



# Inbetriebnahme und Test neuer Elektronik zur Datenaufnahme des SkyView Luftschauerdetektors

Bachelor Thesis  
zur Erlangung des akademischen Grades  
*Bachelor of Science im Fach Physik*

dem Fachbereich Physik  
der Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von  
**Philipp Papenbreer**

Abgabe: 02.02.2011  
Korrektur und Ergänzung: 07.11.2011

Betreuender Professor: Prof. Dr. K.-H. Kampert  
Zweitkorrektor: Prof. Dr. Ch. Zeitnitz



# Contents

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>1</b>
1.1	Eigenschaften kosmischer Strahlung . . . . .	1
1.2	Erwartete Teilchenverteilung in den Detektortonnen . . . . .	2
1.3	Wechselwirkung von Strahlung mit Materie: Die Bethe-Bloch Gleichung . . . . .	4
1.4	Erwartete Energieverteilung der zu messenden Teilchen . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Das SkyView Projekt und Aufgabe der Bachelor-Arbeit</b>	<b>7</b>
2.1	Das SkyView-Projekt . . . . .	7
2.2	Aufgabe der Bachelor-Arbeit . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Aufbau und Funktionen des QuarkNet Boards</b>	<b>10</b>
3.1	Aufbau . . . . .	10
3.2	Funktion . . . . .	11
3.3	Die Datenausgabe des Boards: . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Anschluss und Einrichtung der Datenannahmeelektronik</b>	<b>17</b>
4.1	Signalsichtbarmachung mit dem Oszilloskop . . . . .	17
4.2	Anschluss der Elektronik an den Auswertungsrechner . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Datennahme mit dem Programm aus Zeuthen</b>	<b>21</b>
5.1	Die Datennahme und allererste Ergebnisbetrachtung . . . . .	21
5.2	Koinzidenzerkennung . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Kalibrationsmessungen für die Schwellspannungen</b>	<b>25</b>
6.1	Vorüberlegungen . . . . .	25
6.2	Ermittlung der Zählraten aus dem aufgenommenen Datenstream . . . . .	26
6.3	Die Messungen . . . . .	27
<b>7</b>	<b>Kalibration der Laufzeitdifferenzen der Tonnen</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>Zeitabhängigkeit der Zählraten</b>	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>Vergleich der neuen mit der alten Elektronik</b>	<b>41</b>
<b>10</b>	<b>Fazit</b>	<b>43</b>

## Contents

---

<b>A Appendix</b>	<b>45</b>
<b>Bibliography</b>	<b>54</b>

# Chapter 1

## Theorie

### 1.1 Eigenschaften kosmischer Strahlung

Um das Auftreten von großen Mengen unterschiedlicher ionisierender Teilchen an der Erdoberfläche zu erklären, die in dieser Arbeit in mehreren Detektortonnen gemessen werden sollen, wird in diesem Kapitel die kosmische Strahlung betrachtet, die für die Erzeugung solcher Teilchen sorgt. Als Quelle wurde dafür [Gru05] und [BL10] verwendet. Kosmische Strahlung ist eine Form von Teilchenstrahlung, die die Erdatmosphäre mit hohen Energien pro Teilchen aus dem All erreicht. Sie besteht aus Protonen (87%),  $\alpha$ -Teilchen (12%) und einigen wenigen schwereren Atomkernen (1%). Diese kollidieren mit einer Vielzahl von Sekundärteilchen in der Atmosphäre, die wiederum einen Teil ihrer kinetischen Energie in Kollisionen an weitere Teilchen abgeben. Hochenergetische Photonen erzeugen zudem Elektron-Positron-Paare, die ihrerseits wieder Photonen emittieren können. Auf diese Weise entsteht ein ganzer Teilchenschauer aus Photonen, Elektronen und Positronen in der Erdatmosphäre aus jedem mit dieser Atmosphäre wechselwirkenden kosmischen Atomkern (vergl. Abb. 1.1). Jedes Mal wenn ein Sauerstoff oder Stickstoff-Atom zentral in der Atmosphäre bei einem solchen Stoß getroffen wird, gibt es eine Kernreaktion: Der Atomkern zerfällt zu Neutronen, Protonen und Pionen unterschiedlicher Ladung. Während das ungeladene Pion hauptsächlich in zwei Photonen zerfällt, zerfallen die geladenen Pionen nahezu immer -abhängig von ihrer Ladung- zu einem Antimyon und einem Myon neutrino, oder zu einem Myon und einem Antimyon neutrino. Die meisten dieser Myonen entstehen etwa 10 km über der Erdoberfläche. Aber obwohl sie mit einer mittleren Lebensdauer von  $\tau \approx 2 \cdot 10^{-6}$  s sehr schnell wieder zerfallen, sorgt die Zeitdilatation dafür, dass die nahezu mit Lichtgeschwindigkeit propagierenden Myonen die Erdoberfläche erreichen können, bevor sie zerfallen.



Figure 1.1: Darstellung eines Teilchenschauers aus [Gru05]

## 1.2 Erwartete Teilchenverteilung in den Detektortonnen

Es wurde in 1.1 bereit erwähnt, dass die erwarteten Teilchen in kosmischen Teilchenschauern im Wesentlichen Protonen, Neutronen, Elektronen, Positronen, positive und negative Pionen, positive und negative Myonen und die zugehörigen beiden Neutrinos sind. Die Anzahl der Protonen und Neutronen nimmt dabei zu niedrigerer Höhe hin näherungsweise exponentiell ab, da diese nach und nach absorbiert werden. Die Anzahl der Pionen wird ebenfalls schnell kleiner, da diese mit  $\tau \approx 3 \cdot 10^{-8} \text{ s}$  eine sehr kurze Lebensdauer besitzen. Da die Elektronen und Positronen im Gegensatz zu den Myonen relativ schnell

absorbiert werden, ist auf Erdbodenniveau zu erwarten, dass ein Großteil der Strahlung aus Myonen besteht. Die entstehenden Neutrinos wechselwirken nahezu gar nicht mit Materie und werden daher zwar zum Erdboden hin immer häufiger, durchdringen daher aber auch die Detektortonnen unregistriert. Die sich ergebende Verteilung der Teilchenströme in verschiedenen Höhen ist in Abb. 1.2 dargestellt. Ihr ist zu entnehmen, dass in den Detektortonnen hauptsächlich die Detektion von Myonen zu erwarten ist.

