

Mit der Dichte von Aluminium  $\rho_{Alu} = 2,719 \text{ g/cm}^3 = 2719 \text{ kg/m}^3$  ergeben sich damit die folgenden Massenabsorptionskoeffizienten:

$$k_{Y-90} = \frac{m_{Y-90}}{\rho_{Alu}} = 0,579 \text{ m}^2/\text{kg} = 5,79 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$k_{Sr-90} = \frac{m_{Sr-90}}{\rho_{Alu}} = 0,552 \text{ m}^2/\text{kg} = 5,52 \text{ cm}^2/\text{g}$$

Mit Hilfe des Zusammenhangs zwischen Beta-Grenzenergie und Massenabsorptionskoeffizienten  $k = 17 \cdot E^{-1,43}$  überprüfen wir unsere Ergebnisse, wobei wir für E die theoretischen Werte von 0,54MeV beim Sr-90 Zerfall und 2,25MeV beim Y-90 Zerfall verwenden. Es ergeben sich damit:

$$k_{Y-90,Theorie} = 5,33 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$k_{Sr-90,Theorie} = 41,03 \text{ cm}^2/\text{g}$$

Unser Wert für die Absorption der Y-90 Strahlung scheint daher einigermaßen gut zu sein, wohingegen wir einen enormen Fehler bei der Sr-90 Absorption haben. Dies ist wohl auf die ungenaue Bestimmung des Knicks zurückzuführen.

Diese Position des Knicks entspricht gerade der Reichweite der Sr-90 Strahlung. Außerdem haben wir weiter oben die Messwerte ab einer Dicke von 3mm verworfen, da diese nicht mehr von der Hintergrundstrahlung zu unterscheiden waren. Es ergeben sich damit die folgenden Reichweiten:

$$R_{Y-90} = 0,3cm$$

$$R_{Sr-90} = 0,00558cm$$

Nach der Flammersfeld Beziehung  $W = 1,92 \cdot \sqrt{R^2 r^2 + 0,22Rr}$  ergeben sich somit für die beiden Zerfälle die folgenden Grenzenergien:

$$E_{Y-90} = 1,765MeV$$

$$E_{Sr-90} = 0,115MeV$$

Diese weichen stark von den Theoriewerten 2,25MeV bzw. 0,54MeV ab, wobei wie beim Massenabsorptionskoeffizienten der Fehler des Y-90 Zerfalls noch deutlich kleiner ist, als der des Sr-90 Zerfalls. Wir führen dies auch hier wiederum auf die ungenaue Bestimmung des Knicks und damit der Reichweite zurück.

## Aufgabe 1.5 – Aktivität der Co-60 Quelle

Wir wollen in dieser Aufgabe die Aktivität des Co-60 Präparats #49 bestimmen. Dazu messen wir für einen bestimmten Abstand mehrmals die Zählrate und ermitteln daraus die Aktivität. Hierbei sind einige Korrekturfaktoren zu beachten.

Der geometrische Korrekturfaktor  $c_g$ , der bereits in der Vorbereitung hergeleitet wurde, die übliche Korrektur der Zählrate durch Totzeit und Hintergrundstrahlung und die Tatsache, dass Zählrohrfenster, Luftweg und Präparatabdeckung einer Aluminiumabschirmung von 12µm entsprechen, welche wir mit  $c_m$  bezeichnen.

Zur Bestimmung von  $c_m$  ermittelten wir mit der Beziehung  $k = 17 \cdot E^{-1,43}$  für die beiden Energiegrenzwerte 1,17MeV und 1,33MeV der Gamma-Zerfälle von Co-60 jeweils den Massenabsorptionskoeffizienten. Da eine Kupferscheibe vor das Präparat eingebracht wurde, berücksichtigen wir den Beta-Zerfall nicht, da die Kupferscheibe das Präparat zu einem quasi reinen Gamma-Präparat macht. Wir mittelten die beiden Massenabsorptionskoeffizienten, da die Energiegrenzwerte nur ca. ±15% voneinander abweichen und bestimmten mit der Dichte von Aluminium bei einer Dicke von 12µm den Korrekturfaktor.

$$c_m = \exp[-\mu d] = \exp[-k r_{Alu} \cdot d] = \exp\left[-1,24 \frac{m^2}{kg} \cdot 2719 \frac{kg}{m^3} \cdot 12mm\right] = 0,960$$

