

Praktikum V - Kern- und Teilchenphysik
Versuch 518 - Höhenstrahlung

Tom Chelius und Alican Özcagi

07. Mai 2025

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Die Höhenstrahlung ist eine Form von ionisierender Strahlung, die in der Erdatmosphäre vorkommt. Sie besteht hauptsächlich aus hochenergetischen Teilchen, die aus dem Weltraum auf die Erde treffen. Diese Teilchen können Protonen, Elektronen und Atomkerne sein, die mit sehr hohen Geschwindigkeiten reisen. Die Höhenstrahlung entsteht durch verschiedene astrophysikalische Prozesse, wie z.B. Supernova-Explosionen oder die Wechselwirkung von kosmischer Strahlung mit der Erdatmosphäre. In diesem Versuch werden wir die Höhenstrahlung auf seine Winkelverteilung untersuchen. Außerdem werden wir die Lebensdauer der kosmischen Myonen bestimmen.

2 Theorie

Um diesen Versuch verstehen zu können, ist es wichtig, die Grundlagen der Höhenstrahlung und der Teilchen zu kennen, sowie die Messinstrumente die wir verwenden werden.

2.1 Kosmische Strahlung

Die kosmische Strahlung besteht aus hochenergetischen Teilchen, die aus verschiedenen Quellen stammen. Sie kann hauptsächlich in 3 Kategorien unterteilt werden:

- Teilchen die aus der Sonne stammen (Sonnenstrahlung) \approx bis 10 GeV
- Teilchen die aus dem interstellaren Raum stammen (Galaktische Strahlung) \approx ab 1 GeV
- Teilchen die aus dem intergalaktischen Raum stammen (Extragalaktische Strahlung) \approx bis 10 EeV

Die Teilchen die auf die Erdatmosphäre treffen, sind hauptsächlich Elektronen, Photonen, Protonen und vollständig ionisierte Kerne. Je nach Quelle sind die Energien der Teilchen unterschiedlich. Die kosmische Strahlung wird in primäre und sekundäre Strahlung unterteilt. Die primäre Strahlung sind die Teilchen die direkt aus dem Weltraum auf die Erde treffen. Die sekundäre Strahlung sind die Teilchen die durch die Wechselwirkung der primären Strahlung mit der Erdatmosphäre entstehen. Diese Entstehung der sekundären Strahlungen wird als Teilchenschauer bezeichnet, weil aus einem primären Teilchen viele sekundäre Teilchen entstehen. Sie wird aus den folgenden Prozessen gebildet:

- **Kernreaktion:** Die Primäre Strahlung trifft auf die Atomkerne der Erdatmosphäre und erzeugt Sekundäre Teilchen.
- **Teilchenschauer:** Die Sekundären Teilchen erzeugen weitere Sekundäre Teilchen, die sich in alle Richtungen ausbreiten.

- **Ionisation:** Die Sekundären Teilchen ionisieren die Luftmoleküle und erzeugen weitere Elektronen.

Diese Teilchenschauer bestehen aus 3 Bereichen, wie in der Abbildung ?? dargestellt.

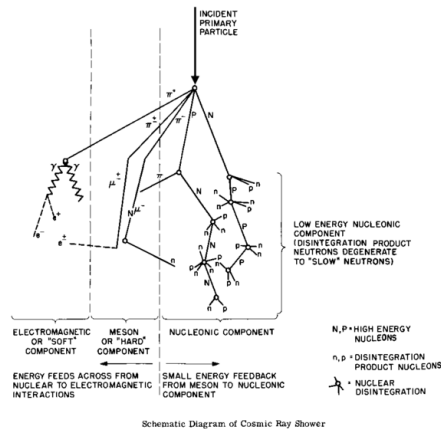


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Teilchenschauers [shower]

- Elektomagnetische-Komponente: Diese besteht aus Photonen und Elektronen und wird die „Softe“ Komponente genannt.
- Mesonen-Komponente: Diese besteht aus Myonen und wird die „Harte“ Komponente genannt.
- Nukleonen-Komponente: Diese besteht aus Protonen und Neutronen.

