



Grundpraktikum

Physik B.Sc.

SS 2020

Anna-Maria Pleyer, Paul Schwanitz, Dominik Müller

Gruppe 3

Versuch
Zählstatistik und
 γ -Spektrum

INHALT

Versuch: Zählstatistik und p-Spektrum

1. Allgemeines

Teilnehmer

- Protokollperson: Dominik Müller
- Messperson: Paul Schwanitz
- Auswerteperson: Anna-Maria Pleys

Ort

Universität Bayreuth, NW II

Raum

2.3.02.704

Datum des Versuchstages:

Mittwoch, 22. Juli. 2020

Gruppennummer: 3

Versuchsplatz ist dem Messprotokoll zu entnehmen.

2 Einleitung

Die Nutzung von Kernenergie ist ein aktuelles Thema, welches viele Menschen beschäftigt. jedoch gibt es nicht nur erzwungene Kernzerrüttungen, wie beispielsweise in Kernkraftwerken, sondern auch natürlich vorkommende.

Natürliche Zerfallsprozesse kommen zum Beispiel im Weltall aber auch auf der Erde jeden Tag vor...

Die schwereren Elemente des Periodensystems, beispielsweise Radium oder Uran, sind instabil.

Diese Kerne zerfallen unter Emission von Strahlung, bis sie in einem stabilen Element enden. Die wichtigsten Arten von radioaktiver Strahlung sind α -, β -, γ -Strahlung. Der Zerfall erfolgt statistisch, das heißt man kann nicht Voraussagen, wann ein Kern zerfällt.

Um nun zu verstehen, wie die genauen Abläufe beim Kernzerrüttung von Stoffen gehen und welche Gefahren mit der daraus resultierenden Radioaktivität einhergehen, ist es wichtig sich mit dem Thema genauer zu beschäftigen.

Im Folgenden wird die statistische Verteilung untersucht, die den radioaktiven Zerfall beschreibt und überprüft ob die bei einem Radiumpräparat zutrifft. Des Weiteren soll der Umgang mit einem Geiger-Müller-Zählrohr, ein wichtiges Instrument zum Nachweis von radioaktiver Strahlung, erlernt werden. Zudem soll das Energiespektrum, des bei β -Zerfall emittierten schnellen Elektronen, gemessen werden.

✓

3 Fragen zur Vorbereitung

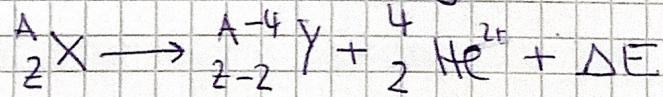
3.1 Frage 1

Die drei wichtigsten und in der Natur am häufigsten vorkommenden Zerfallsarten sind der α -, β -, γ -Zerfall.

Beim α -Zerfall tritt eine α -Strahlung oder ionisierende Strahlung auf: Hierbei liegt eine Instabilität eines schweren Atomkerns (d.h. im Kern sind mehr Protonen als Neutronen vorhanden) vor. Das α -Teilchen wird einerseits durch die starke Wechselwirkung vom Kern angezogen, aber zugleich aufgrund der Coulombkraft abgestoßen.

Das Teilchen kann aufgrund dem quantenmechanischen Tunneleffekts den Kern verlassen. Es wird ein ${}_{2}^{4}\text{He}^{2+}$ (α -Teilchen) vom Atomkern (Mutterkern) ausgesendet und das Atom wird dadurch zu einem Tochterkern.

Die Bilanzgleichung lautet:

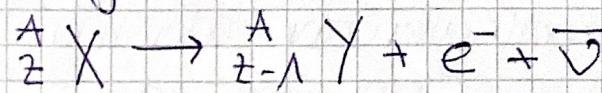


Wobei X für den Mutterkern steht, mit der Ordnungszahl 2 und der Nukleonenzahl A. Der Mutterkern X wird zum Tochterkern Y, wobei 2 um 2 und A um 4 verkleinert wird.

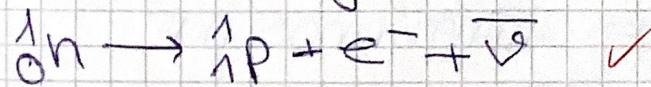
Außerdem hat die α -Strahlung eine hohe ionisierende Wirkung. Auffällig ist auch, dass alle von einem bestimmten Nuklid ausgesandten α -Teilchen dieselbe kinetische Energie besitzen. Beim α -Zerfall entstehen zwei Produkte und damit 2 Teilchengeschwindigkeiten, deshalb tritt hier ein diskretes Energiespektrum auf. α -Teilchen wird in Luft nach einigen Zentimetern und in Metallen bereits in sehr dünnen Schichten ($d < 0,01\text{ mm}$) völlig absorbiert. ✓

Beim β -Zerfall tritt ebenfalls eine ionisierende Strahlung auf. Hierbei muss man zwischen dem β^- -Zerfall und dem β^+ -Zerfall unterscheiden:

Beim β^- -Zerfall wandelt sich der Atomkern, unter Aussendung von β^- -Strahlung, in ein Element mit der nächsthöheren Ordnungszahl (Tochterkern) um. Hierbei wird ein β -Teilchen (negativ geladenes Elektron) und ein Elektron-Antineutrino ($\bar{\nu}$) freigesetzt.

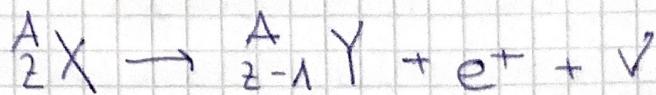


Umwandlung

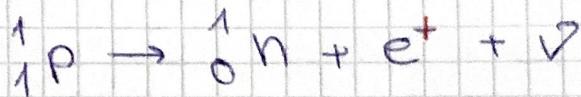


Bei einem β^+ -Zerfall wandelt sich der Atomkern, unter Aussendung von β^+ -Strahlung, in ein Element mit der nächstniedrigeren Ordnungszahl (Tochterkern) um.

Hierbei wird ein β -Teilchen (Positron) und ein Elektron-Neutrino (ν) freigesetzt.



Umwandlung:



Das Spektrum des β -Zerfalls ist ein kontinuierliches. Dies ist durch die Tatsache erklärbar, dass die Energie des Zerfalls auf drei Teilchen aufgeteilt werden muss. Beim Zerfall wird, aufgrund des Massendefekts, eine bestimmte Energie ΔE frei.

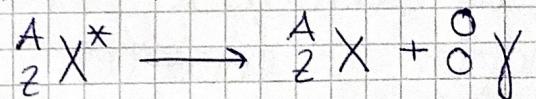
$$\Delta E = E_{kin e^-} + E_{kin \nu} + E_{kin Y}$$

Das bedeutet, dass man drei Teilchenschnelligkeiten und damit einen Freiheitsgrad hat, wodurch sich eine kontinuierliche Verteilung ergibt. Der Tochterkern (Y) und das Elektron besitzen die maximale Energie, wenn die Energie des Antineutrinos null ist und umgekehrt.

Die β -Strahlung mit den typischen Endenergien bis in den MeV-Bereich wird erst durch Metallschichten im mm-Bereich absorbiert. Ihre Reichweite in Luft beträgt etwa 12 cm für 0,1 MeV und etwa 3,5 m für 1 MeV.

Der γ -Zerfall ist im engeren Sinne eigentlich kein Zerfall, sondern eine Zustandsänderung des Kerns.

Die folgende Gleichung beschreibt den γ -Zerfall:



✓

Der angeregte Mutterkern (X^*), häufig durch vorangegangene α - oder β -Zerfälle erzeugt, geht in einen niedrigeren Zustand unter Aussendung eines γ -Teilchens (hochenergetisches Photon) über. Im Gegensatz zu α - oder β -Strahlung liegt γ -Strahlung im hochenergetischen Bereich von 0,1 bis 1 MeV und durchdringt fast ungeschwächte dicke Metallschichten.

Hier ist zur Abschirmung viel Material mit einer hohen Ordnungszahl nötig. Die γ -Strahlung besitzt eine sehr geringe ionisierende Wirkung.

→ dennoch sehr gefährlich, weil schwer abschirmen

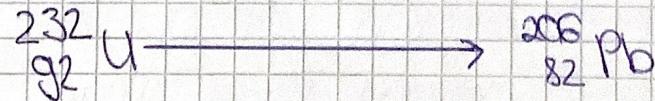
3.2 Frage 2

zum heutigen Zeitpunkt gibt es noch drei natürliche Zerfallsreihen, diese sind Thoriumreihe, Uran-Radiumreihe und die Actinium Reihe. Eine Zerfallsreihe ist im Allgemeinen eine Abfolge der nacheinander entstehenden Produkte eines radioaktiven Zerfalls. Aus einer vorhandenen Menge eines instabilen Nuklids bildet sich durch Zerfall ein Gemisch der Nuklide, die der Zerfallsreihe folgen, bis es im Endnuklid (stabiler Zustand) stoppt. Sie entstehen durch α - und β -Zerfälle, die mehr oder weniger regelmäßig abwechselnd aufeinander folgen.

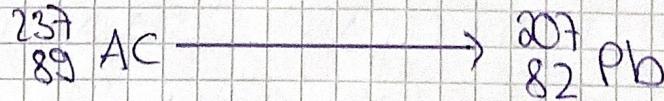
Thoriumreihe:



Uran-Radium-Reihe:



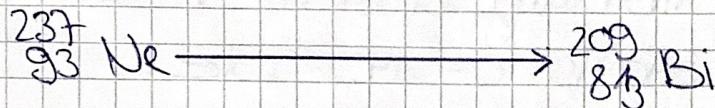
Uran-Actinium-Reihe



Hier wurde nur der Start und das Endnuklid dargestellt, natürlich treten auch Zwischenzustände auf.

Es existierte noch eine natürliche Zerfallsreihe, die Neptuniumreihe.

Neptuniumreihe



Diese vierte Reihe lässt sich heute nicht mehr beobachten, da in ihrem Verlauf keine langlebigen Isotope existieren. Die Elemente in der Neptuniumreihe besitzen im Vergleich zum Alter der Erde (ca. 10^9 Jahre) eine geringe Halbwertszeit (gr. $T_{1/2} \approx 10^6$ Jahre; Na).

Die Nukleonenanzahl des Atomkerns aus den Zerfallsreihen folgen diesen Gesetzen:

Uran-Radium-Reihe:

$$A = 4n + 2$$

Uran-Actinium-Reihe:

$$A = 4n + 3$$

Thorium-Reihe:

$$A = 4n$$

Neptunium-Reihe:

$$A = 4n + 1$$

} ne IV

Das in diesem Versuch verwendete Präparat ($^{226}\text{-Ra}$) ist Teil der Uran-Radium-Zerfallsreihe. ✓

Quelle: ESK, Kap. 49

3.3 Frage 3

Die C-14-Methode eignet sich für die Bestimmung des Alters von organischen Materialien. Der zeitliche Anwendungsbereich liegt zwischen 300 und etwa 60 000 Jahren. Durch den Einfluss der kosmischen Strahlung entsteht in der Atmosphäre stetig C-14. ✓ Die

Konzentration ist also konstant. (während
Lebende Organismen nehmen C-14

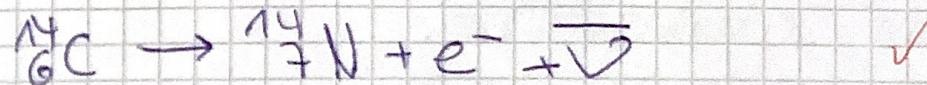
stetig C-14
auf)

kontinuierlich auf und speichern diese.