Der Abstand zwischen Präparat und Zählrohr betrug  $a = 3,4\text{cm}$  und der Durchmesser der Zählrohröffnung beträgt  $d = 2\text{cm}$ .

$$c_g = \frac{2}{1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{d^2}{4a^2} + 1}}} = 49,219$$

Die Aktivität des Präparats ergibt sich dann wie folgt:

$$A = c_m c_g N_{\text{korr}}$$

Pulse [N]	Messdauer [s]	Zählrate [N/s]	Zählrate korrigiert[N/s]	Aktivität [Bq]
231	40	5,775	5,252	248,225
257	40	6,425	5,911	279,365
252	40	6,3	5,784	273,373

Tabelle 4: Messwerte zur Aktivitätsbestimmung

Es ergibt sich damit eine mittlere Aktivität von  $\bar{A} = 266,987\text{Bq}$ . Diese ist sehr gering gegenüber der angegebenen Aktivität des Präparats auf dem Aufgabenblatt von  $148000\text{Bq}$ , selbst wenn man beachtet, dass diese Messungen von 1992 sind und die Halbwertszeit von Co-60 etwa 5,3 Jahre beträgt.

Der niedrige Wert rührt evt. daher, dass die eingebrachte Kupferscheibe doch eine sehr starke Absorption verursacht. Dennoch spiegelt die berechnete Aktivität die Tatsache gut wieder, dass bei diesem Versuch die gemessene Zählrate nur um den Faktor 10 über der Hintergrundstrahlung des Raumes lag.

### Aufgabe 1.6 – Verteilung der Zeitintervalle zwischen einzelnen Pulsen

Wir führten eine Messung durch, bei der insgesamt 300 Pulse der Hintergrundstrahlung beobachtet wurden und die Zeit zwischen einem und dem nächsten Puls gemessen wurde.

Aus der Gesamtdauer von 527,89 Sekunden ermittelten wir so auch, wie weiter oben bereits erwähnt, die Hintergrundstrahlung  $N_0 = 0,568/\text{s}$ . Dies ist auch gerade der Koeffizient  $r = \frac{N_{\text{ges}}}{T_{\text{ges}}}$ , welchen wir im Folgenden zur Berechnung der theoretischen Werte benötigen.

Wir haben nun 300 Messwerte für die Dauer des Zeitintervalls zwischen  $n=1$  Impuls. Summieren wir jeweils zwei auf einander folgende Intervalle, erhalten wir 299 Messwerte für die Zeitintervalle zwischen  $n=2$  Impulsen. Weiterhin erhalten wir durch Summieren von jeweils vier aufeinander folgenden Intervallen 297 Messwerte für die Zeitintervalle zwischen  $n=4$  Impulsen.

Diese Werte lassen sich in Intervalle von jeweils einer Sekunde Breite einordnen, womit man die Häufigkeit für ein bestimmtes Zeitintervall zwischen 1, 2 bzw. 4 Pulsen erhält. Durch Division mit der Gesamtzahl der Ereignisse von 300, erhält man die Wahrscheinlichkeit für ein bestimmtes Zeitintervall.



Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Messwerte und Häufigkeiten hier nicht tabellarisch aufgeführt. Die grafische Auswertung ist hinreichend deutlich um eine Überprüfung zwischen theoretischen und gemessenen Werten zu ermöglichen.

Die theoretischen Wahrscheinlichkeiten können laut Aufgabenstellung wie folgt ermittelt werden:

$$\begin{aligned}
 n=1 & \quad P_1(t) = r \cdot \exp[-r \cdot t] \\
 n=2 & \quad P_2(t) = t \cdot r^2 \cdot \exp[-r \cdot t] \\
 n=4 & \quad P_4(t) = \frac{t^3 \cdot r^4}{6} \cdot \exp[-r \cdot t]
 \end{aligned}$$

Trägt man die theoretischen Wahrscheinlichkeiten, gemeinsam mit den gemessenen Wahrscheinlichkeiten auf, so erkennt man deutlich in den Diagrammen 5, 6 und 7, dass eine Übereinstimmung vorliegt.

