

Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München
Grundpraktikum in Experimentalphysik - Kurs P1
Blockpraktikum vom 23. Februar bis 23. März 2026

Versuch:					Gruppe:				
Vorname 1:					Name 1:				
Vorname 2:					Name 2:				
Mit Abgabe der Auswertung wird bestätigt, dass diese eigenständig erstellt wurde!									
Die Abgabe ist vor dem Einreichen auf eine saubere äußere Form und Struktur zu kontrollieren. Bei ungenügender äußerer Form erfolgt zunächst keine Korrektur!								OK? <input type="checkbox"/>	
					1. Abgabe		2. Abgabe		
Alle Teilversuche vollständig ausgewertet?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Wurden immer korrekte Formeln angegeben und eigene Werte eingesetzt?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Wurde immer eine Fehlerrechnung durchgeführt?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Sind Endergebnisse immer angegeben und korrekt gerundet?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Wurde immer eine aussagekräftige Diskussion geführt?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Wurden alle Diagramme mit geeignetem Maßstab und Titel eingefügt?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Enthalten die Diagramme alle Messwerte, Beschriftungen u. Konstruktionen?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Sind ausgefülltes Deckblatt, Vorbereitung und Messprotokoll in der Abgabe enthalten?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Auswertung erhalten am:									
Auswertung zurückgegeben am:									
Nacharbeit notwendig bis:					nicht möglich				
Abzug 0,2 Punkte pro Nacharbeit/angefangene 3 Tage Verspätung:					-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	
Wird eine der obigen Fragen bei der ersten Abgabe mit Nein beantwortet ist eine Nacharbeit erforderlich!									
Punkte:					Datum, Abtestat:				

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum unbedingt auf.

Auswertung und Protokoll

Zum Versuch STV

Jonas Müther & Alejandro Schultheiss

P1 Praktikum

LMU München
Physik B.Sc.
Deutschland
2026

Inhaltsverzeichnis

1 Vorbereitung	2
1.1 Versuchsvorbereitung und Grundlagen des Versuchs	2
1.2 Versuchsprotokoll	10
2 Auswertung	15
2.1 Teilversuch I:	15
2.2 Teilversuch II und III: Aufnahme einer Poissonverteilung mit natürlicher Radioaktivität	16
2.2.1 Theoretischer Hintergrund	16
2.2.2 Auswertung der Messwerte	16
3 Anhang	20
3.1 Matlab Scripts	20
3.1.1 TV I: Gemessene Normalverteilung des Galtonbretts	20
3.1.2 TV II: Gemessene Poissonverteilung der Anzahl detekтирter γ -Quanten	20
3.1.3 TV III: Gemessene Normalverteilung der Anzahl detekтирter γ -Quanten	21

Kapitel 1

Vorbereitung

1.1 Versuchsvorbereitung und Grundlagen des Versuchs

Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München
Grundpraktikum in Experimentalphysik - Kurs P1
Blockpraktikum vom 23. Februar bis 23. März 2026

Vorname:	<i>Jonas</i>	Name:	<i>Müller</i>	Gruppe:	<i>D1-1</i>
----------	--------------	-------	---------------	---------	-------------

Mit Abgabe der Vorbereitung wird bestätigt, dass diese eigenständig erstellt wurde!

Die Abgabe ist vor dem Einreichen auf eine saubere äußere Form und Struktur zu kontrollieren.
Bei ungenügender äußerer Form erfolgt zunächst keine Korrektur!

OK?

	Schriftliche Vorbereitung						Vortrag					
STV	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0
	Antestat:						Antestat:					
ROT	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0
	Antestat:						Antestat:					
FLU	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0
	Antestat:						Antestat:					
STW	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0
	Antestat:						Antestat:					
STO	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0
	Antestat:						Antestat:					
MOS	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	0,0
	Antestat:						Antestat:					

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum unbedingt auf.

Statistische Verteilungen (STV)

Vorbereitung Jonas Müther, 25.02.26

Mathematische Grundlagen I:

Absolute Häufigkeit:

- Anzahl der Ereignisse mit bestimmtem Merkmal
- z.B. Anzahl Kopf bei 10 mal Münzwurf

Größe der Stichprobe:

- Gesamtanzahl aller Ereignisse
- z.B. Anzahl Würfe beim Münzwurf.