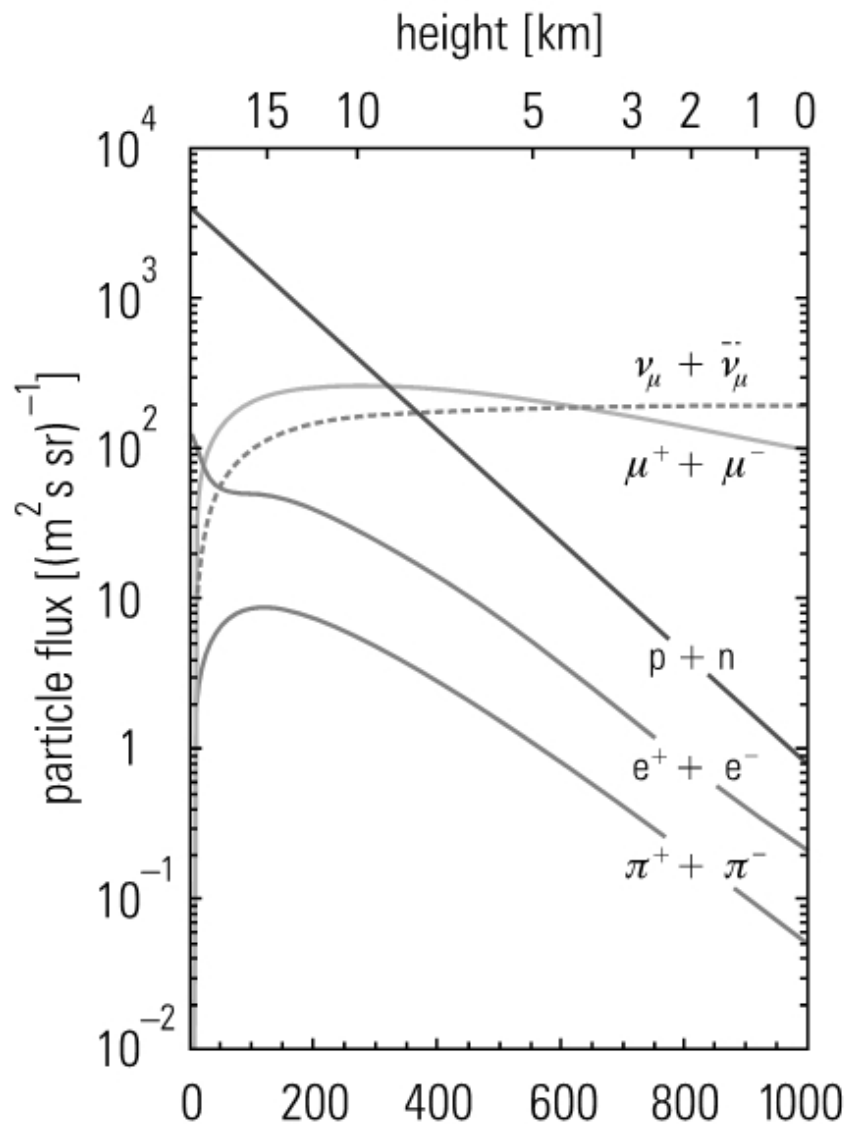


Figure 1.2: Teilchenstrom unterschiedlicher Teilchen abhängig von der Höhe in der Atmosphäre. Abbildung aus [Gru05].

## 1.3 Wechselwirkung von Strahlung mit Materie: Die Bethe-Bloch Gleichung

Geladene Teilchen, die sich durch ein Medium bewegen, wechselwirken hauptsächlich mit den gebundenen Elektronen der Atome in dem Medium. Sie können Energie an das Medium abgeben, indem sie Atome in ihrer Umgebung ionisieren, oder indem sie Atome in höhere Energiezustände anregen. Das anregende geladene Teilchen ändert seine Propagationsrichtung dabei allerdings meist nur geringfügig, da es viel kinetische Energie besitzt. Wenn ein angeregtes Atom später wieder in seinen vorherigen niedrigeren Energiezustand zurückfällt, emittiert es ein Photon. Außerdem treten noch andere Wechselwirkungseffekte auf, die aber aufgrund ihrer Seltenheit vernachlässigt werden können.

Der durchschnittliche Verlust an kinetischer Energie  $dE$  pro zurückgelegter Strecke  $dx$  solch eines hochenergetischen, geladenen Teilchens wird von der Gleichung von Hans Bethe und Felix Bloch beschrieben, die nach diesen benannt wurde:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi Q^2 e^2 n Z}{m\beta^2 c^2} \left( \ln\left(\frac{2mc^2 \gamma^2 \beta^2}{I}\right) - \beta^2 \right).$$

Dabei ist  $Q = z \cdot e$  die Teilchenladung,  $n$  die atomare Dichte,  $Z$  die Ordnungszahl des Elements,  $m$  die Ruhemasse des Teilchens und  $\beta = \frac{v}{c}$  die relativistische Teilchengeschwindigkeit. Zudem ist  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$  der zugehörige Lorentzfaktor und  $\bar{I}$  die mittlere Ionisationsenergie in dem Medium. Den Verlauf der Energieverlustkurve beim Durchgang von Myonen durch verschiedene Elemente zeigt Abb. 1.3.

In Szintillatoren ist der Prozess, dass geladene Teilchen Energie durch die Emission von Photonen verlieren wichtig, und wird ausgenutzt um durch das Material laufende Teilchen zu detektieren.

## 1.4 Erwartete Energieverteilung der zu messenden Teilchen

Da die Häufigkeit von Primärteilchen, die kosmische Teilchenschauer auslösen, mit der Energie dieser Teilchen abnimmt, gilt dies im Wesentlichen auch für die in Folge entstehende Sekundärstrahlung, wie die hauptsächlich zu messenden Myonen. Die Energieverteilung für Myonen nach dem Energieverlust in der Atmosphäre, auch in Abhängigkeit von der Höhe in der Atmosphäre zeigt Abb. 1.4.



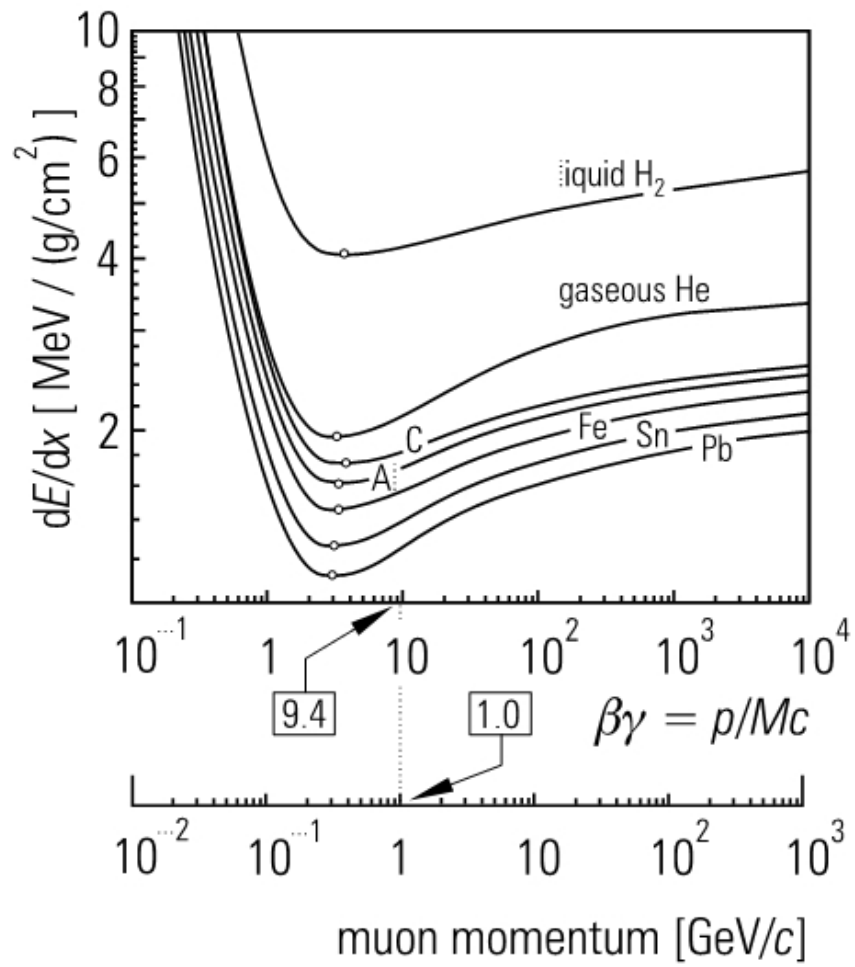


Figure 1.3: Darstellung des Energieverlustes pro Strecke von Myonen beim Durchgang durch verschiedene Elemente aus [Gru05]