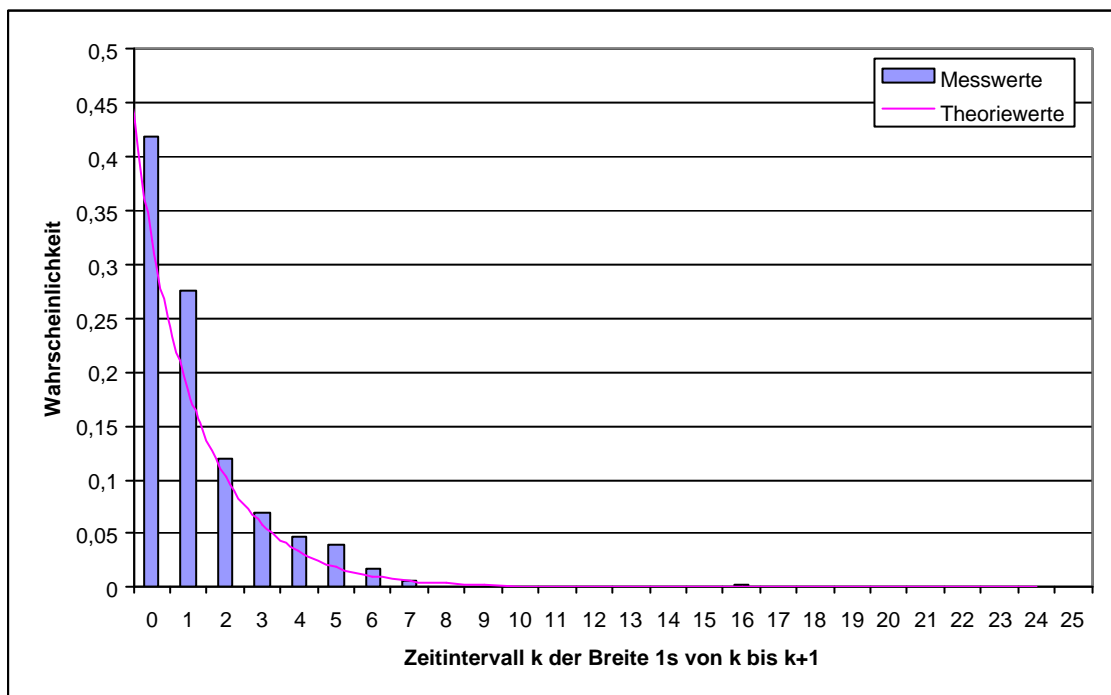


Diagramm 5: Messwerte und Theoriewerte für die Zeitintervallverteilung für n=1

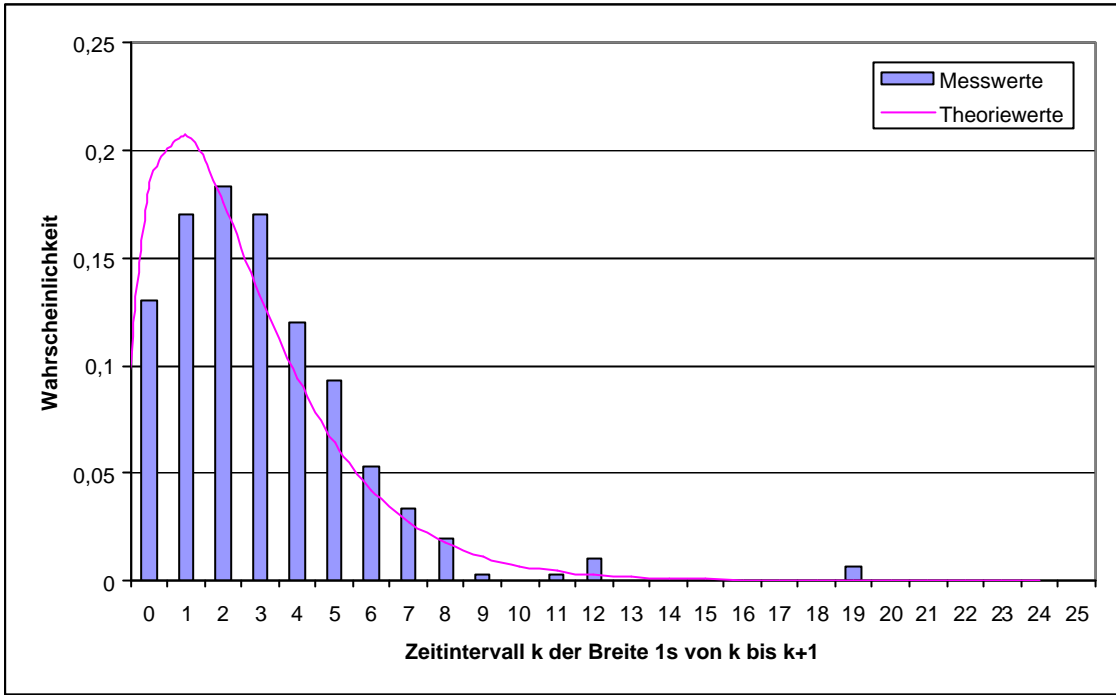


Diagramm 6: Messwerte und Theorie für die Zeitintervallverteilung für  $n=2$

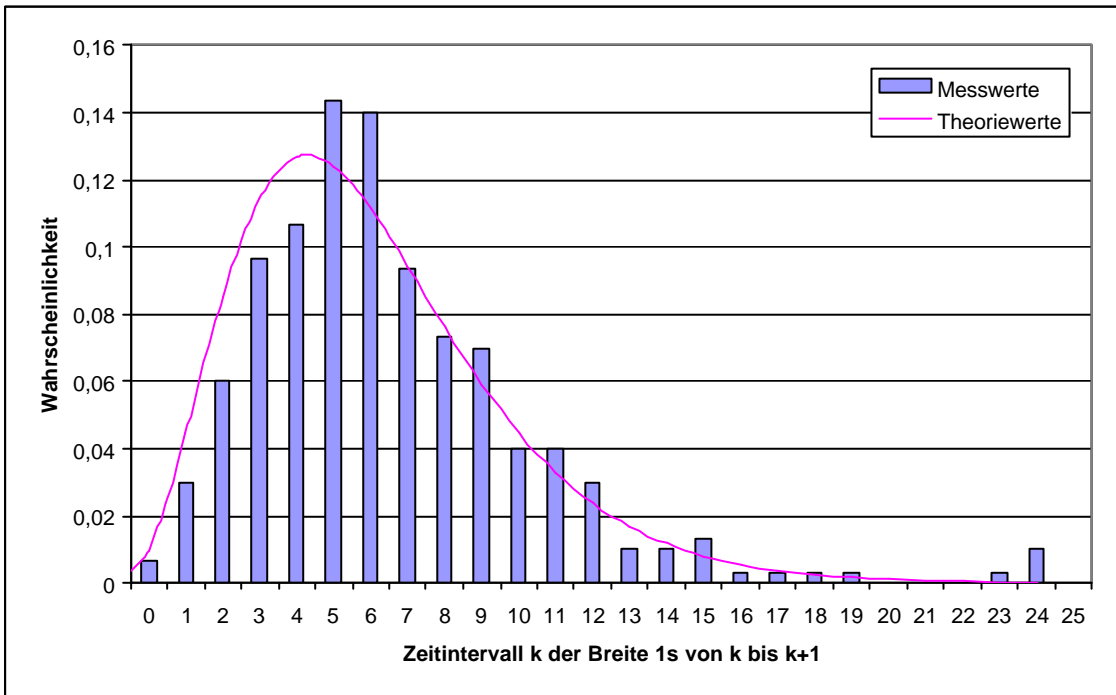


Diagramm 7: Messwerte und Theorie für die Zeitintervallverteilung für  $n=4$

## Aufgabe 2.1 – Absorption der Gamma-Strahlung durch Blei

Analog zur Aufgabe 1.4 messen wir die Zählrate in Abhängigkeit der Dicke einer Bleiplatte. Um die Beta-Strahlung des Co-60 Präparats #49 zu unterdrücken und einen reinen Gamma-Strahler zu erhalten, wurde wiederum eine 3mm dicke Kupferscheibe vor das Präparat eingebracht.

Wie üblich wurde die Zählrate wieder um die Totzeit und Hintergrundstrahlung korrigiert. Der Korrekturfaktor der Dicke, welcher 12µm Aluminium entspricht, kann gegenüber den verwendeten Bleiplatten vernachlässigt werden.