Relative Häufigkeit:

$$\text{relat. Häufigkeit} = \frac{\text{absolute Häufigkeit}}{\text{Größe der Stichprobe}} \in [0, 1]$$

Wahrscheinlichkeit:

- relative Häufigkeit eines bestimmten Ereignis für Größe der Stichprobe $\rightarrow \infty$

↳ kann im Experiment nur annähernd gemessen werden (Endlichkeit)

Erwartungswert

Durchschnittliches Ergebnis für eine Zufallsvariable.

$$\text{Diskreter Fall: } E(x) = \sum_{i=0}^{\infty} x_i p(x_i)$$

$$\text{Kontinuierlicher Fall: } E(x) = \int_{\mathbb{R}} x p(x) dx$$

Varianz (V)

Maß dafür, wie stark die beobachteten Werte vom Erwartungswert abweichen

Standardabweichung (σ)

Quadratwurzel der Varianz

$$V = E(X^2) - E(X)^2$$

$$\sigma = \sqrt{V} = \sqrt{E(X^2) - E(X)^2}$$

Wichtige Befehle in Matlab:

Daten importieren: `a = read('Dateiname', '*', a, b)`

* Trennzeichen

a = anz. ignorierte Headerzeile

b = anz. ignorierte Spalten

Vektor: $x = [x_1, y, z]$

Vektor gleichf. Schrittweite dx : $x = [a : dx : b]$

Vektor gleichf. n äquidist. Pkte: $x = linspace(a, b, n)$

Matrix: $A = [a, b; x, y] \hat{=} \begin{pmatrix} a & b \\ x & y \end{pmatrix}$

Matrix Eintrag Lesen: $a = A(n, m)$

" Bereich " $a = A(1:5; 2:3)$

Spalte 1 $a_1 = A(:, 1)$

Matrix beschreiben: $A(n, m) = x$

mathematische Operationen: $+, -, *, /$

Komponentenweise Operation: $.*, ./, .^$

Skalarprodukt: $s = dot(a1, a2)$

Summe der Komponenten $\Sigma = \sum (a_i)$

Plotten einer Fkt: $fplot ('f(x)', [-3, 3])$

Daten in Diagramm: $plot, bar, stem(x, y)$

Titel, Achsenbeschriftung, Legende: `title, xlabel, ylabel, legend`

Werte (x, y) an Polynom fitten $p = polyfit(x, y, n)$

Modus: Zum aktuellen Diagramm hold an hinzufügen.

Diagramm, zwei y-Achsen skalieren: $plotyy(x_1, y_1, x_2, y_2, 'bar', 'plot')$

Ausgabe unterdrücken: ;

Command Window bereinigen:clc

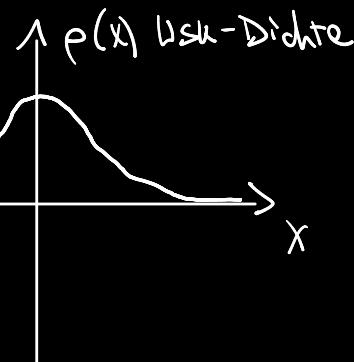
Workspace bereinigen: clear

Kommentar : %

Mathematische Grundlagen II

Normalverteilung:

$$\cdot p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$



$$E = \mu$$

$$V = \sigma^2$$

Binomialverteilung:

$$w(n, p) = \binom{N}{n} p^n (1-p)^{N-n}$$

Wahrscheinlichkeit für n Treffer bei N Versuchen mit Trefferwsk p

$$\binom{N}{n} = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

Anzahl mögliche Wege, n Treffer zu erhalten

$$E = Np$$

$$V = Np(1-p)$$

Natürliche Radioaktivität

α -Strahlung:

- Bei Schweren Kernen
- Emission Heliumkern
- Reichweite in Luft: einige cm

β -Strahlung

- Neutron \rightarrow Proton, unter Aussendung eines Elektrons
- Reichweite in Luft: einige m

γ -Strahlung

- Emission hochenergetische Photonen
- Entsteht bei Übergang eines Atomkerns von einem angeregten in den Grundzustand
- Large Reichweite in Luft

Natürliche Radioaktivität als Poissonverteilung:

Natürliche Radioaktivität kann als Poissonverteilung beschrieben werden

- Wahrscheinlichkeitsdichte für Anzahl n in Zeithintervall ausgesandte Strahlen:

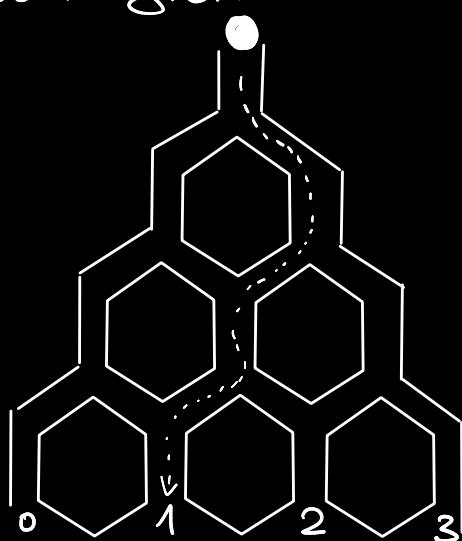
$$w_p(n) = \frac{\lambda^n}{n!} \exp(-\lambda) \quad \text{mit Erwartungswert } \lambda$$

$$E = \lambda$$

$$V = \lambda$$

Versuchsdurchführung

TV1: Galton Brett



• Möglichst vertikal positionieren

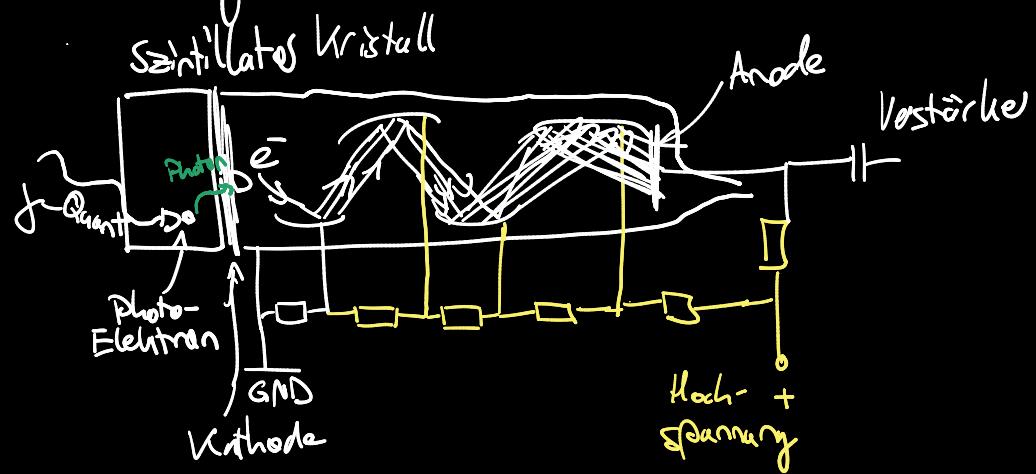
- Zuerst kleine Stichprobe (< 40 Kugeln)
 - Dann mittlere Stichprobe (256 Kugeln)
 - Dann große Stichprobe (2860 Kugeln)
- } Anzahl der Kugeln in Fächer verteilt

→ Auswertung mithilfe von Matlab

TV2:

Nachweis von γ -Strahlung:

Verwendung eines Szintillationsdetektors:



Durchsichtiges Detektormaterial wird durch ionisierende γ -Strahlung zum Ausserden von Lichtblitzen angeregt

- ⇒ Photonen treffen auf Kathode und lösen dort Elektronen aus
- ⇒ Elektronenlaione wiederholte Beschleunigung zu Dynoden
- ⇒ Spannungsimpuls an Anode

↳ Je höher V_{max} , desto höher Energie des γ -Quants

⇒ Sortierung in Kanäle je nach Energie durch ADC und Rechner

TV3:

Änderung der Parameter von TV2 \Rightarrow Änderung der Verteilung

1.2 Versuchsprotokoll

26.02.2026

Alejandro Schultheiß & Jonas Muther

TV I:

Kleine Stichprobe (< 40):

Kanal 0: 0	Kanal 5: 7	Kanal 10: 0
Kanal 1: 0	Kanal 6: 8	
Kanal 2: 1	Kanal 7: 2	
Kanal 3: 1	Kanal 8: 0	
Kanal 4: 5	Kanal 9: 0	

Mittlere Stichprobe (256):

Kanal 0: 0	Kanal 5: 71	Kanal 10: 1
Kanal 1: 0	Kanal 6: 51	
Kanal 2: 10	Kanal 7: 34	
Kanal 3: 32	Kanal 8: 7	
Kanal 4: 49	Kanal 9: 1	.