Dieser Aufnahmeprozess stoppt sobald der Organismus stirbt, d.h. es wird kein neues C-14 mehr aufgenommen.

Da C-14 radioaktiv ist, zerfällt es im Organismus und somit nimmt die Konzentration ab. Misst man die Aktivität des Materials kann man auf die Menge des enthaltenen Materials (C-14) schließen, da diese dem Zerfallsgesetz folgt, und unter Einbezug der Halbwertszeit das Alter bestimmen.

C-14 ist ein β⁻-Strahler mit einer Halbwertszeit $T_{1/2} \approx (5730 \pm 40)$ a



Beispiel:

$$m_{\text{ges}} = 50 \text{ g}, A = 8 \text{ Bq}, T_{1/2} = 5730 \text{ a}$$

$$N(t) = \frac{A(t)}{\ln(2)} T_{1/2} \rightarrow N(t) = 2,09 \cdot 10^{12} \checkmark$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \rightarrow t = -\frac{T_{1/2}}{\ln(2)} \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) \checkmark$$

$$\text{Anteil des C-14: } 1,25 \cdot 10^{-10} \% \checkmark$$

$$N_0 = N_A \cdot \frac{m_{\text{ges}} \cdot 1,25 \cdot 10^{-10}}{M_{\text{C-14}} \cdot 12} = 2,69 \cdot 10^{12}$$

Die Probe besteht fast nur aus ^{12}C

$$\Rightarrow t = 6,58 \cdot 10^{10} \text{ s} = \underline{\underline{2086,5 \text{ a}}}$$

Der Kohlenstoffanteil ist das Verhältnis der Konzentration von C-14 und C-12 in der Atmosphäre, welches in etwa mit $1,25 \cdot 10^{-10}$ abgeschätzt werden kann. \checkmark

Quellen: EVS, Kapitel 47.

• <https://physikunterricht-online.de/jahrgang-12/die-c-14-methode>

3.4 Frage 4.

Die Poisson-Verteilung ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, mit der die Anzahl von Ereignissen dargestellt werden kann, die bei konstantem mittleres Raten unabhängig voneinander in einem festen Zeitintervall eintreten.

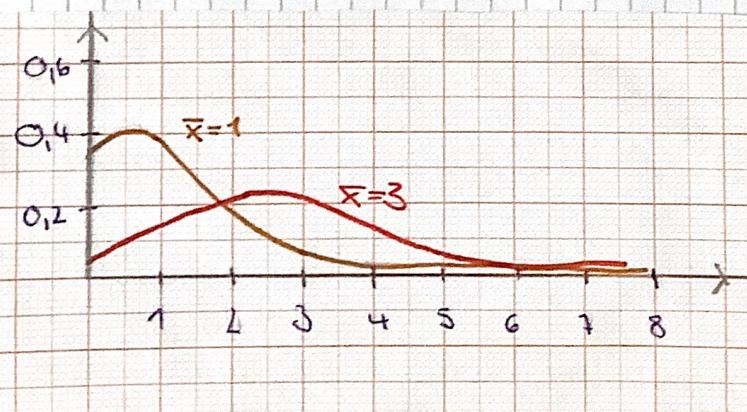
Poisson-Verteilung:

$$y = \frac{\bar{x}^x}{x!} e^{-\bar{x}}$$

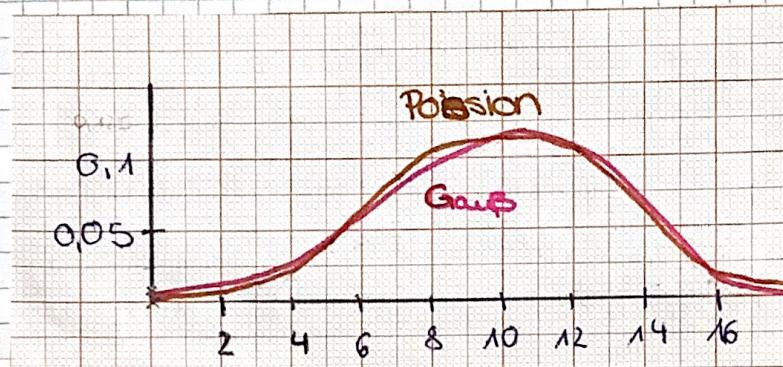
Eine weitere wichtige Verteilung ist die Gauß-Verteilung:

$$y \approx \frac{1}{\sqrt{\pi} \sqrt{2\bar{x}}} \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\bar{x}}\right)$$

Die Poisson-Verteilung für die Werte $\bar{x} = 1$ und $\bar{x} = 3$ schaut folgendermaßen aus:



zur besseren Veranschaulichung wird die Poisson-Verteilung und die Gauß-Verteilung für den Wert $\bar{x} = 10$ in eine Grafik gezeichnet:



Die Poisson-Verteilung hat für kleine \bar{x} eine stark asymmetrische Gestalt.
Für größer werdendes \bar{x} wird die Poisson-Verteilung symmetrischer und fängt an der Gauß-Verteilung zu ähneln. ✓

(Es ist besser, die diskrete Poisson-Verteilung als Balkendiagramm zu zeichnen)

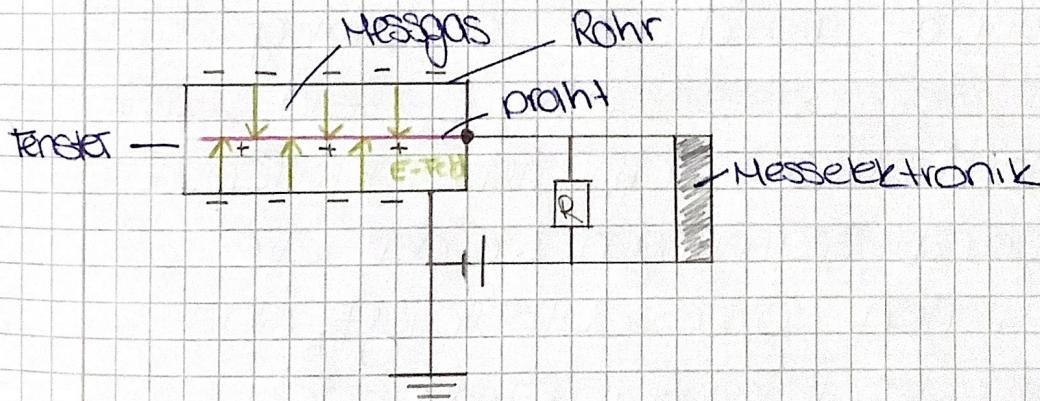
3.5 Frage 5

Das Geiger-Müller-Zählrohr nutzt die ionisierende Wirkung radioaktiver Strahlung aus und ermöglicht so, einzelne α - und β -Teilchen oder auch γ -Quanten nachzuweisen. Das Zählrohr besteht aus einem gasgefüllten (meist Edelgas) zylindrischen Rohr, in dem axial ein dünner Draht isoliert aufgespannt ist. An dem Draht wird über einen Widerstand R die positive Spannung U_0 (z.B. 500 V) angelegt. Dadurch baut sich ein elektrisches Feld innerhalb des Rohres auf. Bringt nun Strahlung ein*, in der Nähe des dünnen Drahtes, ist dort die elektr. Feldstärke erheblich größer als im restlichen Volumen. Die Gasteilchen bilden durch Zusammenstöße freie Elektronen aus und diese nehmen im elektrischen Feld soviel Energie auf, dass sie beim nächsten Stoß das neutrale Gasatom ionisieren. Diese ionisierten Gasteilchen werden im E-Feld beschleunigt und lösen weitere Ionisierungen aus. Es folgt eine Ionisation-Kaskade, die zu einem messbaren Strom führt. Die Spannungsimpulse werden elektronisch verstärkt und mit einem Zähler gezählt.

Dieser Strom I fließt über den Widerstand R , an dem nun der Spannungsabfall ($U_R = IR$) herrscht, ab und entsprechend sinkt die Spannung am Zählrohr. Somit erfüllt die Ionisationslawine. Sobald ein weiteres ionisierendes Teilchen einfällt, wiederholt sich der Vorgang. Auch wenn man alle radioaktiven Quellen aus der Umgebung des Zählrohrs entfernt, misst man dennoch eine geringe Zählrate. Diese wird durch die kosmische Strahlung, sowie durch geringe Spuren radioaktiver Substanzen im Zählrohrmaterial verursacht.

Quelle: ESK, Abschnitt 47

Skizze:



- * Zunächst ionisiert die einfallende Strahlung ein oder mehrere Gasatome. Die entstehenden freien Elektronen werden dann beschleunigt.

3.6 Frage 6

Im Folgenden soll die Ionisationskammer, Proportional-Zählrohr und Geiger-Müller-Zählrohr verglichen werden. Sowohl die Ionisationskammer als auch das Proportional-Zählrohr ähneln dem Geiger-Müller-Zählrohr, dieses wurde bereits in Frage 5 besprochen.

Energieauflösende Messungen sind mit der Ionisationskammer und dem Proportional-Zählrohr möglich.

Zuerst soll die Ionisationskammer betrachtet werden:

Hierbei bestrahlt man ein Gasvolumen zwischen zwei Elektroden mit radioaktiver Strahlung und legt dann eine Spannung, diese ist jedoch geringer als beim Proportional-Zählrohr, an. Durch die Wanderung der gebildeten Gasionen im E-Feld wird ein Ionisationsstrom hervorgerufen.

Bei kleinen Spannungen werden die Elektronen so beschleunigt, dass sie weder rekombinieren noch ionisieren. Der gemessene Strom ist proportional zur Teilchenenergie, der Energie der einfallenden Strahlung. Die Ionisation durch radioaktive Strahlung lässt sich mit der

Ionisationskammer nachweisen und messtechnisch, z.B. zur Bestimmung der Lebensdauer und Reichweite von γ -Strahlen, ausnutzen.

Als Nächstes soll der Proportionalzähler untersucht werden.

Im Prinzip handelt es sich hierbei um einen Geiger-Müller-Zählrohr, das mit einer geringeren Spannung und damit im Proportionalitätsbereich betrieben wird. Hierbei werden die Elektronen, die durch Strahlung freigesetzt wurden, aufgrund der hohen elektr. Feldstärke direkt am Draht stark beschleunigt, dass sie durch Stöße mit den Gasatomen weitere Elektronen auslösen können, d.h. es entstehen Elektronenlawinen. Die Anzahl der ^{*}ionisierenden Atome hängt von der Energie der einfallenden Strahlung ab und damit auch von den gemessenen Spannungsstößen.

Der Impuls ist im Vergleich zum Ionisationskammerbetrieb größer ✓ und daher leichter messbar.

Damit eignet sich das Zählrohr vor allem zur Detektion von hochenergetischer Strahlung. ^{hochenergetische Strahlung lässt sich doch auch gut mit anderen Detektoren nachweisen!}

* Die Anzahl der Elektronenlawinen hängt von der Energie der Strahlung ab, die Anzahl der Elektronen pro Lawine ist konstant.

~~Fr~~ Im Gegensatz dazu eignet sich ein GMZ hat Geiger-Müller-Zählrohr nur für lange Totzeit, niedrigenergetische Strahlung. Das d.h. max. Proportional-Zählrohr bietet nicht nur die Möglichkeit, Teilchenenergien zu messen, sondern wird z.B. im Strahlenschutz, wegen der guten Unterscheidungsmöglichkeit zwischen α - und β -Strahlung, verwendet. ✓

Es gibt noch weitere Nachweismethoden radioaktiver Strahlung.