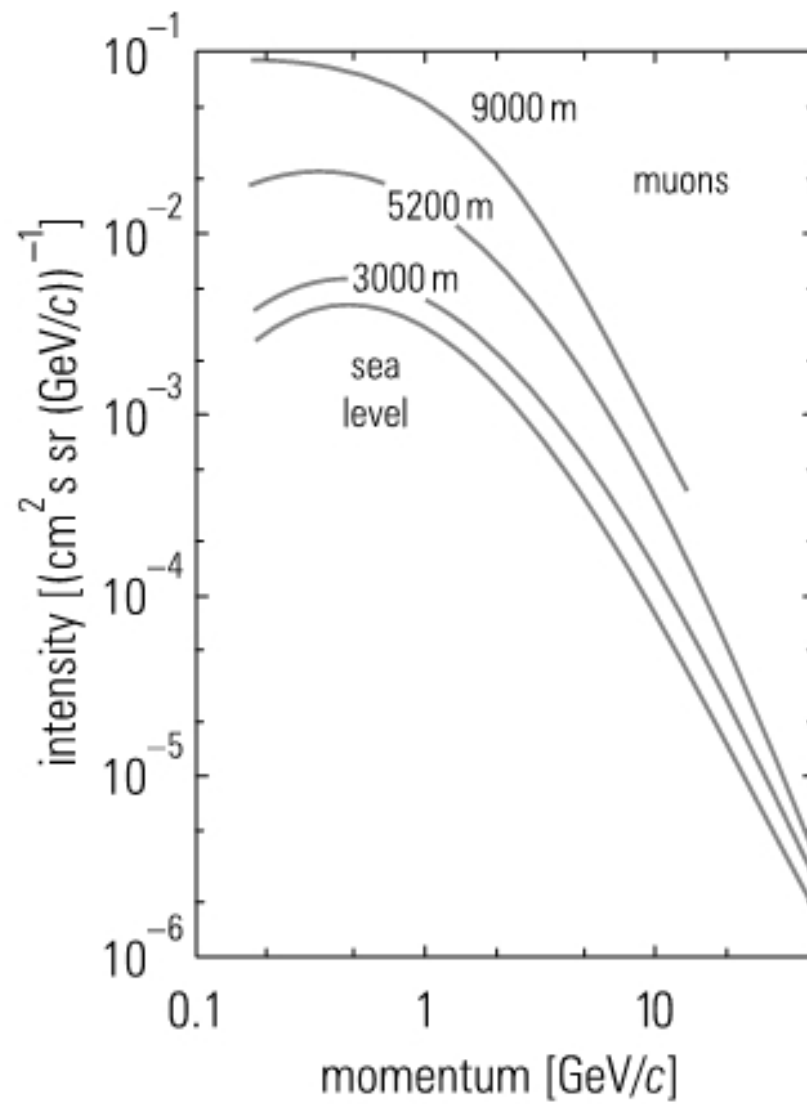


Figure 1.4: Myonenfluss in Abhängigkeit von ihrem Impuls in verschiedenen Atmosphärenhöhen aus [Gru05]

# Chapter 2

## Das SkyView Projekt und Aufgabe der Bachelor-Arbeit

### 2.1 Das SkyView-Projekt

Sky-View ist der Name eines Projektes das Schülergruppen in Nordrhein-Westfalen ermöglichen soll, Messungen mit kosmischer Strahlung in ihrer Schule durchzuführen (vergl. [Sky]). Dazu soll die Nähe vieler Schulen voneinander genutzt werden, um die selben Teilchenschauer an mehreren Orten simultan zu messen. Hierfür sind einerseits an Schulen betreibbare Teilchendetektoren, andererseits aber auch eine sehr gute Zeitabgleichung notwendig, um die Messergebnisse verschiedener Schulen zu gemeinsam verwertbaren Daten zu machen.

Als Teilchendetektoren dienen dazu Detektortonnen mit eingebauten Szintillationsdetektoren (siehe Abb. 2.1 ), deren Aufbau ausführlich in [Wil09] beschrieben wird. Die Hülle einer solchen Detektortonne ist eine wetterresistente Hartplastikregentonne. In dieser ist eine von oben nach unten kegelförmig zulaufende Polyesterfolie gespannt, deren Innenseite einen mit etwa 99% sehr hohen Reflexionskoeffizienten aufweist. Oberhalb der Folie befindet sich eine runde Szintillatorplatte. Am unteren Ende dieser Folie befindet sich eine Photomultiplieröhre. In die Seite der Tonne sind die Kabel für Spannungsversorgung und Messdatenausgang eingelassen. Zudem ist die gesamte Tonne gegen Regen und Lichteinfall abgeschlossen. An den Kabeleingängen wird dies durch lichtundurchlässiges Klebeband sichergestellt. Ziel des Aufbaus ist es, dass Sekundärstrahlung aus Teilchenschauern die durch kosmische Strahlung ausgelöst wurden durch die Abdeckung der Detektortonnen dringt und in der Szintillatorplatte zu Lichtemission führt. Dieses Licht soll durch den Folienkegel auf den Photomultiplier gelenkt und dort detektiert werden. Das Ausgangssignal des Photomultipliers ist dabei bei jedem Signal ein kurzzeitiger, negativer Spannungspuls in der Ausgangsspannung (Abb. A.2). Das entstehende analoge Spannungssignal kann nun über das nach außen führende Koaxialkabel geleitet und ausgewertet werden.

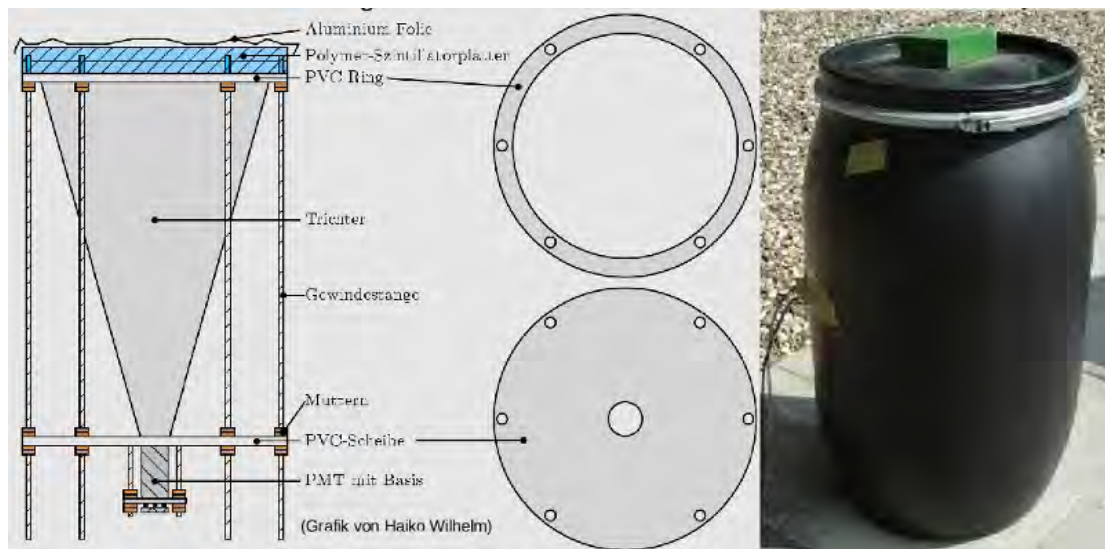


Figure 2.1: Schematischer Aufbau der Sky-View Detektortonnen aus [Wil09].