Stichprobe (256) Erneut

Kanal 0: 0	
Kanal 1: 1	Kanal 6: 46
Kanal 2: 17	Kanal 7: 33
Kanal 3: 30	Kanal 8: 15
Kanal 4: 52	Kanal 9: 2
Kanal 5: 60	Kanal 10: 0

Vergleiche Mittelwert (m.v.) und Maximum

Je mehr Kugeln im System desto genauer stimmen Mittelwert und Maximum überein.

Signifikante Werte

für Stichproben:

~~Kleine Stichprobe~~

$$\mu = 5,02$$

$$\sigma = 1,48$$

- Mittlere Stichprobe: (256)

$$\mu \approx 5,02$$

$$\sigma \approx 1,48$$

- Mittlere Stichprobe: (256)

$$\mu = 4,99$$

$$\sigma = 1,64$$

TV 2: (II)

Das Perl Skript (~~script~~) nimmt die .lis - Datei und wandelt diese in eine .stat DT Datei um. (Matlab kompatibel)

Die .lis Datei enthält die Häufigkeit der Counts im Zeitintervall (ROI).

In Matlab wurden der Mittelwert und die Standardabweichung wie folgt berechnet.

$$\mu = \left(\frac{1}{\text{sum(haeuf)}} \right) * \text{dot}(\text{haeuf}, \text{cnt})$$

Wobei cnt eine Variable für die Anzahl der Ereignisse ist und ~~the haeuf~~ eine Variable für die Häufigkeit des Ereignisses ist.

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{\text{sum(haeuf)} - 1} \right) * \text{dot}(\text{haeuf}, (\text{cnt} - \mu)^2)}$$

Für 100 Messungen:

$$\mu = 2,72 \quad \sigma = 1,63$$

Für 50 Messungen:

$$\mu = 2,32 \quad \sigma = 1,75$$

TV III.

100 Messungen je 2 Sekunden.

Exklusive letzter Energikanal

Mittelwert: $m_u: 84,8200$

Standardabweichung $\sigma: 10,0751$

LMU München	
Physikalische Praktika	
Versuch:	STV
Datum:	26.2
Erfreuer:	Gm

Kapitel 2

Auswertung

2.1 Teilversuch I:

2.2 Teilversuch II und III: Aufnahme einer Poissonverteilung mit natürlicher Radioaktivität

2.2.1 Theoretischer Hintergrund

In den Teilversuchen II und III wurde die Anzahl an eintreffenden γ -Quanten über ein Zeitintervall von je 2 Sekunden mehrmals gemessen (50 bzw. 100 mal). Die dabei entstandene Verteilung der Anzahl eingetroffener γ -Quanten je Zeitintervall entspricht einer Poisson-Verteilung. Eine solche Verteilung lässt sich mathematisch folgendermaßen beschreiben:

$$w_P(n) = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda} \quad (2.1)$$

2.2.2 Auswertung der Messwerte

In Teilversuch II wurden nur γ -Quanten gezählt, die innerhalb eines kleinen Energieintervalls liegen, so dass durchschnittlich etwa 2-3 γ -Quanten pro Zeitintervall registriert wurden. Hierzu wurde ein Szintillationsdetektor verwendet. Dieser Versuch wurde einmal für 50 und einmal für 100 Messungen durchgeführt. Die zugehörige Häufigkeitsverteilung ist im Histogramm Abb. 2.1 dargestellt. Man erkennt, dass es sich bei der Verteilung annähernd um eine Poissonverteilung handelt. Insbesondere bei der Messung mit 100 Messwerten sind die charakteristische Asymmetrie sowie der rechts vom Maximum liegende Erwartungswert λ (genähert durch den Mittelwert der Verteilung) gut erkennbar. Außerdem gilt näherungsweise mit den errechneten Werte für $E = \lambda = 2.72$ und $\sigma = 1.69$:

$$E = 2.72 \approx 2.86 = \sigma^2$$

und damit:

$$E \approx V$$

Der gut erkennbare Unterschied zwischen den Verteilungen für 50 bzw. 100 Messungen hat abgesehen davon, dass sich die Verteilung im $\lim_{t \rightarrow \infty}$ den tatsächlichen Wahrscheinlichkeiten immer besser annähert keinen tieferen theoretischen Hintergrund und ist vermutlich durch zufällig unterschiedliche Eintreffraten von γ -Quanten zu erklären.