Die Teilchen die wir auf der Erdatmosphäre messen, sind hauptsächlich Myonen, da diese die Teilchen sind die mit am weitesten in die Erdatmosphäre eindringen können und noch in hohen Quantitäten vorhanden sind. In der Abbildung ?? ist der vertikale Fluss zur atmosphärischen Eindringtiefe und zur Höhe der Erdoberfläche dargestellt.

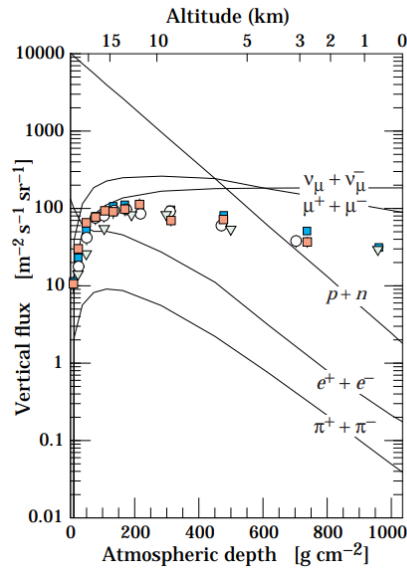


Abbildung 2: Vertikaler Fluss zur atmosphärischen Eindringtiefe [Naka]

2.2 Standardmodell

Das Standardmodell der Teilchenphysik ist eine Theorie, die die fundamentalen Teilchen und ihre Wechselwirkungen beschreibt. Aus diesem können die Eigenschaften der Teilchen abgeleitet werden. Das Standardmodell ist in der Abbildung ?? dargestellt.



Abbildung 3: Das Standardmodell der Teilchenphysik [Standardmodell]

MEHR SCHREIBEN

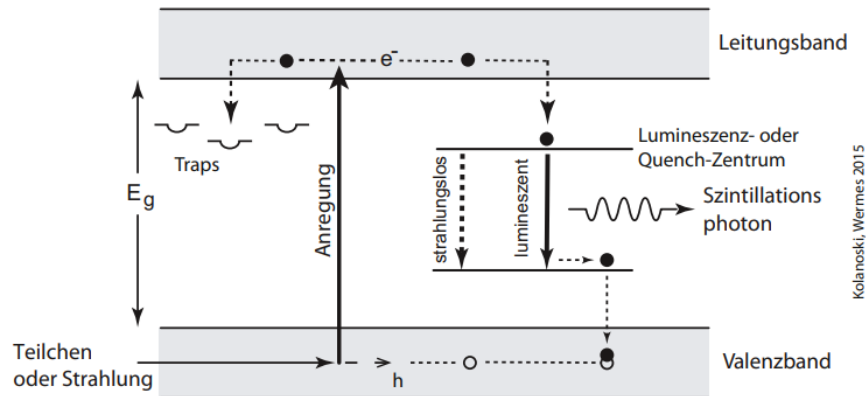


Abbildung 4: Darstellung des Bändermodell eines Szintillators [Wer]

2.3 Szintillator und Photomultiplier

Szintillationsdetektoren basieren auf ausgesendeten Lichtteilchen (Photonen). Ionisierende Strahlung trifft auf das szintillierende Material und erzeugt durch Ionisation eine Kaskade an Elektron-Loch-Paaren. Dies geschieht durch Prozesse, wie im Abschnitt „Materie und Photonen Wechselwirkung“ beschrieben. Die herausgelösten Elektronen überwinden somit die Bandlücke und landen im Leitungsband. Dort sind sie (sowie ihre hinterlassenen Löcher) als frei bewegliche Ladungen delokalisiert und können an anderer Stelle auf aktive Zentren stoßen. Diese aktiven Zentren kommen von der Dotierung mit einem anderen Material (hier Thallium) in unser Gitter. An diesen aktiven Zentren können sich die Elektron-Lochpaare über ein anderes Energieniveau lumineszierend abbauen, wobei Photonen im nahen bis sichtbaren Bereich ausgesendet werden. Wir verwenden in dem Versuch einen Natrium-Iod-Szintillationsdetektor den wir kurz NaI-Detektor nennen.