Pulse [N]	Messdauer [s]	Dicke [mm]	Zählrate [N/s]	Zählrate korrigiert [N/s]
1912	350	0	5,463	4,936
1674	350	1	4,783	4,248
1694	350	2	4,840	4,306
1397	350	5	3,992	3,449
1185	350	10	3,386	2,838
964	350	15	2,754	2,203
794	350	20	2,269	1,714
558	350	25	1,594	1,037

Tabelle 5: Messwerte zur Bestimmung des Absorptionsvermögens von Blei

Analog zur Aufgabe 1.4 tragen wir nun den Logarithmus der korrigierten Zählrate über der Dicke auf und ermitteln mit einer Ausgleichsgeraden den Absorptionskoeffizienten  $m_{Co-60}$ .

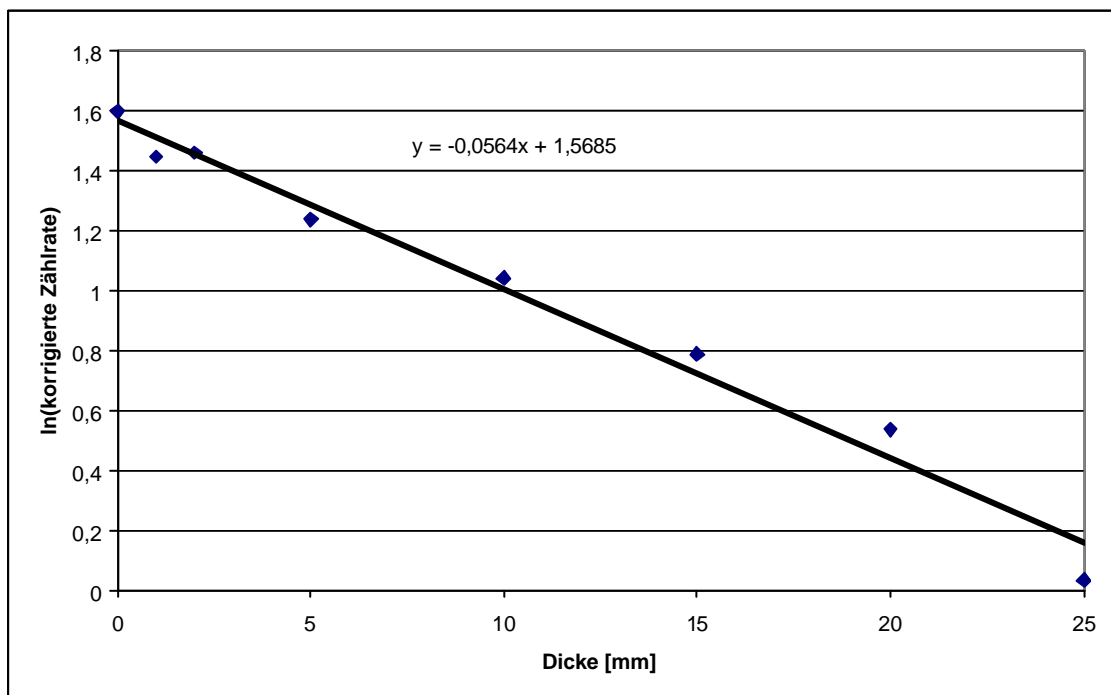


Diagramm 8: Logarithmus der korrigierten Zählrate über der Dicke

Wir entnehmen der Ausgleichsgeraden den Absorptionskoeffizienten:

$$m_{Co-60} = 0,0564 / mm = 0,564 / cm$$

Mit der Dichte von Blei  $\rho_{\text{Blei}} = 11,35 \text{ g/cm}^3$  ergibt sich der Massenabsorptionskoeffizient:

$$k_{\text{Co-60}} = \frac{\mu_{\text{Co-60}}}{\rho_{\text{Blei}}} = 0,0497 \text{ cm}^2/\text{g}$$

Die Halbwertsdicke von Blei bestimmen wir wie folgt:

$$\frac{N(0)}{2} = N(0) \cdot \exp[-\mu_{\text{Co-60}} d] \quad \rightarrow \quad d = -\frac{\ln(\frac{1}{2})}{\mu_{\text{Co-60}}} = 1,223 \text{ cm}$$

## Aufgabe 2.2 – Absorptionsvermögen verschiedener Materialien

Wir messen das Absorptionsvermögen verschiedener Materialien, indem wir bei Proben gleicher Dicke von jeweils 2,5cm die Zählrate bestimmen. Außerdem führen wir eine Messung ohne Probe durch.