Führt man den Versuch wie in Teilversuch III über ein deutlich größeres Energieintervall bei ansonsten gleichbleibenden Parametern (100 Messungen von je 2s Messdauer) durch, werden logischerweise pro Zeitintervall mehr γ -Quanten registriert. Bei dieser Messung ergibt sich dann das in Abbildung 2.2 dargestellte Diagramm. Diese Verteilung verhält sich näherungsweise wie die eingezeichnete Normalverteilung.

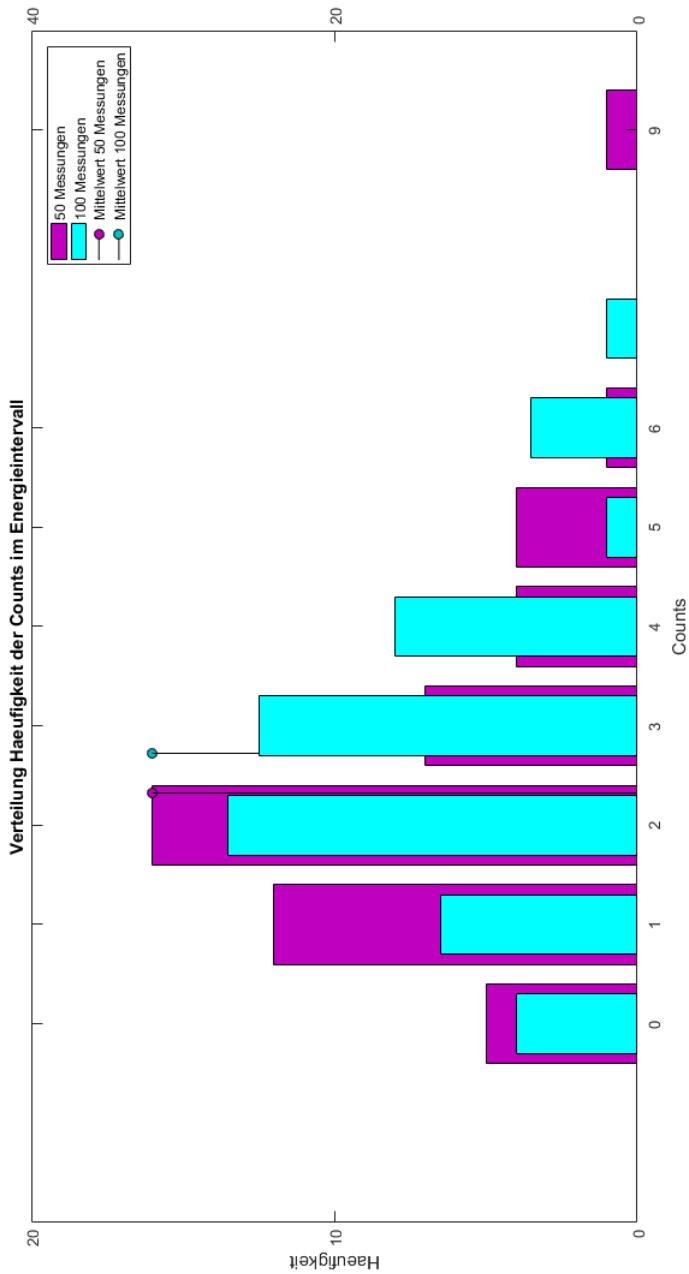


Abbildung 2.1: Häufigkeitsverteilung der Anzahl an gemessenen γ -Quanten pro 2s Intervall