Zum einen gibt es beispielsweise die Nebelkammer. Diese dienen zum Sichtbarmachen von Bahnen von α - und β - sowie anderer ionisierender Teilchen. In einer solchen Kammer befindet sich ein Gemisch aus Luft und einem übersättigtem Dampf (bspw. Alkohol-Wasserdampf-Gemisch). Die radioaktiven Teilchen ionisieren die Luftmoleküle und bilden Kondensationskeime, d.h. das der Dampf kleine Tröpfchen um die Ionen bildet. Die Tröpfchen markieren somit die Bahn des radioaktiven Teilchen. Um die sehr kleinen Tröpfchen und damit die Teilchenbahnen sichtbar zu machen, werden sie mit Licht bestrahlt. ✓

Auch mithilfe dem Halbleiterzählers kann man radioaktive Strahlung messen. Dieser nutzt ebenfalls die ionisierende Wirkung von schnellen, geladenen Teilchen. Das Funktionsprinzip basiert auf den Eigenschaften des Übergangs von Halbleitern mit n-Leitung (Elektronenleitung) und p-Leitung (Lochleitung). Hierbei werden Elektronen vom Valenzband in den Leistungsband gehoben. Werden p- und n-Material in Verbindung gebracht, entsteht durch Diffusion eine an beweglichen Ladungsträgern freie Zone. Der p-n-Übergang besitzt die elektrischen Eigenschaften einer Diode. Beim Durchgang eines ionisierenden Teilchens durch diesen Übergang werden Elektronen und Löcher erzeugt. Durch diesen kurzzeitigen Stromfluss kann der Durchgang des Teilchens durch den Detektor nachgewiesen werden, analog zur Ioniisationskammer.

wie bei Photovoltaik

3.7 Frage 7

Das Geiger-Müller-Zählrohr befindet sich in einem metallischen Rohr. Hierdurch werden vor allen die α -Teilchen der Hintergrundstrahlung im Metall absorbiert. Die Untergrundmessung ist nötig, um auch die Strahlenteilchen der Hintergrundstrahlung (β - und γ -Strahlung) zu messen und diese aus dem gemessenen β -Spektrum herausrechnen zu können. ✓

Diese Untergrundstrahlung kommt zum Beispiel von der Erdkruste, durch natürliche Zerfälle im Boden, kosmische Hintergrundstrahlung und durch menschliches Einwirken (zum Beispiel Atomwaffentests) zu stande.

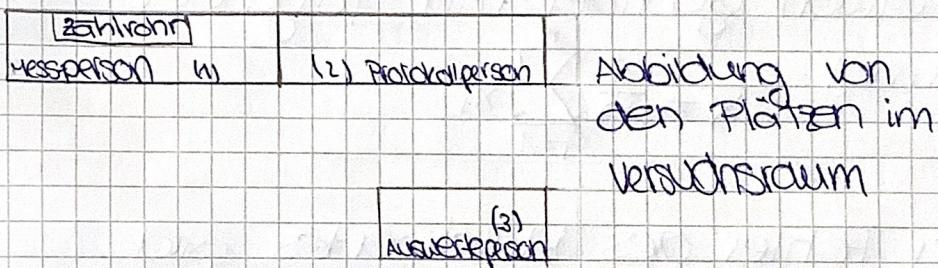
✗ γ -Strahlung des Präparats.

Das Präparat befindet sich beim Versuchsteil 6.4 sehr nahe am Zählrohr, und seine γ -Strahlung wird durch das Rohr kaum abgeschirmt.

4 Auswertung

4.0 Strahlendosisbelastung

- Platz der Messperson: 488 Zerfälle pro 10 Minuten (1)
- Platz der Protokollperson: 338 Zerfälle pro 10 Minuten (2)
- Platz der Auswerteperson: 200 Zerfälle pro 10 Minuten (3)



Aktivität:

$$A_1 = \frac{488}{10 \cdot 60 \text{ s}} = 0,813 \frac{1}{\text{s}} = 0,813 \text{ Bq}$$

$$A_2 = \frac{338}{10 \cdot 60 \text{ s}} = 0,563 \text{ Bq}$$

$$A_3 = \frac{200}{10 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{1}{3} \text{ Bq} = 0,333 \text{ Bq} \quad \checkmark$$

Dies liegt unter der Grenze für die Aktivität, die man an Radioaktivität prototyp aufnehmen darf.

Schwer zu sagen, da eine Umrechnung in Sievert schwierig ist.

4.1 Zählrohrcharakteristik

Noch Erhebung der Daten wurden einige aussortierten Messdaten wurden als grobe Fehler gewertet, da diese 1-2 Messungen während der Spannungs erhöhung stattfanden und somit auch nur eine Messung vorhanden war.

Als nächstes wurde jeweils der Mittelwert gebildet mit folgendem

Formel: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

Der Fehler des Mittelwertes wird mit der Formel.

$$s = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{mit } s = \sqrt{\bar{x}}$$

bestimmt.

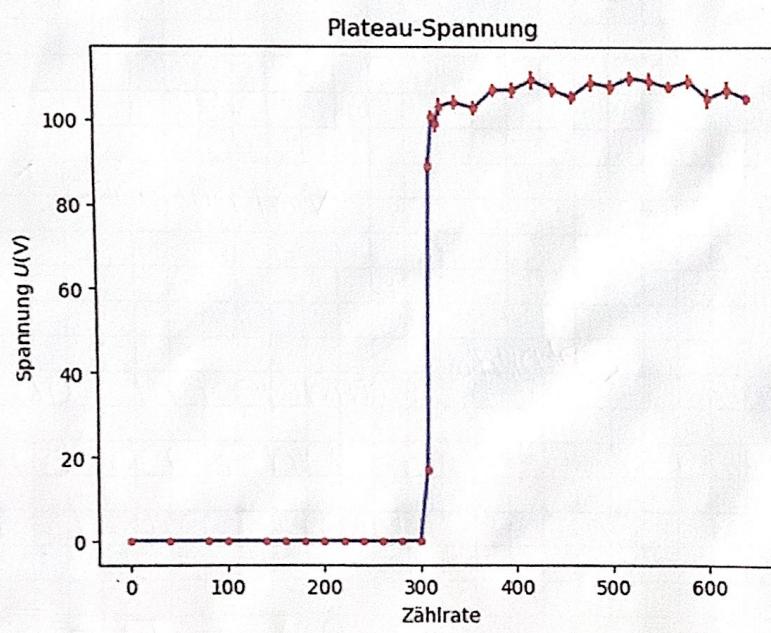
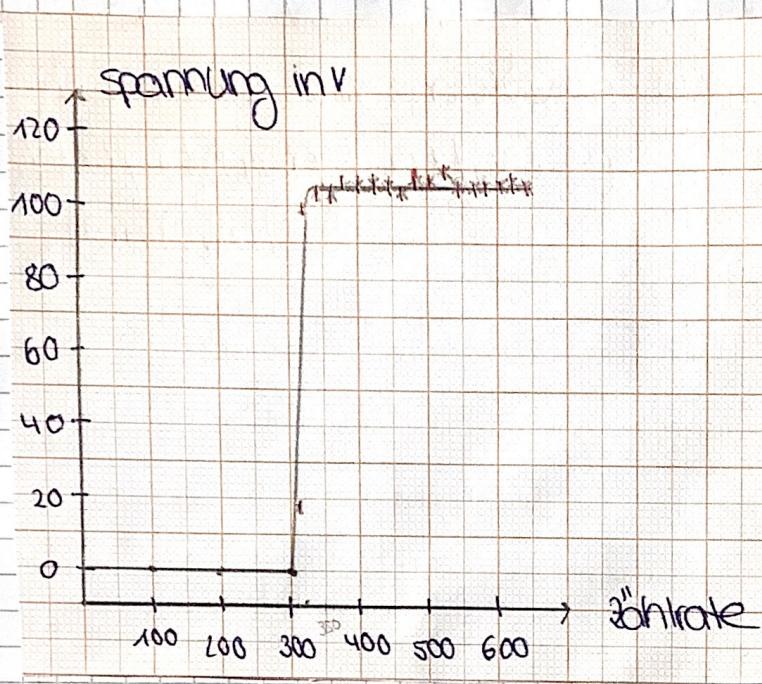
Den Fehler der Einzelmessung $s = \sqrt{\bar{x}}$ kann man auf diese Art bestimmen, da angenommen wird, dass der radioaktive Zerfall (unserer Probe) der Poisson-Verteilung folgt.

Ja, aber laut Versuchsanleitung sollte man ~~$s = \sqrt{\bar{x}}$~~ mit der beobachteten Standardabweichung vergleichen.

Messdaten:

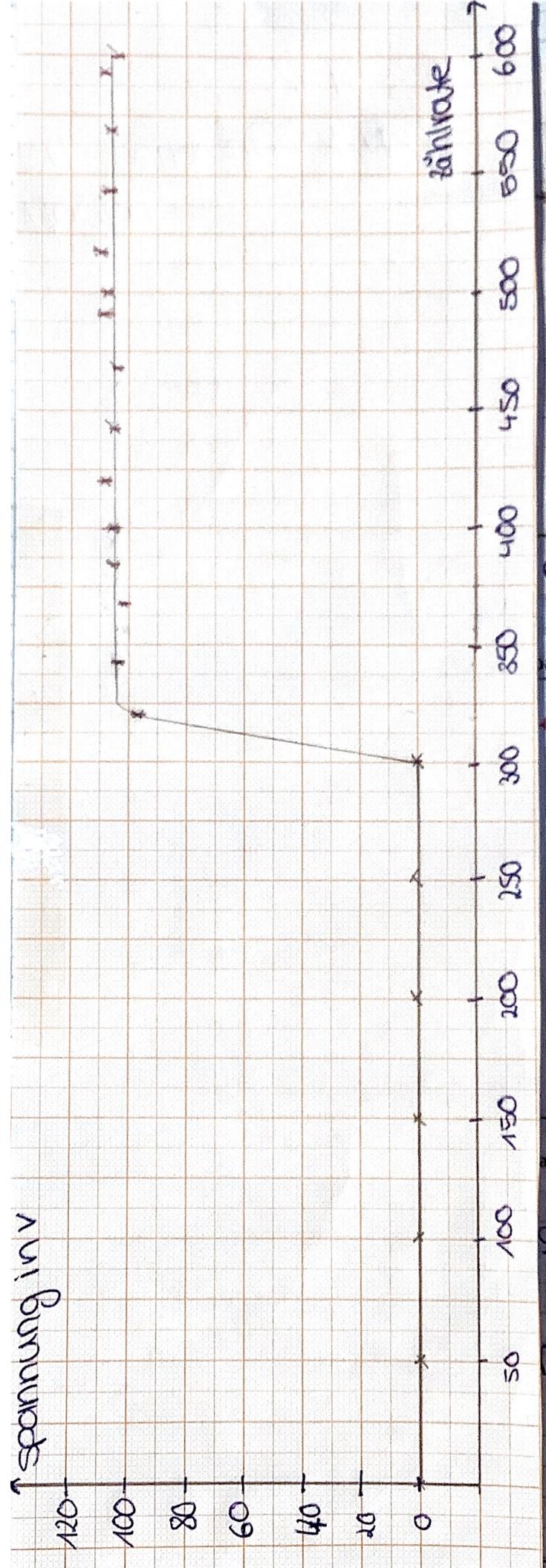
Spannung in V	Mittlere Zählrate in 1/s	Fehler der Einzelmessung σ in 1/s	Fehler des Mittelwerts s in 1/s
0	0,0000	0,0000	0,0000
40	0,0000	0,0000	0,0000
80	0,0000	0,0000	0,0000
100	0,0000	0,0000	0,0000
140	0,0000	0,0000	0,0000
160	0,0000	0,0000	0,0000
180	0,0000	0,0000	0,0000
200	0,0000	0,0000	0,0000
220	0,0000	0,0000	0,0000
240	0,0000	0,0000	0,0000
260	0,0000	0,0000	0,0000
280	0,0000	0,0000	0,0000
300	0,0000	0,0000	0,0000
308	16,9200	4,1134	0,8227
312	89,3913	9,4547	1,9714
316	100,9804	10,0489	1,4071
320	99,2414	9,9620	1,8499
324	103,4231	10,1697	1,9944
340	104,2727	10,2114	1,5394
360	102,9231	10,1451	1,6245
380	107,2093	10,3542	1,5790
400	107,1875	10,3531	1,8302
420	109,4800	10,4633	2,0927
440	107,2778	10,3575	1,7262
460	105,5957	10,2760	1,4989
480	109,0000	10,4403	2,0475
500	108,0000	10,3923	1,6641
520	110,0244	10,4893	1,6381
540	109,2857	10,4540	1,9756
560	107,8939	10,3872	1,2786
580	109,2727	10,4534	1,5759
600	105,3000	10,2616	2,2946
620	107,2143	10,3544	1,9568
640	105,1587	10,2547	1,2920

Daraus ergibt sich folgendes Diagramm:



Man erkennt, ab einer Spannung von etwa 300V,
beginnt die Zählrate steil an zu wachsen
und ab einer Spannung von ca. 316V
stagniert sie.