Der beschriebene Prozess ist auch nochmal in der Abbildung ?? dargestellt.

In dem Photomultiplier lösen die Photonen dann Elektronen aus der Photokathode. Eine Verstärkung wird über ein Dynodensystem realisiert. Hierbei gilt eine Dynode als Kathode, während die nächste als Anode wirkt und zwischen jedem Dynodenpaar wird das Signal verstärkt. Veranschaulicht wird der Effekt in der Abbildung ?. Der Photomultiplier ist an eine Hochspannungsquelle angeschlossen und die Dynoden haben über eine Reihe an Spannungsteilern zu immer höhere elektrische Potentiale.

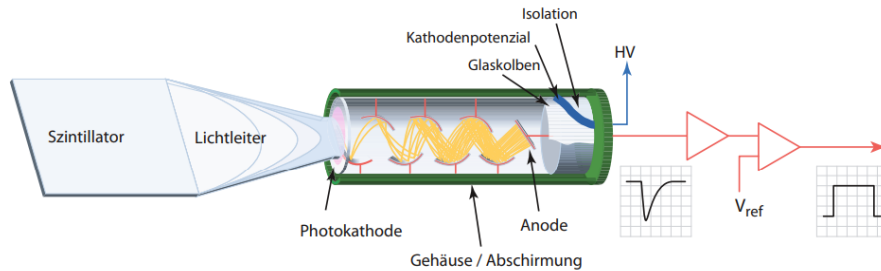


Abbildung 5: Aufbau eines Szintillator [Wer]

2.4 Logische Schaltung: Diskriminator, Koinzidenz-Module und FPGA

Um aus den gemessenen Analogen Signalen digitale Signale zu erzeugen, verwenden wir einen Diskriminator. Dieser trennt die Signale in zwei Bereiche: Ein Signal unterhalb der Schwelle wird als „0“ und ein Signal oberhalb der Schwelle als „1“ gewertet. Hiermit können wir Rauscheffekte vermeiden und zusätzlich gibt der Diskriminator uns die Möglichkeit, die Signaldauer einzustellen.

Das Koinzidenz-Modul wirkt als ein logisches Und, es nimmt eine Menge an Signalen entgegen und gibt nur dann ein Signal aus, wenn alle Signale gleichzeitig anliegen. Das Koinzidenz-Modul wird verwendet damit einem durchfliegenden Teilchen ein Winkel zugeordnet werden kann, dazu wird geschaut, ob das Signal durch mehrere Szintillatoren in einer Reihe gleichzeitig ausgelöst wird.

Ein FPGA (Field Programmable Gate Array) ist ein programmierbarer Logikbaustein und wird in diesem Versuch verwendet um Programme zu erstellen, die die Winkelverteilung und die Lebensdauer der Myonen bestimmen können. Die Programmierung wird in der LABView-Umgebung durchgeführt.

2.5 Zufallskoinzidenz

Die Zufallskoinzidenz ist ein Effekt, der auftritt, wenn zwei oder mehr Ereignisse zufällig gleichzeitig auftreten. Dies ist relevant, weil wir bei der Bestimmung der Winkelverteilung und der Lebensdauer der Myonen wissen müssen, wie oft die Signale durch mehr als ein Teilchen ausgelöst werden. Hierzu bestimmen wir die Zufallskoinzidenzrate um die Rate der echten Koinzidenzen zu bestimmen. Diese kann auf 2 Arten bestimmt werden:

- **zeitliche Zufallskoinzidenzrate:** Hierbei wird die Zeit der 3 Detektoren zeitlich so verschoben, dass ein einzelnes Teilchen keine Koinzidenz erzeugen kann. Es müssen also 3 Teilchen durch die 3 Detektoren fliegen um eine Koinzidenz zu erzeugen.
- **räumliche Zufallskoinzidenzrate:** Hierbei wird die räumliche Anordnung der Detektoren so gewählt, dass ein einzelnes Teilchen keine Koinzi-

denz erzeugen kann. Dabei müssen mindestens 2 Teilchen durch 2 Detektoren fliegen um eine Koinzidenz zu erzeugen.