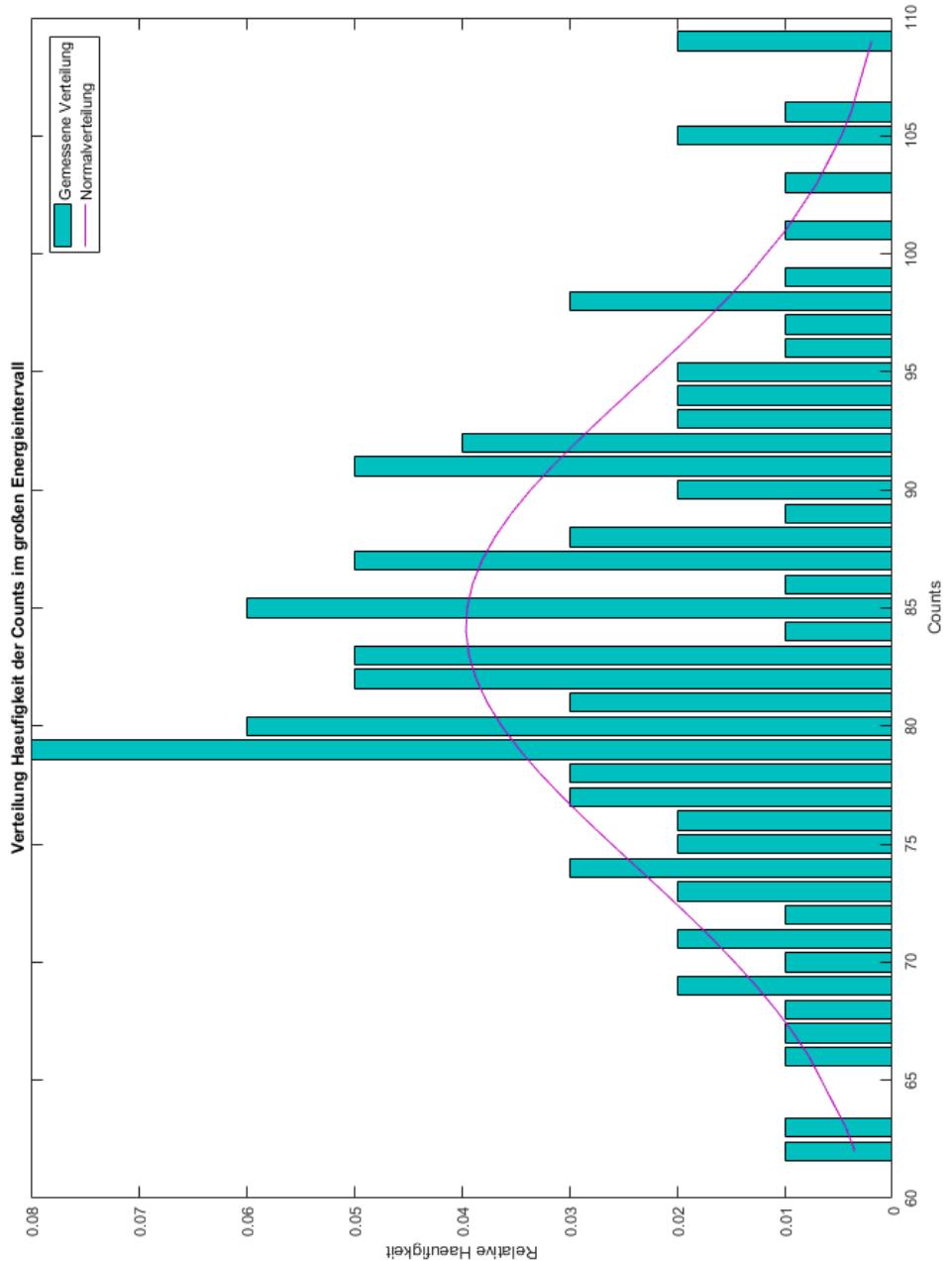


Abbildung 2.2: Häufigkeitsverteilung bei größerem Energieintervall

Vergleich TV II und TV III

Tabelle 2.1: Vergleich TV II und TV III

Merkmal	TV II	TV III
Anzahl der Messungen	100	100
Zeitinterval je Messung	2s	2s
Anzahl Kanäle ROI	80	858
Mittelwert	2.72	84.22
Standardabweichung	1.63	10.08
Ungefährre Form der Häufigkeitsverteilung	Poissonverteilung	Normalverteilung

Interessanterweise fällt auf, dass sich alleine durch die Vergrößerung des Energieintervalls, welche ausschließlich bewirkt, dass pro Messdurchgang insgesamt mehr γ -Quanten registriert werden aus der Poissonverteilung für ein kleines Energieintervall (Detektion seltener) näherungsweise eine Normalverteilung geworden ist. Dies ist aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes nicht weiter verwunderlich. Dieser besagt, dass die Wahrscheinlichkeitsdichte einer Summe $w = \sum_{i=1}^n x_i$ aus n unabhängigen Zufallsvariablen x_i mit beliebiger Wahrscheinlichkeit (aber endlicher Varianz) in der Grenze gegen eine Normalverteilung geht. In diesem Beispiel sind die Zufallsvariablen x_i , über welche summiert wird jeweils die Anzahlen der detektierten γ -Quanten in jedem der Messkanäle innerhalb des gesamten Energieintervalls. Jeder dieser Kanäle hat eine individuelle Zufallsverteilung. n ist hierbei in dem Versuchsaufbau die Anzahl der Messkanäle innerhalb des Energieintervalls der Messung. Eine Vergrößerung des Energieintervalls erhöht also n , wodurch sich die Wahrscheinlichkeitsdichte mehr an eine Normalverteilung annähert (*ZGS*). Der Mittelwert der entstehenden Normalverteilung ist für $n \rightarrow \infty$ gegeben durch $\langle w \rangle = n\langle x \rangle$, wobei $\langle x \rangle$ der Mittelwert der pro Kanal gemessenen Anzahl an γ -Quanten ist.