## 2.2 Aufgabe der Bachelor-Arbeit

Die Aufnahme der Messdaten geschah bisher mithilfe eines Elektronik-Racks, in dem die analogen Signale verstärkt und mit Schwellspannungen verglichen wurden (siehe [Wil09]). Anschließend wurden sie auf Koinzidenzen von mindestens 2 Tonnen untersucht, und dieses NIM-Signal zum triggern der parallel kontinuierlichen Digitalisierung verwendet. Die Daten wurden dann über einen USB-Anschluss an einen Rechner gegeben, an dem sie mithilfe des Programmes ROOT auswertbar waren. Aufgabe der Bachelorarbeit war es nun zu Testen, ob die Datennahme der Detektortonnen auch mit der QuarkNet-Elektronikbox des Fermilabs möglich ist und diese Box als Datenannahmeelektronik (DAQ) für die Sky-View-Tonnen in Betrieb zu nehmen. Diese Elektronikbox wurde in der Arbeitsgruppe, in der die Bachelorarbeit durchgeführt wurde bisher nicht verwendet und ihre Funktionen waren dort somit bislang unbekannt. Um die genannten Aufgaben zu erfüllen, standen für die Bachelorarbeit fünf identische QuarkNet Boxen inklusive Stromversorgung und GPS-Empfänger zur Verfügung (Abb. 2.2). Zum Abgleich mit Ergebnissen der ursprünglichen Datenannahmeelektronik, konnte auf Projektpraktikumsprotokolle mit Messergebnissen mit diesem Aufbau zugegriffen werden. Für die Aufnahme neuer Messdaten standen zudem vier SkyView Detektortonnen auf einem Vordach der Universität zusammen mit der notwendigen Hochspannungsversorgung und ein Computer zur Datenauswertung zur Verfügung. Die Anordnung der Detektortonnen auf dem Vordach wird in Abbildung 2.3 veranschaulicht.



Figure 2.2: Die angeschlossene QuarkNet-Elektronikbox

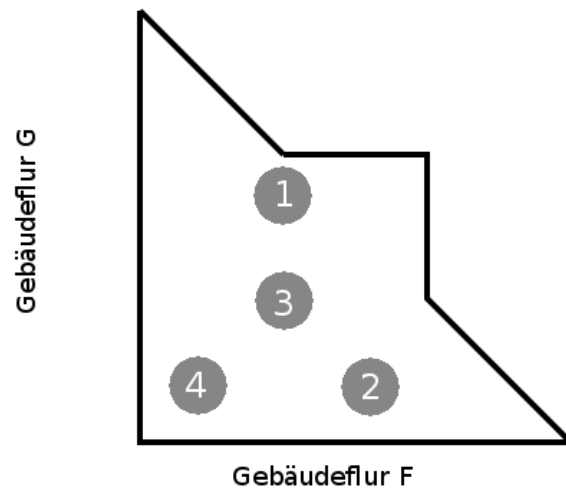


Figure 2.3: Positionen der Detektortonnen auf dem Vordach der Universität

**Anmerkung** Die vier SkyView-Tonnen sind mit den Indizes von 1 bis 4 durchnummeriert. Die Eingänge der QuarkNet-Elektronik hingegen sind sowohl intern, als auch in der Bedienungsanleitung dazu mit den Indizes 0 bis 3 belegt. Um eine konsequente, nicht verwirrende Bezeichnung zu haben, habe ich sowohl die Tonnen als auch die Kanaleingänge mit den Indizes 0 bis 3 belegt und dabei die ursprünglicher Reihenfolge der Tonnen beibehalten.

# Chapter 3

## Aufbau und Funktionen des QuarkNet Boards

### 3.1 Aufbau

Das QuarkNet-Board ist eine in ein Plastikgehäuse eingeschraubte Elektronikarte (siehe Abb. 3.1), deren Funktionen in [JR10] beschrieben werden. Es wird über ein Netzteil mit einer Spannung von etwa 5 V versorgt. Für den Dateneingang befinden sich auf dem Board vier Koaxialkabelanschlüsse, die mit den Nummern 0 bis 3 belegt sind. Auf diese folgt eine Elektronik um die eingehenden Daten zu filtern und zu bearbeiten. Der Datenausgang erfolgt dann über einen USB-Anschluss. Die Anzahl der Events, die von dem Board registriert wurden wird zudem auf vier nebeneinander liegenden Siebensegmentanzeigen angezeigt. Ein Überlauf geschieht hier demnach nach jeweils 9999 Events. Für die Synchronisierung kann über eine Netzwerkkabelbuchse ein GPS-Empfänger angeschlossen werden, um die genauen Eventzeiten zu bestimmen. Ein weiterer Netzwerkkabelanschluss ermöglicht zudem das direkte Anschließen eines weiteren QuarkNet-Boards um gemeinsame Messungen mit den beiden Elektronikarten durchzuführen. Außerdem ist das Board mit einem Reset-Knopf ausgestattet, der alle geänderten Einstellungen auf die Voreinstellungen zurücksetzt.

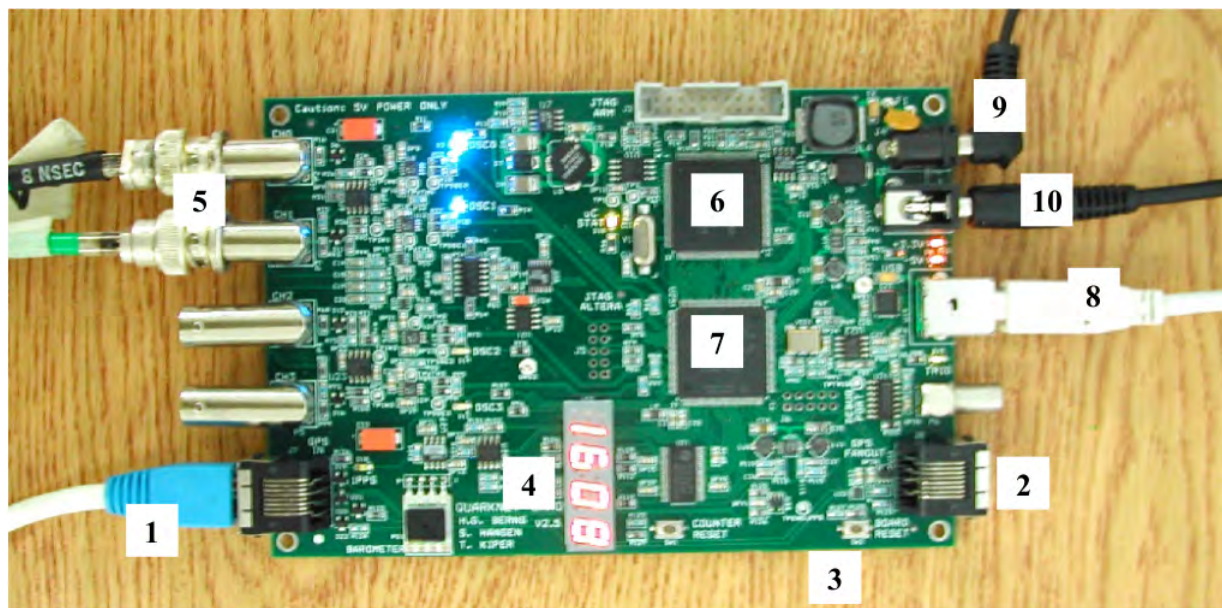


Figure 3.1: Bild des Datenannahme-Boards mit GPS-Eingang (1) und -ausgang (2), Reset-Knopf (3), Siebensegmentanzeigen (4), Koaxialkabeingängen (5), CPLD-Chip (6) und TDC-Chip (7) zur Datenbearbeitung, USB-Anschluss (8), Spannungseingang (9) und Spannungsausgang (10) für das gleichzeitige Verwenden mehrerer Elektronikarten. Die Abb. ist aus [JR10].