3 Druchführung

Dieser Versuch besteht aus 2 Teilen. Im ersten Teil sollen die Winkelverteilung der Höhenstrahlung bestimmt werden und im zweiten Teil die Lebensdauer der Myonen.

3.1 Winkelverteilung

Um die Winkelverteilung der Höhenstrahlung zu bestimmen, werden 24 Szintillatoren verwendet, die in einem Kreis angeordnet sind, ein 25. Szintillator ist in der Mitte des Kreises angebracht. Der Kreis hat einen Durchmesser von 1,5 m. Je zwei gegenüberliegende Szintillatoren und der mittlere (Z25) sind mit einem Koinzidenzmodul verbunden, das die Signale der drei Szintillatoren verarbeitet, somit kann der Raum in 12 Sektoren unterteilt werden, welche je einen Raumwinkel von 15° abdecken. Alle Szintillatoren sind mit einem Diskriminator verbunden, der die Signale in digitale Signale umwandelt. Dieser Aufbau ist in der Abbildung ?? dargestellt.

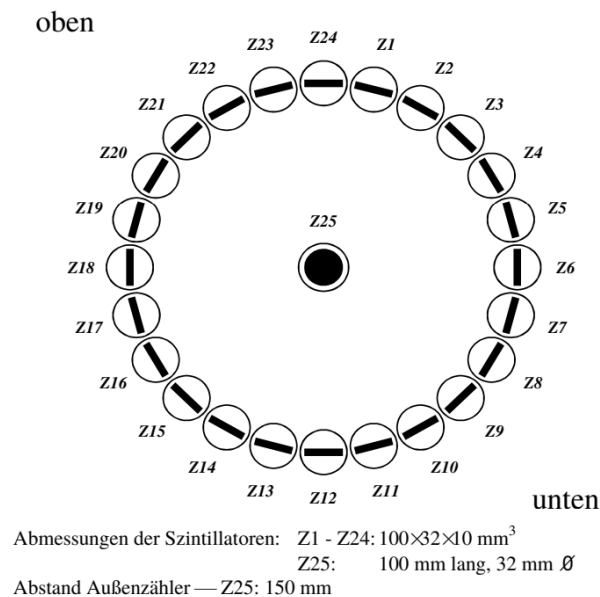


Abbildung 6: Aufbau der Winkelverteilungsmessung[Anleitung]

Schwellenspannung D12

Damit die Szintillatoren und der Photomultiplier richtig arbeiten, muss die Schwellenspannung eingestellt werden. Hierzu wurde mit Hilfe von LABView ein Programm geschrieben, dass die Schwellenspannungen von -50 mV bis -200 mV variiert. Das Programm ist im Anhang zu finden ?? bis ??. In diesem Programm wird zunächst die NIM-Box eingelesen. Anschließend werden die Diskriminatoren der Szintillatoren D1, D2, D23, D24, D25 und D12 initialisiert, sodass das FPGA diese erkennen kann. Die Schwellenspannungen der Diskriminatoren D1, D2, D23 und D24 sind bereits vorgegeben. Nun werden folgende Signale gezählt:

- **Z25**
- **Z12**
- ODER Signal von **D24**, **D23**, **D1** und **D2** gebildet
- Koinzidenzsignal von **D12** und **ODER Signal**

Dann wird in einer Schleife die Schwellenspannung von D12 von -50 mV bis -200 mV in Schritten von -10 mV variiert, jeder Schleifendurchgang wurde mit einer Messdauer von . Im letzten Schritt werden die gemessenen Zählwerte in ein Array geschrieben und in eine Txt-Datei gespeichert. Hieraus kann dann die geeignete Schwellenspannung abgeleitet werden und damit kann dann eine vom Höhenstrahlungsfluss unabhängig Analyse von der Schwellenspannung durchgeführt werden.