Ab hier wurde die Zählrohrspannung
 $U_{GZ2} = 460V$ gewählt. ✓



4.2 Statistische Verteilung bei kleinen Zählraten

Im ersten Schritt werden die einzelnen relativen Häufigkeiten der in der Reihe gemessenen Werte bestimmt.

Es wurden insgesamt 600 Einzelmessungen durchgeführt.

Die relativen Häufigkeiten wurden wie folgt bestimmt.

$$H(x_i) = \frac{n(x_i)}{N}$$

Wobei $n(x_i)$ die absolute Häufigkeit eines Wertes und N die Gesamtanzahl der Messungen ist.

Es ergibt sich folgende Tabelle

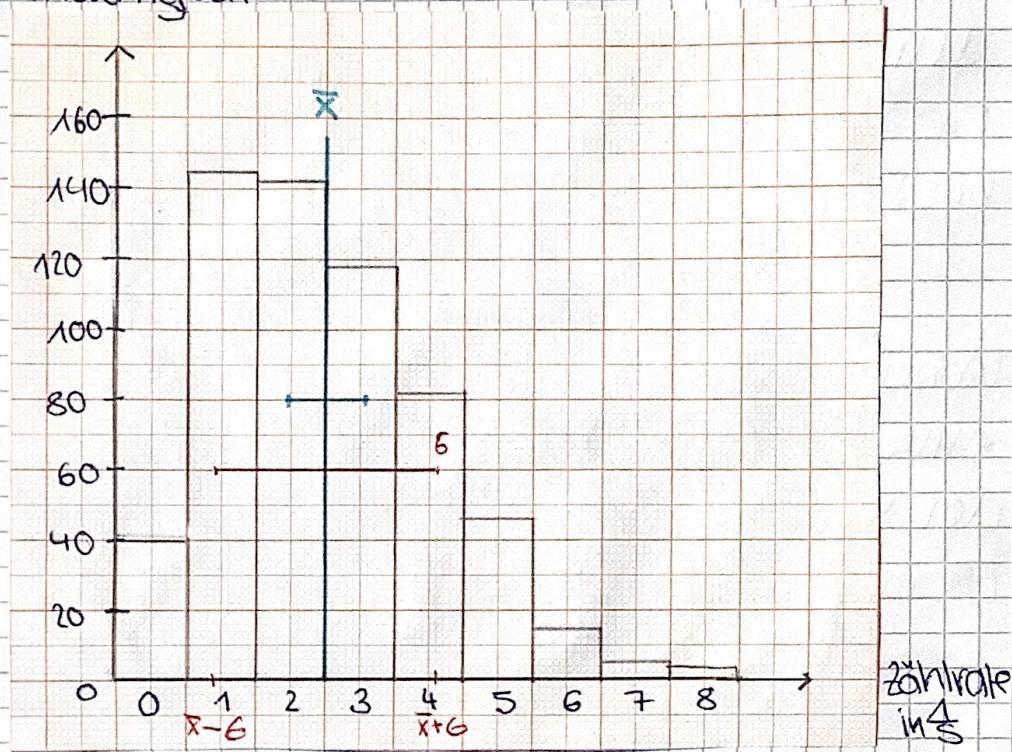
Zählrate	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit (%)
0	41	0,0683
1	145	0,2417
2	142	0,2367
3	119	0,1983
4	82	0,1367
5	47	0,0783
6	15	0,0250
7	5	0,0083
8	4	0,0067

← (keine Prozent)

Mittelwert	Streuung (alt)	Streuung neu
2,5100	1,5992	1,5843

Für das Histogramm wird eine Klassenbreite von $\Delta x = 1$ gewählt.
Auf der y-Achse werden die absoluten Häufigkeiten aufgetragen.

Häufigkeit



Zählrate
in $\frac{1}{s}$

In das Histogramm wurde der Mittelwert \bar{x} und der Fehler des Mittelwertes s und die Streuung s eingezeichnet

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n x_i q_i = 2,5 \pm \frac{s}{\sqrt{N}}$$

wobei N die Gesamtzahl der Messungen,
 q_i die jeweilige absolute Häufigkeit x_i
zu Zählrate x_i ist

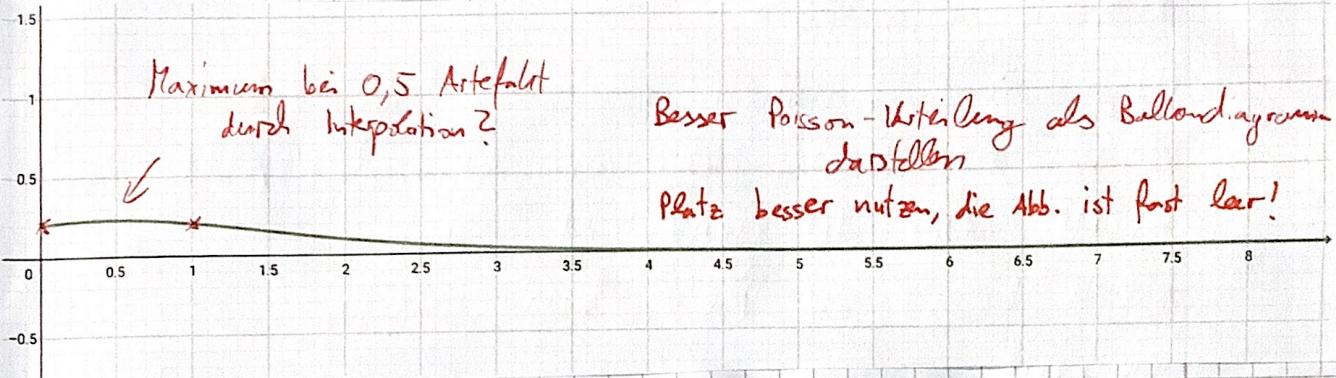
$$s = \sqrt{\bar{x}} = 1,5843 \frac{1}{\sqrt{s}}$$

$$s = \frac{6}{\sqrt{8}} = \frac{1,5843 \frac{1}{\sqrt{s}}}{\sqrt{8} \cdot \sqrt{N}} = 0,5613 \frac{1}{\sqrt{s}}$$

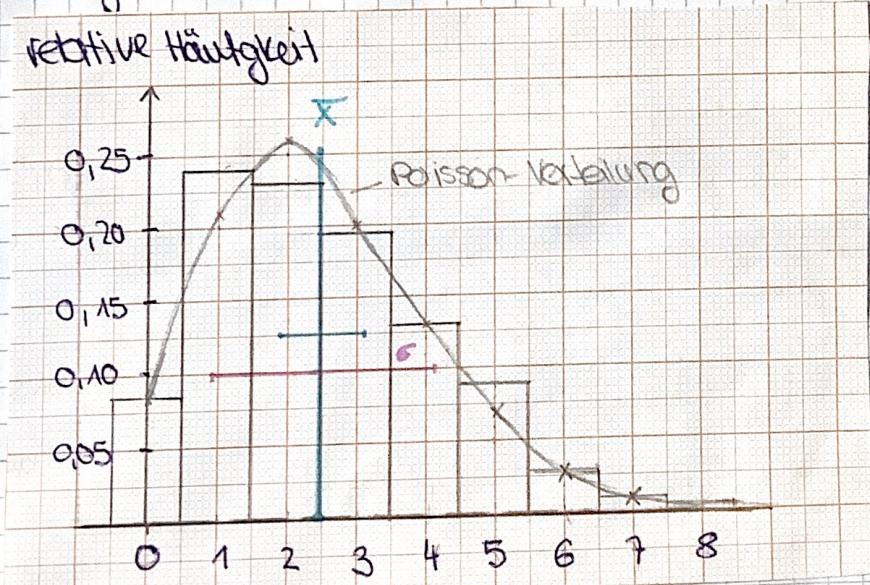
$$\Rightarrow x = (2,5 \pm 0,8) \frac{1}{\sqrt{s}}$$

Es wird auch die Poisson-Verteilung
in das ^{folgende} Histogramm eingezeichnet.

$$x_p(x) = \frac{\bar{x}^x}{x!} e^{-\bar{x}} = \frac{2,51}{x!} e^{-2,51}$$



Im Folgenden Histogramm wurden die relativen Häufigkeiten auf der y-Achse aufgetragen. Es wurde auch wieder der Mittelwert und sigma berücksichtigt. Zudem wurde die Poisson-Verteilung mit eingezeichnet.