## 3.2 Funktion

Hinter den vier Koaxialkabeingängen befindet sich jeweils zunächst ein Vorverstärker, der mithilfe von variablen Widerständen auf den Verstärkungsfaktor 10 voreingestellt ist. Dahinter wiederum ist jeweils ein Komparator, der die eingehenden negativen Spannungen mit einer einstellbaren Schwelle (threshold) vergleicht. Nur wenn das verstärkte Eingangssignal diese Schwellenspannung unterschreitet, wird es als Event aufgenommen.

Wegen dieser vorherigen Verstärkung muss die Pulsamplitude also beispielsweise mindestens  $-30\text{ mV}$  betragen um bei einer Schwellenspannungseinstellung von  $-300\text{ mV}$  aufgenommen zu werden. Die Ergebnisse der Komparatoren werden nun an TDCs (Time to Digital Converter, hier genauer Time Measurement Chips) weitergegeben, die die Zeitpunkte zu denen ein Signal die eingestellte Schwellenspannung überschreitet, oder wieder unterschreitet, aufnehmen und ausgeben (vergl. Abb. 3.2). Als Eingangssignale bekommen die TDCs das Signal eines Quarzoszillators (TCXO), der mit einer Phasenregelschleife (PLL) auf eine Schwingungsfrequenz von  $41\frac{2}{3}\text{ MHz} \pm 100\text{ Hz}$  geregelt wird. Diese Frequenz wird in der Elektronik noch um einen Faktor von 32 heruntergeteilt, sodass die TDCs

alle  $0,75 \text{ ns} \pm 1,8 \text{ fs}$  ein Zeitsignal ausgeben. Dies ist somit die mit dem Board mögliche Zeitauflösung.

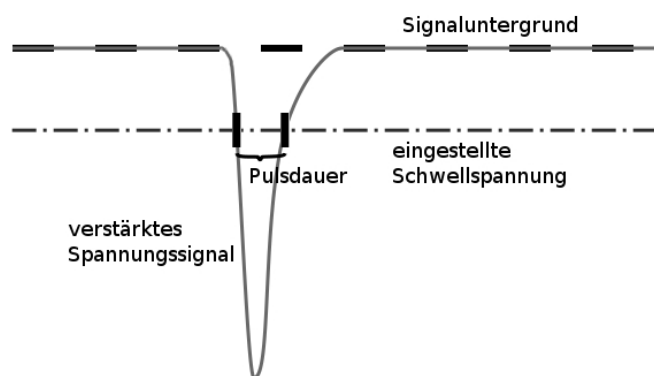


Figure 3.2: Schema für die Ermittlung der Pulsdauer eines negativen Spannungspulses mithilfe einer Schwellspannung

Die Zeitpunkte, wann in einem Kanal die Schwellspannung unterschritten wurde (in [JR10] "rising edge" genannt) und wann sie wieder überschritten wurden (in [JR10] "falling edge" genannt) werden als nächstes an einen CPLD Chip (Complex Programmable Logic Device) gegeben. Dieser ist ein hinreichend schneller Logikbaustein um unmittelbar die aufgenommenen Ereignisse zum eingestellten Koinzidenzlevel herauszufiltern. Dazu wird jedes Mal, dass ein Ereignis registriert wird eine kurze Zeit lang überprüft, ob in irgendeinem anderen Kanal die Schwellspannung unterschritten wird. Ist dies der Fall werden solange wie mindestens so viele Kanäle die Schwellspannung unterschreiten, wie vom eingestellten Koinzidenzlevel gefordert wird alle Ereignisse aufgenommen und weitergeleitet. Die nunmehr fertig aussortierten Daten werden nun in einen Microcontroller (MCU oder  $\mu C$ ) geleitet. Dieser ist für die Kommunikation des Boards mit dem Auswertungsrechner zuständig und wird benötigt um Einstellungen wie Schwellspannungen oder Koinzidenzleveländerungen an das Board weiterzugeben. Außerdem wird an diesen die GPS-Uhr angeschlossen. Diese GPS-Uhr bestimmt, wenn sie mindestens Kontakt zu vier Satelliten hat, ihre eigene Position und synchronisiert sich damit mit der Koordinierten Weltzeit (UTC). Dafür erhält sie zu Beginn jeder UTC-Sekunde einen Signalpuls (1PPS=1 Pulse Per Second), der dann benutzt wird um aus den Schwingungssignalen des Oszillators genaue definierte Zeitpunkte zu machen. Die Genauigkeit dieses 1PPS-Pulses für nicht militärische Geräte liegt bei etwa 100 ns. Hier ist zu erwähnen, dass für die Zeitdifferenzen von Ereignissen, die in der Größenordnung von Nanosekunden liegen die Zählstände des Oszillators verglichen werden. Die Ungenauigkeit der GPS-Zeit ist dafür wichtig die Zeitpunkte dieser Ereignisse bestimmten Sekunden zuzuordnen und beeinflusst die Ungenauigkeit der Zeitdifferenzen daher nicht. Sie ist dagegen für den Abgleich von mehreren Detektorstandorten wichtig, die deshalb am besten nicht weniger als ein bis zwei Kilometer



auseinander liegen sollten, damit diese Ungenauigkeit keine zu großen Auswirkungen hat. Leider verfügt die Elektronikarte nicht über einen Analog-Digital-Konverter (ADC) und kann daher keine Pulshöhen, sondern nur die beschriebenen Zeitpunkte aufnehmen. Ein Blockdiagramm der gesamten Elektronikanordnung befindet sich in Abb. 3.3.

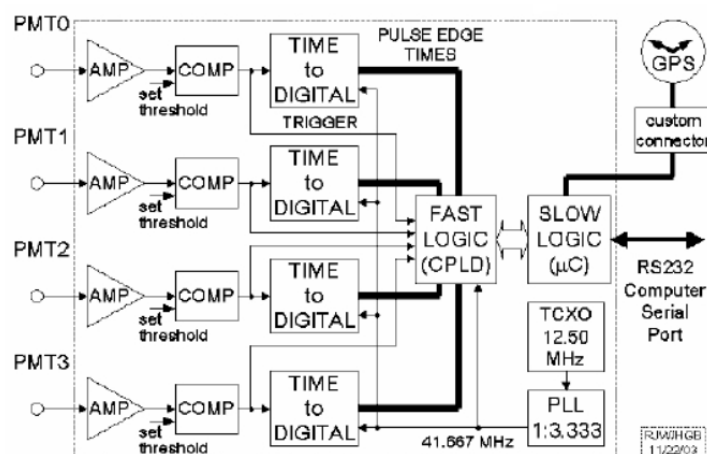


Figure 3.3: Blockdiagramm der Funktion der QuarkNet-Ausleseelektronik mit vier Dateneingängen (hier PMT0 bis PMT3), Datenbearbeitungselektronik, GPS-Verbindung und Computeranschluss. Die Abbildung stammt aus [JR10].