Langzeitmessung

Wenn die Schwellenspannung eingestellt ist, wird eine Langzeitmessung durchgeführt. Hierzu wurde ein Programm zur Winkelverteilungsmessung vorgegeben.

3.2 Lebensdauer

Auch bei der Lebensdauerermessung der Myonen müssen erst die Schwellenspannungen eingestellt werden. Dabei wurde ein anderes Verfahren verwendet, als bei der Winkelverteilungsmessung. Es wurde für verschiedene Schwellenspannungen die Zählrate gemessen, dabei wurde wie in Abbildung ?? dargestellt, doppelt gezählt.

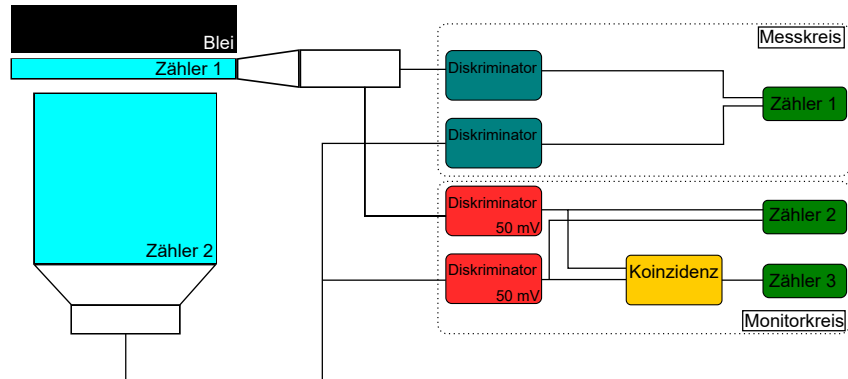


Abbildung 7: Schematischer Aufbau für die Bestimmung der Schwellenspannung für die Lebensdauermessung

Es wurde mit der variierten Schwellenspannung im Messkreis des einen Szintillators, die Anzahl an Ereignissen gezählt. In den Monitorkreisen und dem Messkreis des anderen Szintillators wurde die Zählrate mit einer konstanten Schwellenspannung von -50 mV gehalten. Da während unserer Durchführung der dicke Szintillator defekt war konnten wir nur die Zählrate des dünnen Szintillators messen. Daher konnten wir auch nicht die Messung zur Lebensdauer der Myonen durchführen. Die Daten zur Auswertung erhielten wir von den Tutoren. Nachdem die Schwellenspannungen eingestellt wurden, kann mit der Schaltung aus der Abbildung ?? die Lebensdauer der Myonen bestimmt werden.

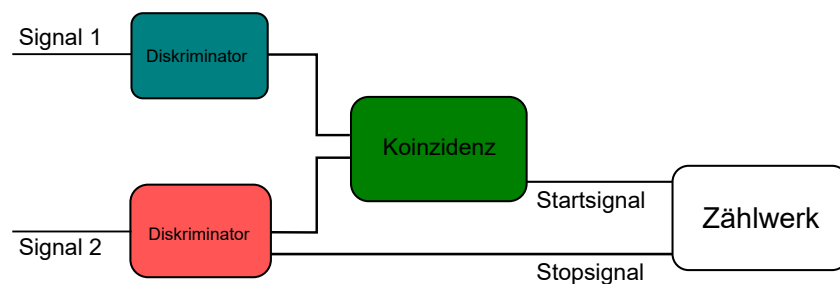


Abbildung 8: Aufbau der Lebensdauermessung mit Start- und Stop-Signal

Hierzu wird ein Start Signal ausgelöst, wenn ein Myon durch beide Szintillatoren fliegt und somit das Koinzidenzmodul auslöst. Wenn dies geschehen ist wird durch ein Schalt-Flip-Flop ein Gate geöffnet. Durch dieses Gate gelangt