Die Zählraten werden auf die bekannte Art und Weise um Totzeit und Hintergrundstrahlung korrigiert.

Das Absorptionsvermögen  $A_{\text{Material}}$  lässt sich somit aus dem Verhältnis zwischen probenfreier Zählrate und Zählrate mit Probe bestimmen.

$$A_{\text{Material}} = \frac{N_{\text{Luft}} - N_{\text{Material}}}{N_{\text{Material}}}$$

	Pulse [N]	Messdauer [s]	Dicke [mm]	Zählrate [N/s]	Zählrate korrigiert [N/s]	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	A
Luft	932	350	25	2,663	2,110	0	0
Holz	891	350	25	2,545	1,993	0,68	0,056
Plexiglas	852	350	25	2,434	1,881	1,18	0,109
Trovidur	839	350	25	2,397	1,844	1,38	0,127
Beton	831	350	25	2,374	1,821	2,149	0,137
Aluminium	747	350	25	2,134	1,579	2,719	0,252
Eisen	529	350	25	1,511	0,954	7,89	0,548
Messing	471	350	25	1,346	0,788	8,49	0,627
Blei	352	350	25	1,006	0,447	11,35	0,788

Tabelle 6: Messwerte zur Bestimmung des Absorptionsvermögens verschiedener Stoffe

In Diagramm 9 ist das Absorptionsvermögen über der Dichte des Materials aufgetragen. Man erkennt deutlich den gestrichelt angedeuteten linearen Zusammenhang.

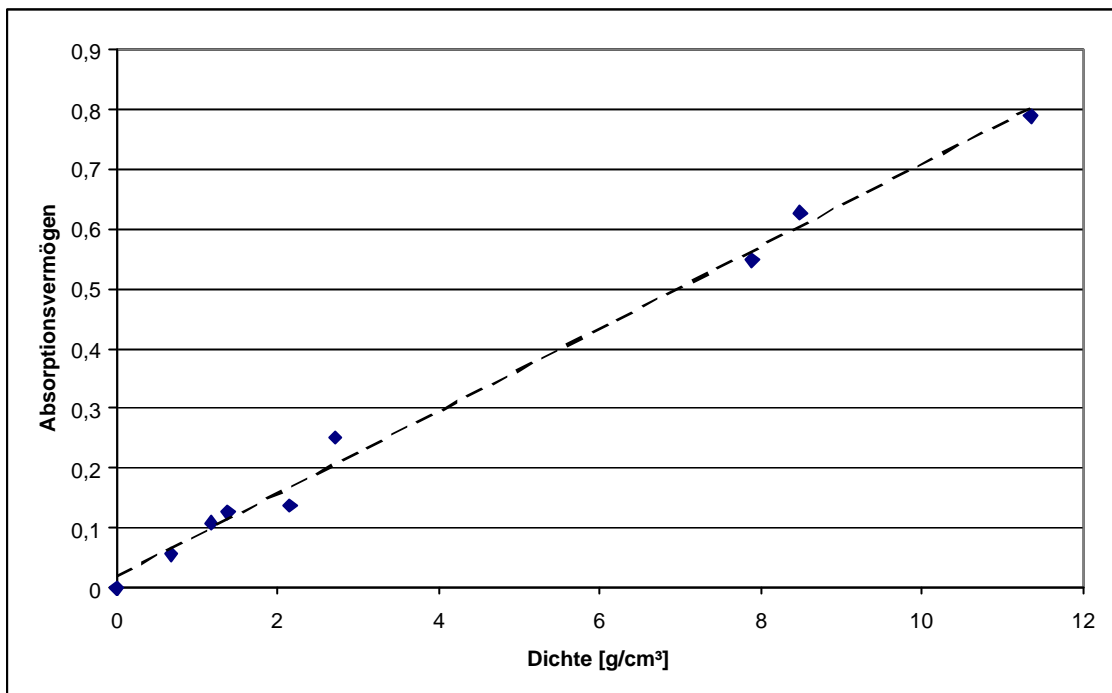


Diagramm 9: Absorptionsvermögen über der Dichte des Materials