### 3.3 Die Datenausgabe des Boards:

Wenn mithilfe eines Terminalemulationsprogrammes, oder mithilfe eines dafür geschriebenen Skriptes über einen Rechner die Datennahme im QuarkNet-Board gestartet wurde, gibt das Board die gemessenen Ereignisse an den Rechner in Form eines Codes aus. Dieser Code besteht aus 16 mit Leerzeichen getrennten Wörtern<sup>1</sup> pro Zeile, wobei ein Event auch in mehreren solchen Zeilen resultieren kann [JR10]. Dabei sind die Wörter teilweise Zahlen und teilweise eine hexadezimale Codierung von Informationen über das Event. Diese Kodierung erfolgt so, dass wenn die dargestellte Hexadezimalzahl in eine Binärzahl umgewandelt wird, die einzelnen Stellen der Binärzahl die Informationen enthalten. Im Folgenden soll bei den so entstehenden Binärzahlen das höchstwertige Bit als Bit 0, das nächst niederwertigere Bit als Bit 1 etc. bezeichnet werden<sup>2</sup>. Die Zeilen haben dabei beispielsweise folgende Gestalt (Abb. 3.4). Es folgt eine Erklärung der einzelnen Wörter inhaltlich übernommen aus [JR10]:

<sup>1</sup>Mit "Wörtern" sind hier die Zeichenfolgen gemeint, von denen 16 in einer Zeile stehen.

<sup>2</sup>Beispiel: Das hexadezimale Wort *C* entspricht der Binärzahl 1100 und somit einer 1 in Bit 0 und Bit 1 und einer 0 in Bit 2 und Bit 3.

```

8CE343E7 B3 00 00 00 00 00 00 00 8B8D503D 090001.011 180111 A 05 0 +0061
8CE343E7 00 39 00 00 00 00 00 00 8B8D503D 090001.011 180111 A 05 0 +0061
8CFB7E5A 80 00 21 00 00 00 00 00 8B8D503D 090001.011 180111 A 05 0 +0061
8CFB7E5A 00 00 00 2A 00 00 00 00 8B8D503D 090001.011 180111 A 05 0 +0061
8D33B1D2 B4 00 00 00 00 00 00 00 8D0AC87D 090002.019 180111 A 05 0 +0069
8D33B1D3 00 25 00 00 00 00 00 00 8D0AC87D 090002.019 180111 A 05 0 +0069
8D43D825 B4 00 00 00 00 00 00 00 8D0AC87D 090002.019 180111 A 05 0 +0069

```

Figure 3.4: Beispiel für die Datenausgabe der QuarkNet-Elektronik: 16 Wörter pro Zeile, in denen Zeitpunkte eines Events und zum Beispiel Informationen über mögliche Fehlerhaftigkeit desselben kodiert sind.

- Wort 1

Zählstand der  $41\frac{2}{3}$  MHz-Uhr zu dem Zeitpunkt, als für die Ereigniskoinzidenz getriggert wurde. Eine Zählererhöhung um 1 entspricht dabei  $24 \text{ ns} \pm 57,6 \text{ fs}$ .

- Wort 2

Hexadezimalzahl, die umgerechnet zu einer Binärzahl in Bit 0-4 den TDC-Zählstand zum Zeitpunkt des Unterschreitens der Schwellspannung durch den negativen Puls auf Kanal 0 anzeigt. Mit diesem Zählstand, der von 0 bis 31 läuft, wird die Zeitauflösung von  $24 \text{ ns} \pm 57,6 \text{ fs}$  auf  $0,75 \text{ ns} \pm 1,8 \text{ fs}$  erhöht.

In Bit 5 wird mit einer 1 angegeben, dass es eine solche ansteigende Flanke gab, oder mit 0, dass es keine gab.

Bit 6 wird nicht benutzt und ist immer 0.

Bit 7 gibt an, ob es sich in dieser Zeile um das triggernde Ereignis gehandelt hat, oder ob es ein Folgeereignis ist und der Trigger auf einem anderen Kanal kam.

- Wort 3

Zeitpunkt für das erneute Überschreiten der Schwellspannung auf Kanal 0 im selben Format wie Wort 2

- Wort 4

Zeitpunkt für das Unterschreiten der Schwellspannung auf Kanal 1 im selben Format wie Wort 2

- Wort 5

Zeitpunkt für das erneute Überschreiten der Schwellspannung auf Kanal 1 im selben Format wie Wort 2

- Wort 6  
Zeitpunkt für das Unterschreiten der Schwellspannung auf Kanal 2 im selben Format wie Wort 2
- Wort 7  
Zeitpunkt für das erneute Überschreiten der Schwellspannung auf Kanal 2 im selben Format wie Wort 2
- Wort 8  
Zeitpunkt für das Unterschreiten der Schwellspannung auf Kanal 3 im selben Format wie Wort 2
- Wort 9  
Zeitpunkt für das erneute Überschreiten der Schwellspannung auf Kanal 3 im selben Format wie Wort 2
- Wort 10  
Zählstand der  $41\frac{2}{3}$  MHz-Uhr, als der letzte 1PPS Puls vom GPS-Empfänger angekommen ist mit Zeitauflösung  $24 \text{ ns} \pm 57,6 \text{ fs}$
- Wort 11  
Zählstand der  $41\frac{2}{3}$  MHz-Uhr als das letzte Mal die GPS-Daten erneuert wurden mit Zeitauflösung  $24 \text{ ns} \pm 57,6 \text{ fs}$
- Wort 12  
UTC-Zeit(koordinierte Weltzeit) der neuesten GPS-Empfängerdaten im Format ddmmyy
- Wort 13  
Dieses Wort ist "A", wenn der GPS-Empfänger zum Zeitpunkt der neuesten GPS-Empfängerdaten ausreichenden Empfang hatte und "V", wenn er keinen ausreichenden Empfang hatte.

- Wort 14

Anzahl der Satelliten, die zum Zeitpunkt der neuesten GPS-Empfängerdaten von dessen Sensor empfangen wurden

- Wort 15

Hexadezimalzahl, die umgerechnet in eine Binärzahl im ersten Bit mit einer "1" angibt, falls ein 1PPS-Puls unmittelbar bevorsteht, der durch die momentane Auslastung des Boards verzögert werden könnte;

im zweiten Bit zeigt eine "1" an, dass ein neuer Ereignistrigger unmittelbar bevorsteht, was eine zu hohe Eventrate bedeuten kann;

im dritten Bit zeigt eine "1" an, dass ein Problem mit den GPS-Daten aufgetreten sein kann, während der Mikrocontroller beschäftigt war. Im vierten Bit zeigt eine "1" an, dass der letzte 1PPS-Puls nicht innerhalb der letzten  $41666666 \pm 50$  CPLD-Uhr Ticks stattfand. In dem Fall hat der GPS-Sensor einen Fehler, der Mikrocontroller ist beschäftigt und verzögert daher, oder der CPLD-Oszillator ist nicht richtig eingestellt.

In allen vier Bits zeigt eine "0" dagegen an, dass kein solches Problem aufgetreten ist.

- Wort 16

Dieses Wort gibt den Zeitversatz zwischen dem Zeitpunkt, als das letzte Mal die GPS-Daten erneuert wurden und dem dazu nächsten 1PPS-Puls in Millisekunden an. Ein positives Vorzeichen bedeutet dabei, dass der 1PPS-Puls vor den GPS-Daten kam und andersherum.

Wichtig für die Ermittlung von Zeitdifferenzen im Nanosekundenbereich sind die Wörter 1, 10 und je nachdem welche Zeitpunktdifferenzen ermittelt werden sollen die Wörter 2-9. Wort 11 und Wort 16 können dagegen verwendet werden, um über den 1PPS-Puls Ereignisse der richtigen Sekunde zuzuordnen. Bei diesen beiden Wörtern machen also auch Ungenauigkeiten, die größer als im Nanosekundenbereich sind die Koinzidenzerkennungen nicht unmöglich.