eine 20 MHz-Pulsfrequenz auf zehn kaskadierte 1:20-Untersetzer mit zugeordneten Sichtzählern. Nun kann es zu zwei Szenarien kommen, Ein Myon fliegt durch den Szintillator und löst das Koinzidenzmodul aus. Das Gate öffnet sich und die Zählrate wird gezählt, wenn:

- ein Stop Signal innerhalb von $10\mu\text{s}$ ausgelöst wird, wird das Gate geschlossen und der Sichtzähler bleibt bei der Kodierung stehen. In dieser Zeit wird eine Totzeit-Generator gestartet und es kann für eine gewisse Zeit kein weiteres Start-Signal ausgelöst werden. Wenn die Totzeit abgelaufen ist, wird ein Reset-Impuls erzeugt und der Untersetzer auf Null zurückgesetzt.
- kein Stop-Signal innerhalb der $10\mu\text{s}$ erscheint, wird am Ende des Zählers ein Overflow-Impuls gesetzt, dieser löst direkt ein Reset-Impuls aus, der den Zähler auf Null zurückgesetzt.

Damit das Stop-Signal nicht durch Zufallskoinzidenzen sofort ausgelöst wird, wird das Start-Signal zeitverzögert.

4 Auswertung

4.1 Winkelverteilung

Aus der Messung der Schwellenspannung D12 (??) ergibt sich eine geeignete Schwellenspannung von -70 mV . Dieser wurde ermittelt, indem der erste Sattelwert aus der Auftragung von N_{koin}/N_{25} gegen die Schwellenspannungen betrachtet wurde, dies ist zu sehen in der Abbildung ??.

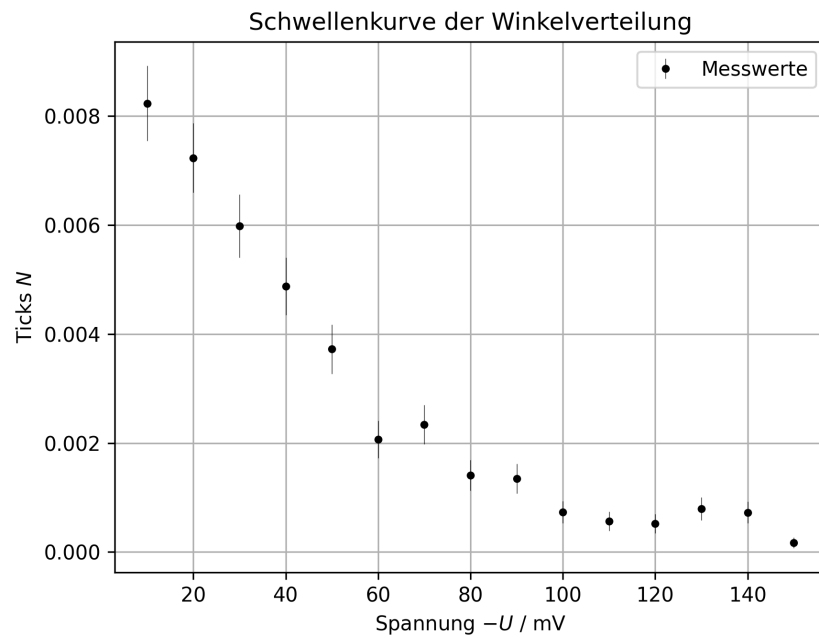


Abbildung 9: Auftragung zur Bestimmung der Schwellenspannung des Szintillators D12