Wie man sieht folgen die Messwerte der Poisson-Verteilung. ✓

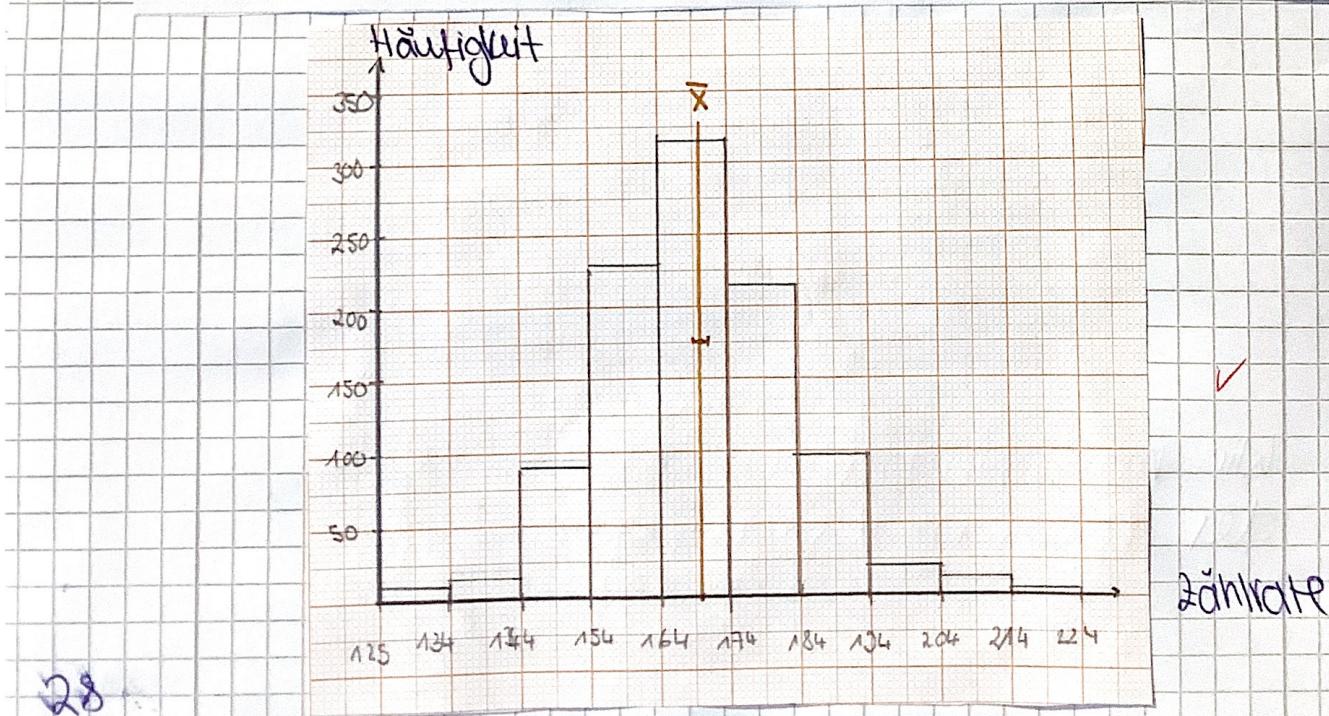
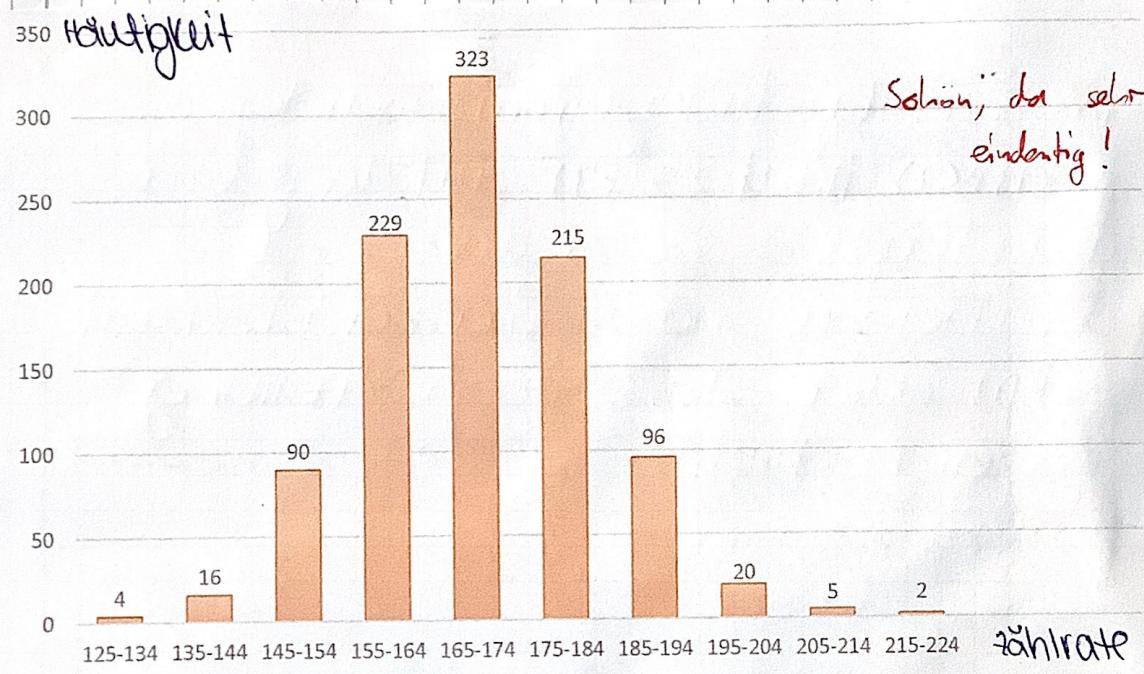
4.3 Statistische Verteilung bei großen Zähleraten

Die Anzahl der Messwerte beträgt $N = 1000$.

Daraus ergibt sich die Anzahl der Intervalle, mithilfe der Faustregel ($F=8$).

$$\tilde{N} \approx 5 \log(N) \approx 15$$

Da sich hierbei um eine Faustregel handelt, wurde bei dem Histogramm eine Intervallbreite von 10 gewählt, um die Werte besser zu veranschaulichen.



Der Mittelwert berechnet sich wie folgt:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum x_i a_i = \frac{1}{1000} 169,496 \frac{1}{3} = 169,496 \frac{1}{3}$$

mit N Anzahl der Messungen und x_i die Zähleraten mit den dazugehörigen absoluten Häufigkeit a_i .

Fehler der Einzelmessung: $\sigma\sqrt{\bar{x}} = 13,01906 \frac{1}{s}$

Fehler des Mittelwerts: $s = \frac{\sigma}{\sqrt{m}} = 1,54808 \frac{1}{s}$

mit $m = 71$

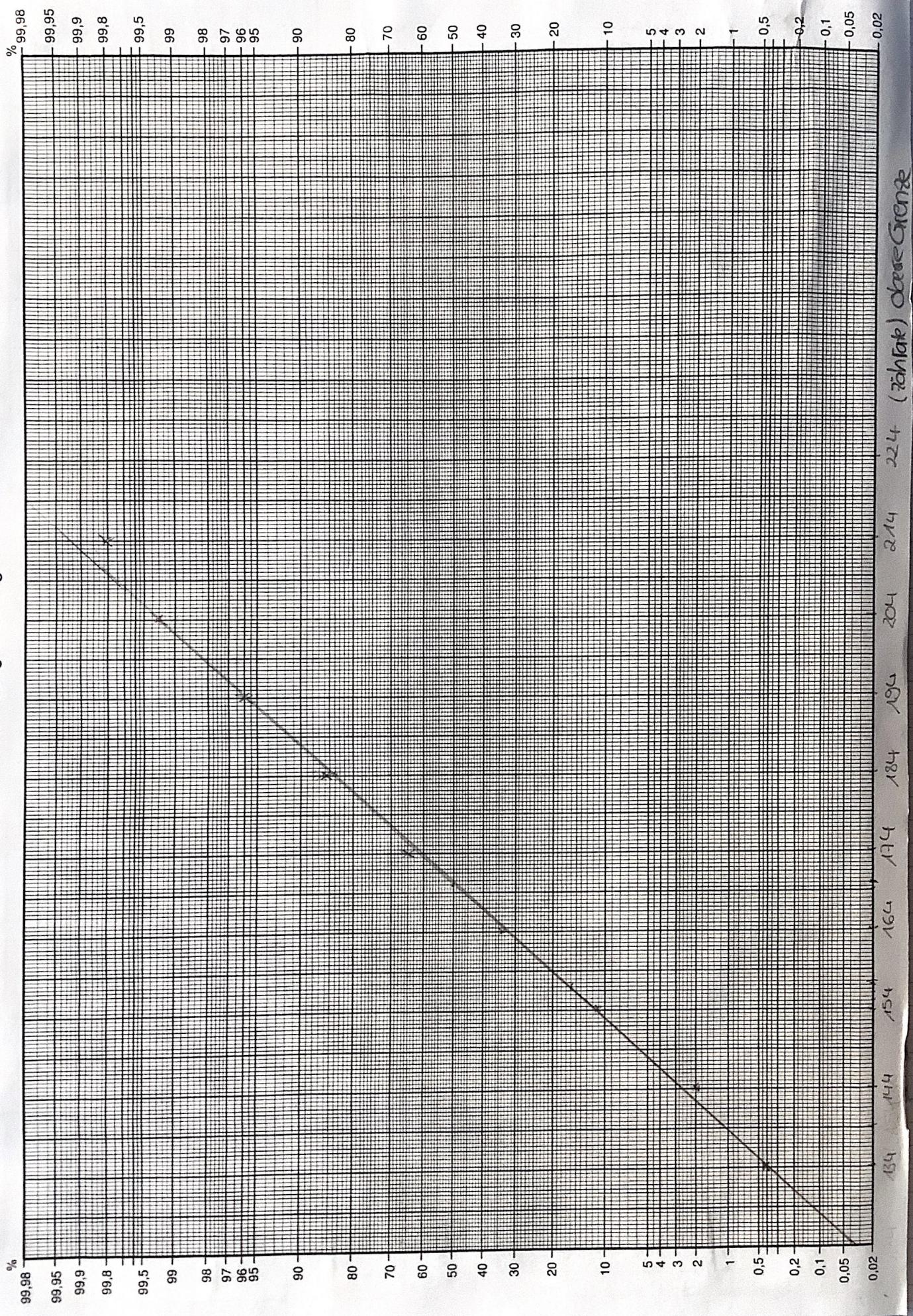
\Rightarrow Mittelwert: $\bar{x} = (169,5 \pm 1,8) \frac{1}{s}$

Als nächstes wird die relative Häufigkeit $H(x_i) = \frac{n(x_i)}{N}$, wobei $n(x_i)$ die absolute Häufigkeit beschreibt und N die Anzahl der Messungen, bestimmt.

In der folgenden Tabelle wurde sowohl die relative und absolute Häufigkeit als auch die Summe der relativen Häufigkeiten aufgetragen.

untere Grenze 1/s	obere Grenze 1/s	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit (%)	Summe der relativen Häufigkeiten (%)
125	134	4	0,4	0,4
135	144	16	1,6	2,0
145	154	90	9,0	11,0
155	164	229	22,9	33,9
165	174	323	32,2	66,2
175	184	215	21,5	87,7
185	194	96	9,6	97,3
195	204	20	2,0	99,3
205	214	5	0,5	99,8
215	224	2	0,2	100,0

Wahrscheinlichkeitsnetz
Merkmalsgrenzwert g



3.

Hier wurden die s_i , welche über die Formel

$$s_i = \sum \frac{1}{N} n(x_i) = \sum h(x_i)$$

bestimmt und auf Wahrscheinlichkeitspapier aufgetragen.

Auf die x-Achse wird (linear) die obere Grenze des Histogramminterkonnektiv aufgetragen. ✓

Auf die y-Achse werden die dazugehörigen Summen s_i eingezeichnet. Dabei diese Werte in der Grafik als fehlerfrei angenommen werden.

Wie aus der Grafik ersichtlich, lässt sich relativ gut eine Ausgleichsgerade einzeichnen.

Daraus lässt sich schließen, dass die gemessenen Daten (wahrscheinlich) Normalverteilt sind.

Der abgelesene Mittelwert liegt in der Grafik bei ca. 50.1. (auf der y-Achse)

$\Rightarrow \underline{x_A} = (171 \pm 1) \frac{1}{5}$ dies entspricht in etwa dem berechneten Wert von $\bar{x} = 170 \frac{1}{5}$ ✓

Das Sigma lässt sich aus der Grafik wie folgt bestimmen:

$$y_1 = (50 + 34, 14) \cdot 1 \sim 84 \cdot 1 : 184 \frac{1}{5}$$

$$y_2 = (50 - 34, 14) \cdot 1 \sim 16 \cdot 1 : 157 \frac{1}{5}$$

$$\Rightarrow s_A = \frac{1}{2} (184 - 157) \frac{1}{5} = \underline{13,5 \frac{1}{5} \pm 1,05}$$

Was in etwa dem berechneten Wert von $13 \frac{1}{5}$ entspricht, vor allem wenn man den Fehler (Abselefehler) von $\pm 1 \frac{1}{5}$ berücksichtigt

4.4. β -Energiespektrum

Im Folgenden soll ein Diagramm der Zählrate als Funktion von $\frac{v}{c}$ erstellt werden.