# Chapter 4

## Anschluss und Einrichtung der Datenannahmeelektronik

Um die QuarkNet Elektronik zusammen mit den SkyView-Tonnen in Betrieb zu nehmen, wurden zunächst einerseits die Spannungssignale der SkyView Tonnen mit einem Oszilloskop (Modell Agilent Technologies DSO5052A) untersucht, um sicherzustellen, dass die Tonnen einwandfrei funktionieren und zu wissen, wie die Signale von den Tonnen aussehen; andererseits wurde erst einmal die QuarkNet Box an den Auswertungsrechner angeschlossen, um die Kommunikation zwischen Elektronikbox und Rechner zu testen.

### 4.1 Signalsichtbarmachung mit dem Oszilloskop

Für eine erste Untersuchung der Signale wurden nacheinander die Koaxialkabelausgänge der Sky-View-Tonnen an den Eingang eines Oszilloskops angeschlossen. Auf dem Oszilloskop wurde nun die zeitliche Abhängigkeit des Spannungssignals aus den Photomultipliern angezeigt. Bei eingeschalteter Hochspannung an den Photomultipliern waren nun Signale mit einer Breite der Größenordnung von bis zu 50 ns zu erkennen. Lediglich bei Tonne 2 waren keine Signale zu finden. Da sie auch später mit der Datenannahmeelektronik keinerlei Events ausgab, wurde angenommen, dass diese Tonne defekt ist und im folgenden mit den Tonnen 0, 1 und 3 weitergearbeitet. Die Signalhöhe war in der Größenordnung von einigen  $-10$  mV bis einigen  $-100$  mV. Ein Beispiel für ein Signal ist in Abb. (4.1) gezeigt.

Bei der Einstellung des Oszilloskops war eine Impedanzanpassung auf den Wellenwiderstand von  $50 \Omega$  zu beachten. Nun wurden noch einmal an allen Tonnen die Signale betrachtet. An dieser Stelle war bereits durch das Einstellen verschieden hoher Triggerspannungen auffällig, dass in Tonne 0 deutlich größere Signalhöhen zu finden waren, als in den anderen Tonnen. Zudem war festzustellen, dass hin und wieder ein Signal die Form eines

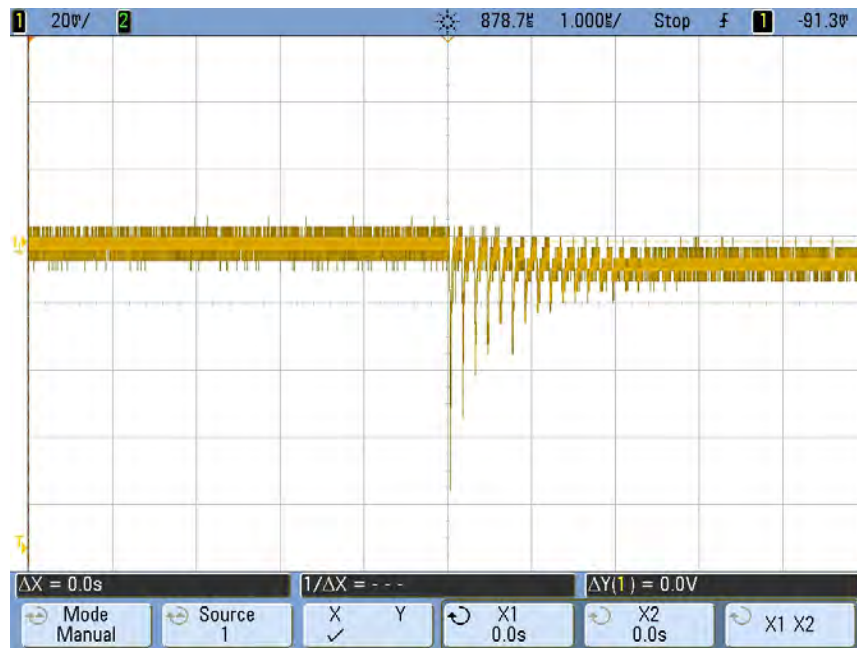


Figure 4.1: Reflektierter Impuls aus Detektortonne 0. Eine Einheit in x-Richtung (gepunktete Linien) entspricht dabei  $1 \mu\text{s}$ , und eine Einheit in y-Richtung entspricht  $20\text{mV}$ .

Doppelpeaks hatte. Dieses könnte später eventuell als zwei einzelne Signale registriert werden, falls der Signalabfall zwischen den zwei Spitzen tief genug ist um die Schwellspannung wieder zu unterschreiten. Auch dies war bei Tonne 0 besonders häufig der Fall. Letztlich wurden noch für alle Tonnen Bilder von den Signalen aufgenommen. An dieser Stelle soll nur exemplarisch eine dieser Aufnahmen gezeigt werden (Abb. 4.2). Die übrigen Aufnahmen befinden sich im Anhang in den Abb. A.1 bis A.3.

## 4.2 Anschluss der Elektronik an den Auswertungsrechner

Nach der Signalbetrachtung mit dem Oszilloskop wurde als nächstes eine der Elektronikboxen mit dem mitgelieferten Netzteil an eine Steckdose angeschlossen. Daraufhin war das Aufleuchten einer Leuchtdiode am Spannungsausgang, einer Leuchtdiode am USB-Anschluss und das Blinken einer Diode am Mikrocontroller zu sehen. Zudem leuchteten die vier Siebensegmentanzeigen für die gemessenen Ereignisse auf und zeigten erwartungsgemäß eine "0000" an. Außerdem wurde an dieser Stelle die Hochspannung der SkyView Tonnen angeschaltet und die Tonnen wurden an die vier Koaxialkabelanschlüsse des Boards



Figure 4.2: Impuls aus Tonne 0 mit Doppelspitze, der bei passender Schwellspannung potentiell als 2 Peaks gemessen werden könnte. Eine Einheit in x-Richtung (gepunktete Linien) entspricht dabei 20 ns, und eine Einheit in y-Richtung entspricht 100mV.

angeschlossen. Der korrekte Anschluss war dadurch zu erkennen, dass die Leuchtdioden “DSC0”, “DSC1” und “DSC3” nun sehr schnell anfangen zu blinken. “DSC2” leuchtete garnicht, was ein weiterer Hinweis auf einen Defekt an der entsprechenden Tonne war. Anschließend wurde ein Verbindungskabel von USB-Typ B für die Elektronikbox zu USB-Typ A für den Auswertungsrechner beschafft und das Board an diesen Computer angeschlossen. Dann wurde das Programm “minicom” gestartet. Dies ist ein Terminal-Emulationsprogramm, mit dessen Hilfe mit einer Kommandozeile Befehle an ein an den Rechner angeschlossenes Gerät gesendet werden können. Für die Programme Hyperterminal und Zterm gab es in der Bedienungsanleitung für die QuarkNet Elektronik eine Erklärung, wie das Board mit der Software anzusprechen ist. Diese Anleitungen wurden verwendet um möglichst analog die Kommunikation mit minicom durchzuführen. Hier war zunächst festzustellen, dass beim Starten des Boards (zB durch Stromanschluss), oder beim resetten von minicom mehrere unlesbare Symbole von minicom ausgegeben wurden. Mit der Einstellung von “Bps/Par/Bits” auf “115200 8N1”, von “Hardware Flow Control” auf “No” und von “Software Flow Control” auf “No” konnte das Board erfolgreich angesprochen werden. Erstere Einstellung war notwendig, damit die Ausgabe lesbar wurde, letztere Einstellung, damit bei minicom eingegebene Kommandozeilenbefehle auch an das Board ausgegeben wurden. Hier gab es zunächst noch Datenübertragungsprobleme, da die Bit-rate zunächst gemäß der QuarkNet-Bedienungsanleitung von August 2004 auf den Wert