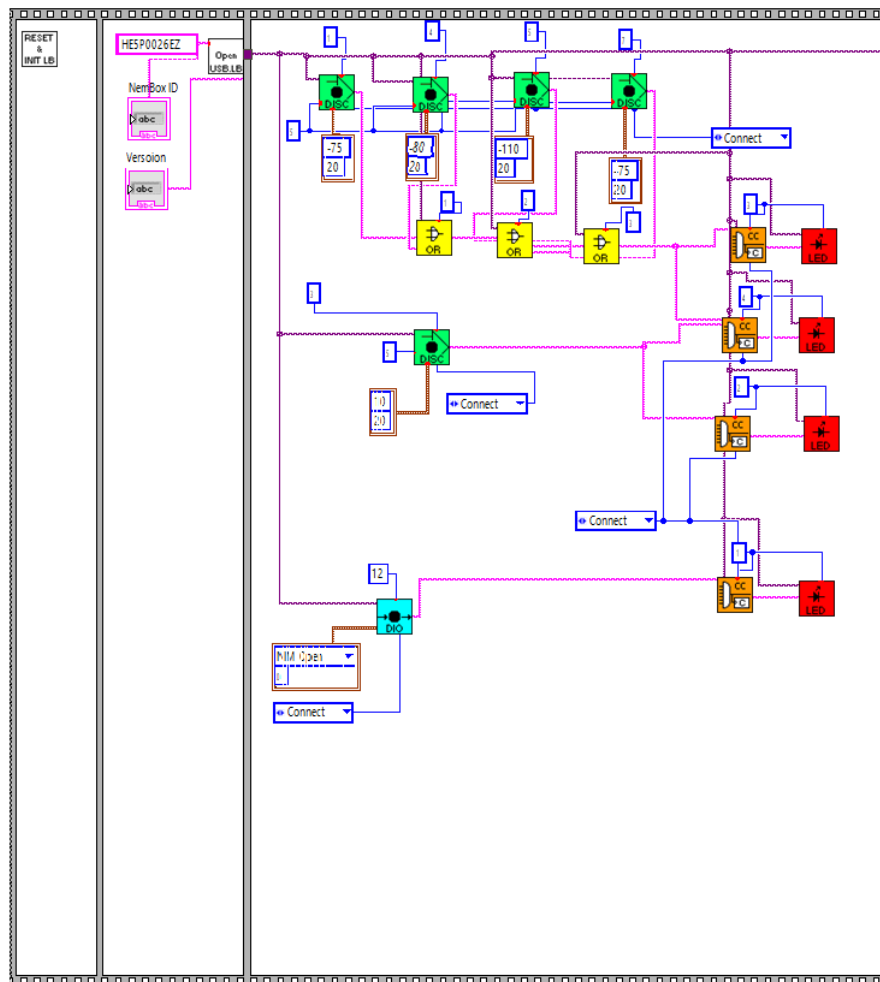


Abbildung 10: LABView-Programm zur Schwellenspannungseinstellung Teil 1

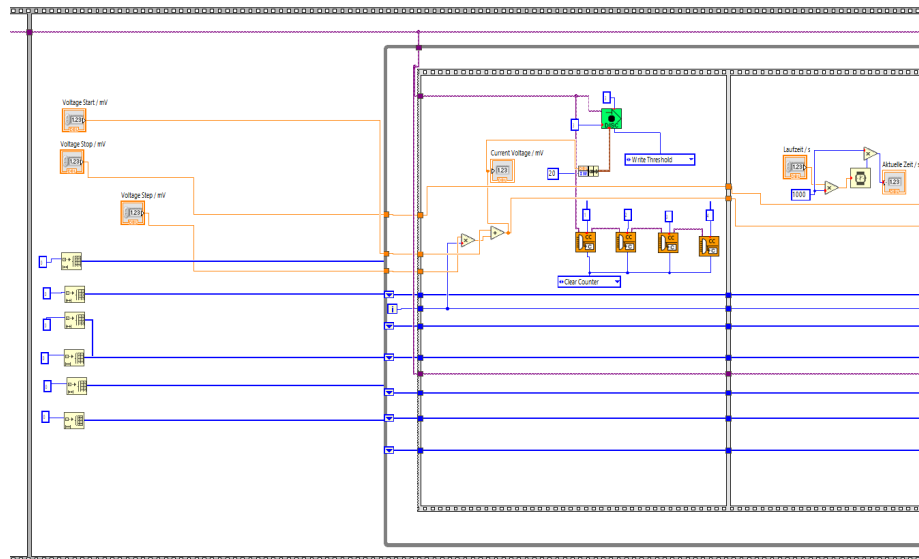
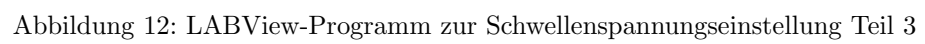