Thoretischer Hintergrund:

Für die Ablenkung im Magnetfeld gilt:

$$qvB = m \frac{v^2}{r} \quad \text{mit} \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$$

Durch einsetzen und umstellen folgt:

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 \left(1 + \frac{m_0^2 c^2}{q^2 B^2 r^2}\right) = 1$$

$$\rightarrow \frac{v}{c} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_0^2 c^2}{q^2 B^2 r^2}}}$$

Auf unseren Fall angewandt und unter der Bedingung $B = I = 0,170 \frac{T}{A}$ ergibt sich der Zusammenhang zwischen Strom und der Geschwindigkeit des detektierten Teilchen wie folgt:

$$\frac{v}{c} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_e c^2}{e^2 I^2 r^2 (0,170 \frac{T}{A})^2}}} \quad \checkmark$$

Für den Fehler ergibt sich:

$$S_{\frac{v}{c}} = \left(\frac{v}{c}\right)^3 \frac{c^2 m_e}{(0,170 \frac{T}{A})^2 e^2 r^2 I^3} S_I$$

mit $S_I = 0,005 \text{ A}$ ↵ Woher kommt diese Zahl?

Für den systematischen Restfehler des Zählrate gilt:

$$S_r = \frac{1}{10} \frac{n}{z^2} S_+ \quad \text{mit } S_+ = 10^{-6} \text{ s}$$

$$\Rightarrow S_r = \frac{n}{z^2} \cdot 10^{-7} \text{ s} \quad \checkmark \text{ (Viel kleiner als statistische Unsicherheit)}$$

Die Messzeit hat $t = 10 \text{ s}$ betragen für n gemessene Ereignisse. Somit gilt für den Fehler des Mittelwertes:

$$S_M = \sqrt{S^2 + (z \cdot 10^{-8})^2} \quad \text{mit } [z] = \left(\frac{n}{10} \right) = \left(\frac{1}{s} \right)$$

Was ist S ?

Z ist der Mittelwert des Zählrate
Auswertung der Messwerte

Für die statistische Auswertung wurde ein Computerprogramm zur Hilfe genommen.

Die Werte sind in einer Tabelle (im Anhang) ersichtlich.

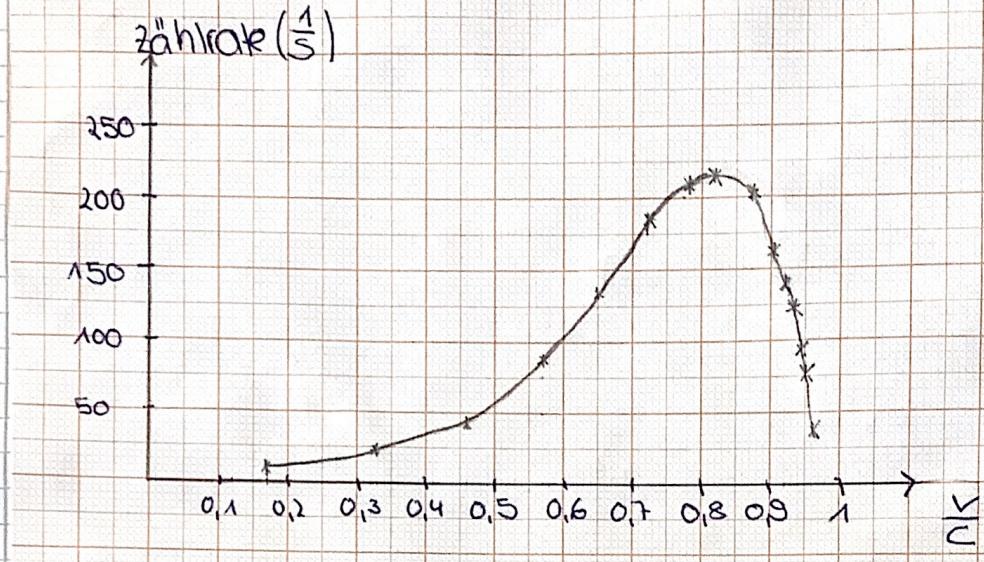
Für den Messfehler des korrigierten Mittelwertes gilt, unter Beachtung des Fehlers Fortpflanzung:

$$S_k = \sqrt{S_{\#}^2 + S_M^2}$$

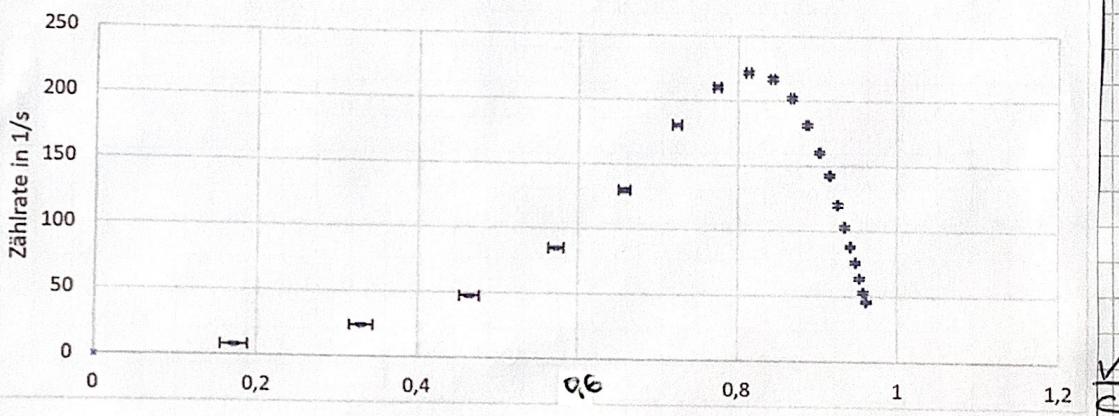
wobei der korrigierte Mittelwert mit Hilfe des Mittelwertes unter Abzug des Hintergrundstrahlung angenommen wurde.

$S_{\#}$ bezeichnet hierbei den Fehler des Hintergrundwertes und S_M den Fehler des noch nicht korrigierten Mittelwerts. ✓

Das Diagramm des Spektrums:



Beta Energiespektrum



Bei der Fehler im Histogramm, die Darstellung verkompliziert hätte würde er zur besseren Übersichtlichkeit weggelassen.
Deswegen wurde ein vom Computer berechnetes β -spektrum mit eingezeichneten Fehlern eingeklebt. ✓
Das Energiespektrum entspricht dem erwartenden.

→ Was war dann erwartet?

5 Daten

5.1 Daten zu Auswertung 4.3

Zählraten $x' (1/s)$	Anzahl
128	1
130	2
131	1
138	1
139	1
140	4
141	2
143	3
144	5
145	6
146	9
147	5

Zählraten $x' (1/s)$	Anzahl
160	25
161	32
162	29
163	22
164	19
165	40
166	39
167	32
168	25
169	29
170	19
171	37

Zählraten $x' (1/s)$	Anzahl
184	17
185	16
186	17
187	11
188	9
189	10
190	9
191	10
192	3
193	8
194	3
195	5

5.2 Daten zur Auswertung 4.4

Hintergrund											
Strom in A	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	
Nr	Rate in 1/s	Rate in 1/s									
1	35	42,6	64,2	83	123,6	163,3	213,9	250,1	259,9	253,5	
2	32,8	42,9	56	81,4	121,2	157,6	211,4	242,5	257,5	245,9	
3	38	45,7	60	85,9	116,9	165,1	216,7	240,8	256,1	259,8	
4	36,5	44,7	59,5	83,8	122	170,7	216,7	250,9	252,4	248,8	
5	37	40,8	58,4	80,7	121,2	163,6	211,9	253,9	259,5	249,8	
6	33,5	44,5	55,4	80,9	119,8	164,7	219,4	239,9	263,1	258,3	
7	34,3	44	59,4	80,9	118,4	164,8	218,4	245,7	256,5	250,7	
8	32,2	42,3	60,2	84,5	121,4	172	220,6	244,2	256	247,3	
9	36,3	45	59,3	81,5	118,8	161,8	217,8	246	257,4	252,7	
10	36,1	38,1	59,4	83,7	119	168,3	212,9	240,4	250,2	253,1	

Hintergrund											
Rate in 1/s											
0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
242,6	207,5	196,8	176,5	161,9	139,7	122,5	112,9	94,7	86,7	79,6	
229,3	221,6	196	178,7	152,2	136,8	127,2	107,2	94,7	94,7	76,2	
234,8	219,2	197,9	182,7	147,9	140	120,4	115,8	98,9	87	82,3	
237,4	217,9	194,5	173,9	149,2	132,3	124,4	112,5	94,6	84,3	83,7	
236,6	219,7	192,3	172,5	159,4	132,1	127	112,6	102,8	88,5	79,6	
233,6	215,5	200,8	177,3	154,7	139,7	125,3	104,2	96,8	89,3	85	
243,4	217,6	196,3	178,3	159,7	136	123,8	113,9	101	86,8	80,3	
242,8	216,7	195,4	174,3	156,2	142,7	124,6	113,2	105	84,7	80,7	
235,8	211,3	188,5	182,4	153,6	143,3	117,2	111,6	102,6	88,9	83,7	
236,9	217,5	196,7	181,4	158,3	140,5	120,7	108,9	99,7	91,8	80,8	

$$\frac{\sqrt{3,698 \frac{1}{8^2}}}{\sqrt{10}} = \frac{0,43 \frac{1}{2}}{0,63 \frac{1}{2}} \quad \checkmark$$

lin A	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
σ^2 in $1/s^2$	3,698E+00	5,212E+00	5,793E+00	3,260E+00	3,991E+00	1,800E+01	1,052E+01
s in $1/s$	4,300E-01	7,219E-01	7,611E-01	5,710E-01	6,318E-01	1,342E+00	1,026E+00
Mittelwert in $1/s$	3,517E+01	4,306E+01	5,918E+01	8,263E+01	1,202E+02	1,652E+02	2,160E+02
korr. Wert in $1/s$		7,890E+00	2,401E+01	4,746E+01	8,506E+01	1,300E+02	1,808E+02
Fehl. Ko.W. in $1/s$		0,840267814	0,874175802	0,714776577	0,764209932	1,408898309	1,112162558

0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
2,348E+01	1,350E+01	2,006E+01	2,027E+01	1,742E+01	1,090E+01	1,296E+01	2,160E+01
1,532E+00	1,162E+00	1,416E+00	1,424E+00	1,320E+00	1,044E+00	1,139E+00	1,470E+00
2,454E+02	2,569E+02	2,520E+02	2,373E+02	2,165E+02	1,955E+02	1,778E+02	1,553E+02
2,103E+02	2,217E+02	2,168E+02	2,022E+02	1,813E+02	1,604E+02	1,426E+02	1,201E+02
1,591381301	1,23910586	1,480200812	1,487116897	1,388066201	1,129190959	1,217102662	1,531192346

0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
1,533E+01	9,897E+00	1,215E+01	1,434E+01	1,001E+01	6,610E+00
1,238E+00	9,948E-01	1,102E+00	1,197E+00	1,000E+00	8,130E-01
1,383E+02	1,233E+02	1,113E+02	9,908E+01	8,827E+01	8,119E+01
1,031E+02	8,814E+01	7,611E+01	6,391E+01	5,310E+01	4,602E+01
1,310765256	1,08376658	1,183293427	1,272165695	1,088839852	0,91971916

v/c	0	0,171937852	0,329571614	0,463869177	0,572442954	0,657516366	0,723224986
Zählrate in 1/s	0	7,890E+00	2,401E+01	4,746E+01	8,506E+01	1,300E+02	1,808E+02
feh. Zählrate 1/s		0,840267814	0,874175802	0,714776577	0,764209832	1,408898309	1,1112162558
s (v/c)		1,669E-02	1,469E-02	1,214E-02	9,621E-03	7,465E-03	5,749E-03

0,773839803	0,81300437	0,843569418	0,86767615	0,886905018	0,90241764	0,915069884	0,925496714
2,103E+02	2,217E+02	2,168E+02	2,022E+02	1,813E+02	1,604E+02	1,426E+02	1,201E+02
1,591381301	1,23910586	1,480200812	1,487116897	1,388066201	1,129190959	1,217102662	1,531192346
4,435E-03	3,445E-03	2,703E-03	2,144E-03	1,721E-03	1,396E-03	1,145E-03	9,483E-04

0,934173377	0,941459121	0,947628303	0,952892608	0,957417002	0,961331286		
1,031E+02	8,814E+01	7,611E+01	6,391E+01	5,310E+01	4,602E+01		
1,310765256	1,08376658	1,183293427	1,272165695	1,088839852	0,91971916		
7,929E-04	6,688E-04	5,686E-04	4,870E-04	4,200E-04	3,645E-04		

68

6 Fazit

Im Vorausgegangenen wurde die Zählrohrcharakteristik und die statistische Verteilung, sowohl bei kleinen als auch bei großen Zählraten, bestimmt.