Kapitel 3

Anhang

3.1 Matlab Scripts

3.1.1 TV I: Gemessene Normalverteilung des Galtonbretts

```
1 k = 0:10;
2 nk = [0, 0, 10, 32, 49, 71, 51, 34, 7, 1, 1];
3 ng = [2, 27, 126, 309, 543, 602, 491, 308, 133, 24, 8];
4 muk = 1/sum(nk) * dot(k, nk)
5 ok = sqrt(1/(sum(nk)-1) * dot(nk, (k-mu).* (k-mu)))
6 mug = 1/sum(ng) * dot(k, ng)
7 og = sqrt(1/(sum(ng)-1) * dot(ng, (k-mu).* (k-mu)))
8
9 [ax, h1, h2] = plotyy(k, nk, k, ng, 'bar', 'bar');
10
11 title('Verteilung des Galton Bretts');
12 xlabel('Kanal');
13 ylabel('Anzahl Kugeln');
14
15 hold on
16 s1 = stem(muk, 71);
17 s2 = stem(mug, 71);
18
19 legend([h1, h2, s1, s2], {'Mittlere Statistik: 256 Kugeln', 'Grosse Statistik:
2560 Kugeln', 'Mittelwert der mittleren Statistik', 'Mittelwert der grossen
Statistik'})
```

3.1.2 TV II: Gemessene Poissonverteilung der Anzahl detekтирter γ -Quanten

```
1 M1 = dlmread('TV2_50Messungen.stat', ' ', 15, 0);
2 M2 = dlmread('TV2_100Messungen.stat', ' ', 15, 0);
3
4 cnt1 = M1(:, 1);
5 haeuf1 = M1(:, 2);
6 cnt2 = M2(:, 1);
7 haeuf2 = M2(:, 2);
8 mu1 = (1/sum(haeuf1)) * dot(haeuf1, cnt1)
9 mu2 = (1/sum(haeuf2)) * dot(haeuf2, cnt2)
```

```

10 o1 = sqrt(1/(sum(haeuf1)-1) * dot(haeuf1, (cnt1-mu1).^2))
11 o2 = sqrt(1/(sum(haeuf2)-1) * dot(haeuf2, (cnt2-mu2).^2))
12
13 [ax, h1, h2] = plotyy(cnt1, haeuf1, cnt2, haeuf2, 'bar', 'bar');
14
15 title('Verteilung Haeufigkeit der Counts im Energieintervall');
16 xlabel('Counts');
17 ylabel('Haeufigkeit');
18
19 hold on
20
21 s1 = stem(mu1, 16);
22 s2 = stem(mu2, 16);
23 legend([h1, h2, s1, s2], {'50 Messungen', '100 Messungen', 'Mittelwert 50
Messungen', 'Mittelwert 100 Messungen'})

```

3.1.3 TV III: Gemessene Normalverteilung der Anzahl detektierter γ -Quanten

```

1 M1 = dlmread('TV3_100Messungen.stat', ' ', 15, 0)
2
3 cnt1 = M1(:, 1);
4 haeuf1 = M1(:, 2);
5 mu1 = (1/sum(haeuf1)) * dot(haeuf1, cnt1)
6 o1 = sqrt(1/(sum(haeuf1)-1) * dot(haeuf1, (cnt1-mu1).^2))
7
8 h1 = bar(cnt1, haeuf1/sum(haeuf1))
9
10 title('Verteilung Haeufigkeit der Counts im grossen Energieintervall');
11 xlabel('Counts');
12 ylabel('Relative Haeufigkeit');
13
14 hold on
15
16 h2 = plot(cnt1, normpdf(cnt1, mu1, o1))
17
18 legend([h1, h2], {'Gemessene Verteilung', 'Normalverteilung'})

```