Abbildung 11: LABView-Programm zur Schwellenspannungseinstellung Teil 2



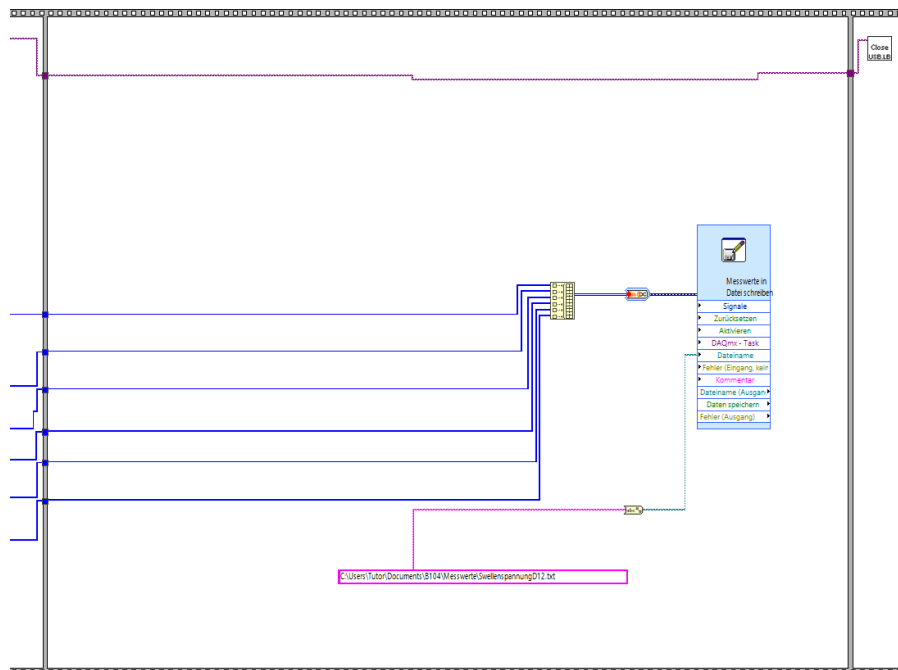


Abbildung 13: LABView-Programm zur Schwellenspannungseinstellung Teil 4

5 Anhang

5.1 LABView-Programm

Winkelverteilung

Tabelle 1: Anpassungsparameter der Bestimmung der Schwellenspannung für die Winkelverteilung

$-U$ / mV	$N_{\text{Koin.}}/N_{25}$	$\Delta(N_{\text{Koin.}}/N_{25})$
10	8.24e-03	6.89e-04
20	7.23e-03	6.39e-04
30	5.98e-03	5.83e-04
40	4.88e-03	5.27e-04
50	3.72e-03	4.56e-04
60	2.07e-03	3.40e-04
70	2.34e-03	3.61e-04
80	1.40e-03	2.81e-04
90	1.35e-03	2.75e-04
100	7.29e-04	2.02e-04
110	5.65e-04	1.79e-04
120	5.20e-04	1.73e-04
130	7.92e-04	2.12e-04
140	7.27e-04	2.02e-04
150	1.68e-04	9.71e-05