Bei den Zerfällen der kleinen Zählraten wurde die Vermutung aufgestellt, dass diese Poissonverteilt sind und dies wurde auch gezeigt.

Bei den großen Zählraten wurden die Messwerte auf Wahrscheinlichkeitspapier gezeichnet und somit wurde deutlich, dass diese normalverteilt sind.

Zuletzt wurde noch das β -Spektrum gemessen und ausgewertet. Das dadurch ergebende Diagramm entspricht dem erwartenden. ✓

Fragen zur Vorbereitung

Form

Messprotokoll und Versuchsdurchführung

Aufgaben

Nachmittagsübergreifende Messung (Werte, Diskussion)

Zählrohrcharacteristik (Plot, Diskussion)

kl. Zählraten (Histogram, Poisson-Verteilung)

gr. Zählraten (Histogram, Poisson-Verteilung)

Vergleich der Standardabweichung mit der Wurzel des Mittelwerts

Wahrscheinlichkeitspapier, Ablesen von Mittelwert und Stdabw.

β -Spektrum: Werte für v/c und Zählraten, Grafik

β -Spektrum: vollständige Fehlerrechnung

2/2
4/4
(insg. 14P.)

1,5/2

2/2

1/1

1 ~~0~~/2 ←

0/1

2/2

2/2

2/2

$\Sigma 12,5 / 20$

1P. Abzug
für Fehlerrech.
Berechnung
des
Standardfehlers

Messprotokoll Versuch: Rad

1. Allgemeines:

Ort: Universität Bayreuth, NWII, Raum 2.3.02.704

Datum: 22.07.2020, 14³⁰ -

Messperson: Paul Schwanitz

Protokollperson: Dominik Müller

Auswerte person: Anna-Maria Pleyer

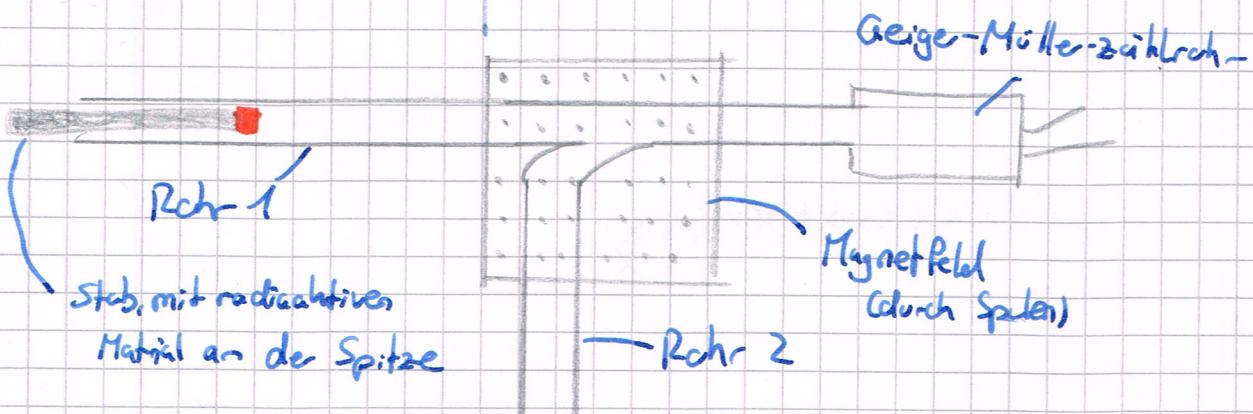
Verwendeter Arbeitsplatz:

Erster Platz an der Tür

2. Verwendete Arbeitsmaterialien

Name	Geräte - Nummer / SIN - Nummer
GAMMA-SCOUT	0 70695
Geiger-Müller-Zählrohr/ Zählelektronik	575-48 (Inventarnr.: 78368)
Spulenpaar	562 15
Multimeter	M 16 50 8600
Labor netzteil	PC-101 A
Auswerte-Rechner	YL3M039110

Skizze aufbau:



3. Messung über den Nachmittag hinweg

Um 15³⁰ wurde eine Messung auf dem Gamma-Sort gestartet, welche alle (α, β, γ -Stellung) Zerfälle misst.

Um 15⁴⁰ wurde die Messung beendet und es wurden insgesamt: 200 Zerfälle am Platz der Auswerteperson festgestellt.

Eine weitere Messung wurde um 15⁴⁵ am Platz der Messperson gestartet.

Nach 10 Minuten wurden 488 Zerfälle gemessen.

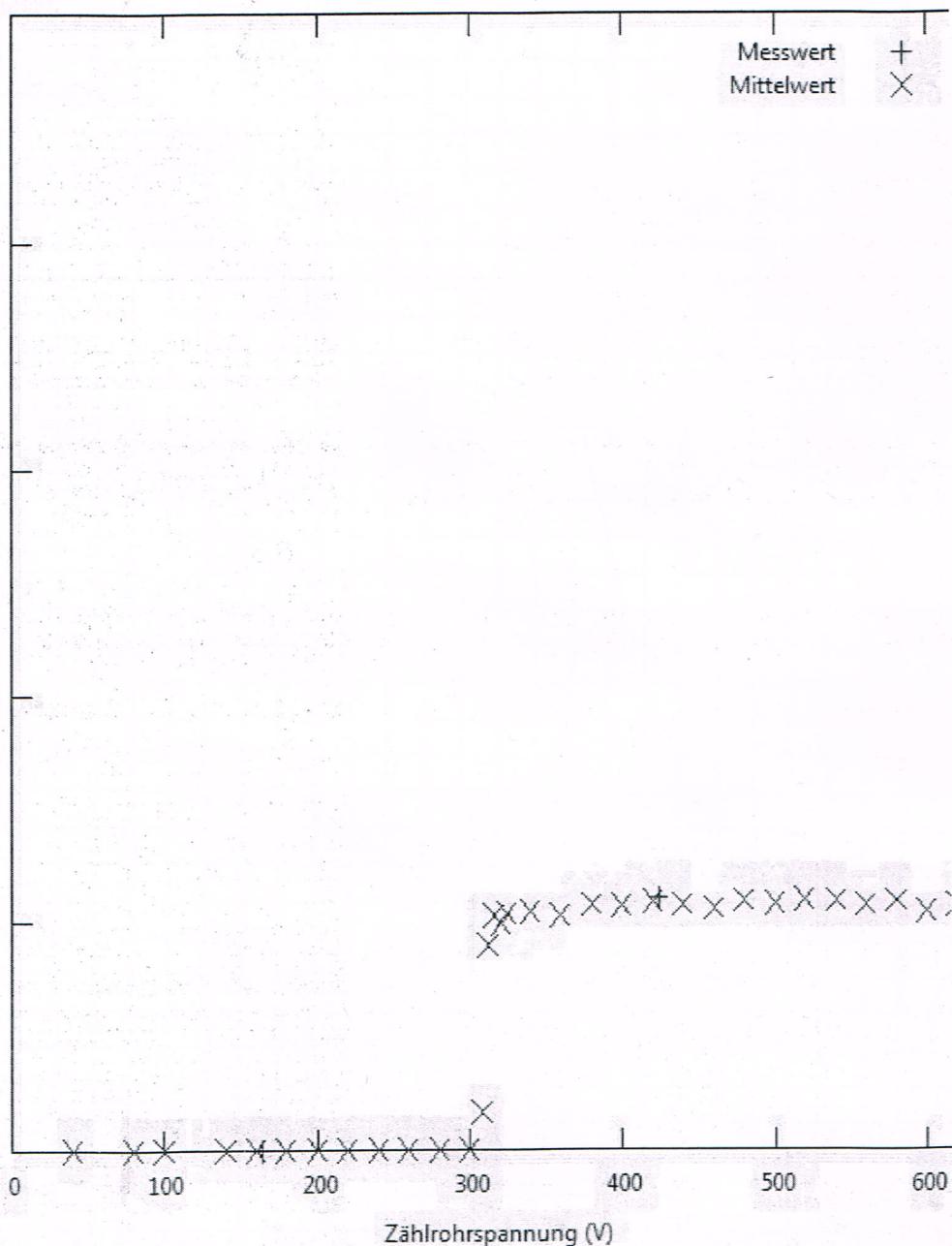
Um 16⁰⁰ wurde eine dritte Messung an Platz der Protokoll-person für 10 Minuten gestartet. Nach dieser Zeit wurden 338 Zerfälle gemessen.

4. Zählrohr statistik/ Geiger-Müller Zählrohrspannung

Die Messperson stellt als Ausgangsspannung einen Wert von 400 V ein. Nach einer Messung mit $\Delta t = 1\text{s}$, wurden ca. 100 Zerfälle gemessen.

Im nächsten Schritt wird die Spannung auf 0V eingestellt und Schrittweise erhöht. Die Breite der Schritte hängt davon ab ob viel passiert oder nicht (0V - 300V: wenig Veränderer \rightarrow Spaltenbreite 50V). Pro Spannungsstufe werden mindestens 10 Messungen durchgeführt. (Messdaten: 1.6.1 22.07.-15.23.44.d)

1/s)



Man sieht, dass ~~die~~ von 300 V - 640 V (mehr Spannungen geht vom Netzteil aus nicht) geht.

Die Plateau-Spannung wird nun auf 460 V eingestellt.

$$U_p = 460 \text{ V}$$

Fehler: kleinste ablesbare Einheit: 4 V

5. Statistische Verteilung bei kleinen Zählraten

Die Messperson zieht den Stab soweit aus dem Rohr heraus,
dass die mittlere Zählrate zwischen 2 und $3 \frac{1}{3}$ beträgt.

Danach wurden 600 Einzelmessungen mit je $\Delta t = 1s$ gestartet
und ein Histogramm aufgetragen. (Messdatei: 4.6.2-22.07-15.50.36.dat)

2/3

6. Statistische Verteilung der großen Zählraten

Das Präzett wurde durch die Messperson so in den Rechner platziert, dass die mittlere Zählrate zwischen $150\frac{1}{3}$ und $200\frac{1}{3}$ liegt.

Nun wird eine Messung gestartet, wobei mal die Zählrate für $\Delta t = 1s$ gemessen wird. Es ergibt sich das folgende Histogramm. (Messdatei: A.6.3_22.07 - 15.57.51.dat)

7. β -Spektrum

Das Präparat wird durch Messperson in das Rohr 2 eingeführt.

Mit einer Messzeit $\Delta t = 10\text{s}$ werden 20 Untergrundmessungen durchgeführt.

Es ergibt sich folgende Messung: (Fehler, Spannungsmessgerät: $s_v = 0,005\text{ A}$)

Messungs-Nr.	Anzahl der Zählfälle	Messungs-Nr.	Anzahl der Zählfälle
1	350	11	360
2	328	12	360
3	380	13	325
4	365	14	335
5	370	15	364
6	335	16	358
7	343	17	344
8	322	18	328
9	363	19	348
10	361	20	363

Nun wird die Stromstärke schrittweise um $0,05\text{ A}$ auf insgesamt 14 gesteigert. (Zählrate \rightarrow Totale Zählfälle in 10s)

$$I = 0,05\text{ A}$$

Messungs-Nr.	Zählrate	Messungs-Nr.	Zählrate
1	426	6	445
2	429	7	440
3	457	8	423
4	447	9	450
5	408	10	381

$I = 0,1A$

Messungs-Nr.	Zählrate	Messungs-Nr.	Zählrate
1	642	6	554
2	560	7	594
3	600	8	602
4	595	9	593
5	584	10	554

$I = 0,15A$

Messungs-Nr.	Zählrate	Messungs-Nr.	Zählrate
1	830	6	809
2	814	7	809
3	859	8	845
4	838	9	815
5	807	10	837

$I = 0,2A$

Messungs-Nr.	Zählrate	Messungs-NR.	Zählrate
1	1236	6	1198
2	1212	7	1184
3	1169	8	1214
4	1120	9	1188
5	1212	10	1190

$I = 0,25A$	Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate
	1	163.3	6	164.7
	2	157.6	7	164.8
	3	165.1	8	172.0
	4	170.7	9	161.8
	5	163.6	10	168.3

$I = 0,3A$	Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate
	1	213.9	6	219.4
	2	211.4	7	218.4
	3	216.7	8	220.6
	4	216.7	9	217.8
	5	211.9	10	212.9

$I = 0,35A$	Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate
	1	250.1	6	239.9
	2	242.5	7	245.7
	3	240.8	8	244.2
	4	250.9	9	246.0
	5	253.9	10	240.4

$I = 0,4A$	Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate
	1	259.9	6	263.1
	2	257.5	7	256.5
	3	256.1	8	256.0
	4	252.4	9	257.4
	5	259.5	10	250.2

$I = 0,45A$	Messungs-Nr	Zählrate		Messungs-Nr	Zählrate	
	1	2535		6	2583	
	2	2459		7	2507	
	3	2598		8	2473	
	4	2488		9	2527	
	5	2498		10	2531	

$I = 0,5A$	Messungs-Nr	Zählrate		Messungs-Nr	Zählrate	
	1	2426		6	2336	
	2	2293		7	2434	
	3	2348		8	2428	
	4	2374		9	2358	
	5	2366		10	2369	

$I = 0,55A$	Messungs-Nr	Zählrate		Messungs-Nr	Zählrate	
	1	2075		6	2155	
	2	2216		7	2176	
	3	2192		8	2167	
	4	2179		9	2113	
	5	2197		10	2175	

$I = 0,6A$	Messungs-Nr	Zählrate		Messungs-Nr	Zählrate	
	1	1968		6	2008	
	2	1960		7	1963	
	3	1979		8	1954	
	4	1945		9	1885	
	5	1923		10	1967	

$I=0,65A$	Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate	
	1	1765		6	1773
	2	1787		7	1783
	3	1827		8	1743
	4	1739		9	1824
	5	1725		10	1814

$I=0,7A$	Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate	
	1	1619		6	1547
	2	1522		7	1597
	3	1479		8	1562
	4	1492		9	1536
	5	1594		10	1583

$I=0,75A$	Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate	
	1	1397		6	1397
	2	1368		7	1360
	3	1400		8	1427
	4	1323		9	1433
	5	1321		10	1405

$I=0,8A$	Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate	
	1	1225		6	1253
	2	1272		7	1238
	3	1204		8	1246
	4	1244		9	1172
	5	1270		10	1207

$I=0,85A$

Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate
1	1129	6	1042
2	1072	7	1139
3	1158	8	1132
4	1125	9	1116
5	1126	10	1086

$I=0,5A$

Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate
1	947	6	968
2	947	7	1010
3	989	8	1050
4	946	9	1028
5	1028	10	997

$I=0,55A$

Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate
1	862	6	893
2	947	7	868
3	870	8	847
4	843	9	889
5	885	10	918

$I=1A$

Messungs-Nr	Zählrate	Messungs-Nr	Zählrate
1	796	6	850
2	762	7	803
3	823	8	807
4	837	9	837
5	796	10	808

8. Fehler - Zusammenfassung:

Gerät	Ablesefehler s_A	Systematischer Restfehler
Multimeter (Impere)	0,005 A	NA
GM-Zählrohr (Stopuhr)	1s	1μs
GM-Zählrohr (Zähle)	1	NA
GM-Zählrohr (Spannplus)	4V	NA

I=0,854 Messungs-Nr. 2x11

9. Unterschriften

Bayreuth, den 22.07.2020

Paul Schwanitz
Paul Schwanitz (Messperson)

Dominik Müller
Dominik Müller (Protokollperson)

I=

Anna-Maria Pleyer
Anna-Maria Pleyer (Auswertungsperson)

I=1.

Häufigkeit

300

250

200

150

100

50

0

Anzahl der Messungen N = 600

Histogramm

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Zählrate (1/s)

0

1

2

3

4

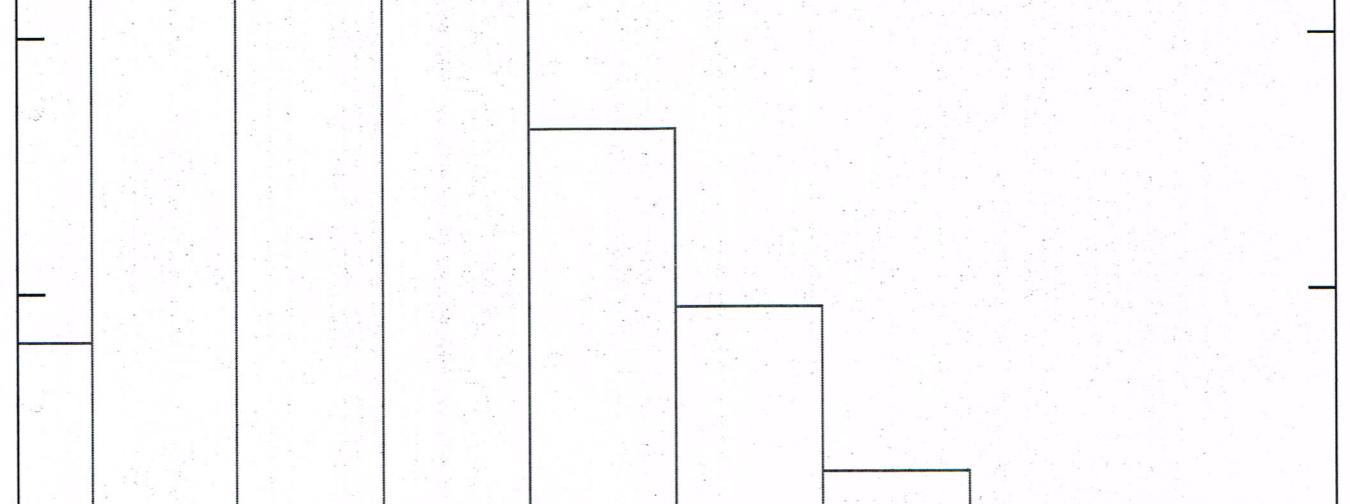
5

6

7

8

9



Häufigkeit

300

250

200

150

100

50

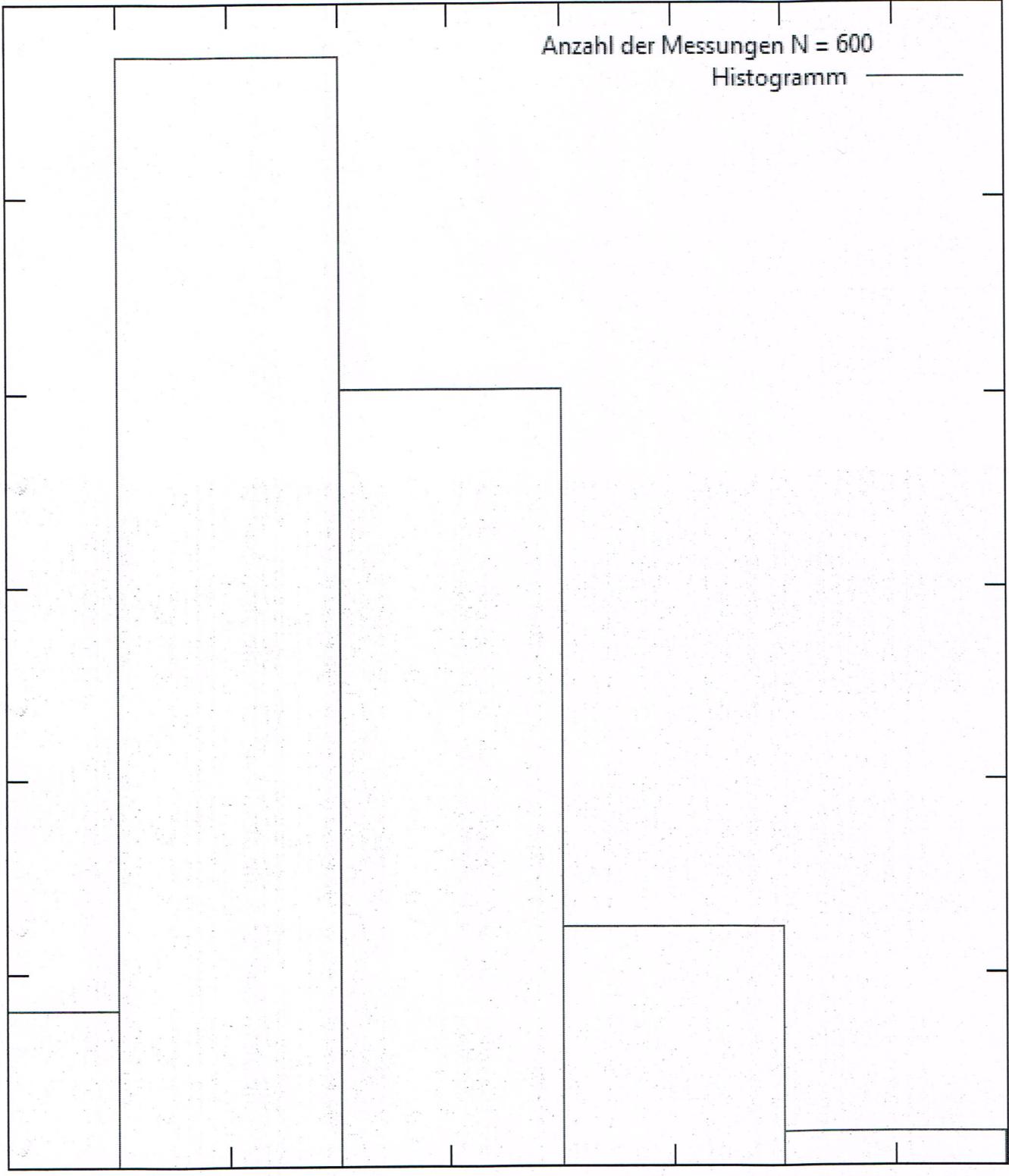
0

Anzahl der Messungen N = 600

Histogramm

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Zählrate (1/s)



Häufigkeit

400

Anzahl der Messungen N = 1000

Histogramm

350

300

250

200

150

100

50

0

130

140

150

160

170

180

190

200

210

220

Zählrate (1/s)