19200  $\frac{\text{Bit}}{\text{s}}$  eingestellt wurde. In dieser Bedienungsanleitung war an der entsprechenden Stelle ein offensichtlicher Tippfehler und es war an einer anderen Stelle auch der Wert 192000  $\frac{\text{Bit}}{\text{s}}$  angegeben. Die darauf folgende Internetrecherche ergab eine neuere Bedienungsanleitung (vom Januar 2010), in der ebenfalls durch einen Tippfehler einerseits der Wert 115200  $\frac{\text{Bit}}{\text{s}}$  und andererseits der Wert 115000  $\frac{\text{Bit}}{\text{s}}$  angegeben waren. Letztlich führte der Wert 115200  $\frac{\text{Bit}}{\text{s}}$  zu korrekt dargestellter Datenausgabe und wurde daher im Folgenden beibehalten. Die Kommandozeilenbefehle, mit denen nun Einstellungen auf dem Board vorgenommen werden konnten, sind ebenfalls in der QuarkNet Bedienungsanleitung aufgeführt. An dieser Stelle wurde die Möglichkeit, Tastaturbefehle einzugeben, kurz getestet, indem zum Beispiel mit dem Befehl CD (Counter Disable) der Datenstrom gestoppt und mit CE (Counter Enable) wieder gestartet wurde. Außerdem wurde mit dem Befehl TL (Threshold Level) die Schwellspannung auf unterschiedliche Werte eingestellt, wodurch sofort sichtbar die Eventanzeige auf dem Board bei kleineren Schwellspannungen schneller und bei hohen Schwellspannungen langsamer und schließlich garnicht mehr anstieg. Eine Übersicht über die möglichen Tastaturbefehle aus der Bedienungsanleitung der QuarkNet-Elektronik findet sich in Abb. A.4.



# Chapter 5

## Datennahme mit dem Programm aus Zeuthen

### 5.1 Die Datennahme und allererste Ergebnisbetrachtung

Um den Datenstream des DAQ-Boards auszuwerten, wurde nun zunächst Kontakt mit einer DESY-Arbeitsgruppe in Zeuthen aufgenommen, die ebenfalls mit der QuarkNet Elektronik arbeitet. Aus dieser Gruppe stand für die Bachelorarbeit auch eine von Heike Prokoph geschriebene "Kurzanleitung zur Bedienung" der QuarkNet Elektronik zur Verfügung, und dort wurde bereits Auslesesoftware geschrieben, die auf dem Forschungsschiff "Polarstern" eingesetzt wird. Diese Software wurde mir von Robert Franke aus jener Arbeitsgruppe freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Um den Programm Quelltext zunächst einigermaßen zu verstehen, war an dieser Stelle einige Einarbeitungszeit in die Programmiersprache Python notwendig. Auf der Polarstern wird ein Python-Skript mit dem Namen "icebreaker.py" als Daemon eingesetzt, um ohne weiteren Aufwand dauerhaft Daten aufzunehmen. Dabei nimmt es live während der Datennahme die Messergebnisse auf, speichert sie ab und komprimiert sie zu .bz2 Archiven. Dazu werden in regelmäßigen Abständen neue Ordner angelegt, sodass für jede Stunde der Messung eine neue Datei angelegt wird, die in eine Ordnerstruktur nach Messjahr, Monat, Tag und Stunde abgespeichert wird.

Zudem wird das Board nach eingestellten Schwellspannungen, gemessenem Druck und Temperatur und GPS-Informationen abgefragt, sodass auch diese im abgespeicherten Datenstream nachzulesen sind. Die Schwellspannungen, mit denen "icebreaker.py" Daten aufnehmen soll, stehen in dem File "daq.cfg" und das geforderte Konizidenzsetting lässt sich in "icebreaker.py" selbst einstellen. Darin lässt sich auch die Oszillatorfrequenz der verwendeten Boardversion einstellen, damit im Folgenden alle Zeitpunkte richtig berechnet werden können. Um diese Daten nun zu verwerten existiert ein weiteres Python-Skript namens "daq\_to\_root.py", das die abgespeicherten Daten nötigenfalls entpackt, ausliefert

und aus den rising edges und falling edges der Pulse Pulspositionen, Pulsbreiten und Pulszeitpunkte errechnet.

Von diesem Skript wird ein ROOT-Tree mit dem Namen *"aTree"* erzeugt. Dieser hat die Branches *"ChannelID"*, *"EventTimeMJD"*, *"EventSecOfDay"* und *"PulseWidth"*, in die alle Messergebnisse als Leaves abgespeichert werden.

Bei dem Branch *"EventTimeMJD"* ist Vorsicht geboten, da es sich hier nicht wie naiv anzunehmen um eine natürliche Zahl handelt, sondern hierin auch fraktionale Datumsangaben kodiert sind. Da die Auslesesoftware als Daemon an dem mir zur Verfügung stehenden Auswertungsrechner nicht zum Laufen zu bringen war, wurde zunächst der Teil für das Laufen als Daemon in *"icebreaker.py"* auskommentiert.

Außerdem wurde in allen verwendeten Python-Skripten die Startzeile *"#!/usr/bin/python"* eingefügt, um die Skripte direkt vom Terminal aus verwenden zu können.

Nun mussten noch in allen verwendeten Programmteilen die Datei- und Ordnerpfade des Auswertungsrechners auf der Polarstern mit den Dateipfaden auf dem von mir verwendeten Auswertungsrechner ersetzt werden. Außerdem musste das Shell-Skript *"which\_tty\_daq"* so modifiziert werden, dass es den USB-Anschluss am Auswertungsrechner finden konnte. Wurde nun das *"icebreaker.py"*-Skript gestartet, war direkt offensichtlich, dass der zuvor sehr schnell zählende auf dem Board eingebaute Zähler nur noch hin und wieder Events anzeigte. Dies wurde zunächst für einen Fehler bei der Inbetriebnahme des Programms gehalten, lag aber letztlich daran, dass in *"icebreaker.py"* eine Forderung von mindestens zweifacher Koinzidenz voreingestellt war, die die Zählrate deutlich absenkte.

Um jetzt das *"daq\_to\_root.py"* Skript sinnvoll nutzen zu können, folgte eine Einarbeitungszeit in ROOT um im folgenden damit die Messergebnisse der SkyView Tonnen auswerten zu können. Aus den damit zunächst aufgenommenen Daten ließ sich nun unmittelbar in ROOT die Pulsbreitenverteilung darstellen. Diese hatte die später noch einmal genauer vermessene Gestalt, die in Abb. 5.1 dargestellt ist. Dabei wurden Bins der Breite  $\frac{3}{4}$  ns verwendet, da dies wie bereits beschrieben (3.2) einem Tick des Oszillators entspricht und somit die kleinste hier mögliche Einheit ist. Die Plots für die anderen Pulsbreiten befinden sich im Anhang in den Abb. A.5 bis A.8. Für die sehr niedrigen Zählraten bei kleinen Pulsbreiten könnte hier ein Messproblem verantwortlich sein. Da die Pulsbreiten dadurch ermittelt werden, dass mit jeweiliger Fehlerbehaftung die Zeitpunkte der aufsteigenden und absteigenden Signalflanke vermessen werden, könnte es sein, dass bei sehr kurzen Signalen die absteigende vor der ansteigenden Flanke registriert wird und der Puls dadurch nicht aufgenommen wird. Ähnliche Probleme könnten dann auch Pulse, die die Schwelle nur knapp überschreiten erzeugen. Ergebnis dieser ersten Pulsbreitenbetrachtung war zunächst, dass die erwünschten Signale schwellenabhängig Breiten von bis zu höchstens etwa 50 ns besitzen.

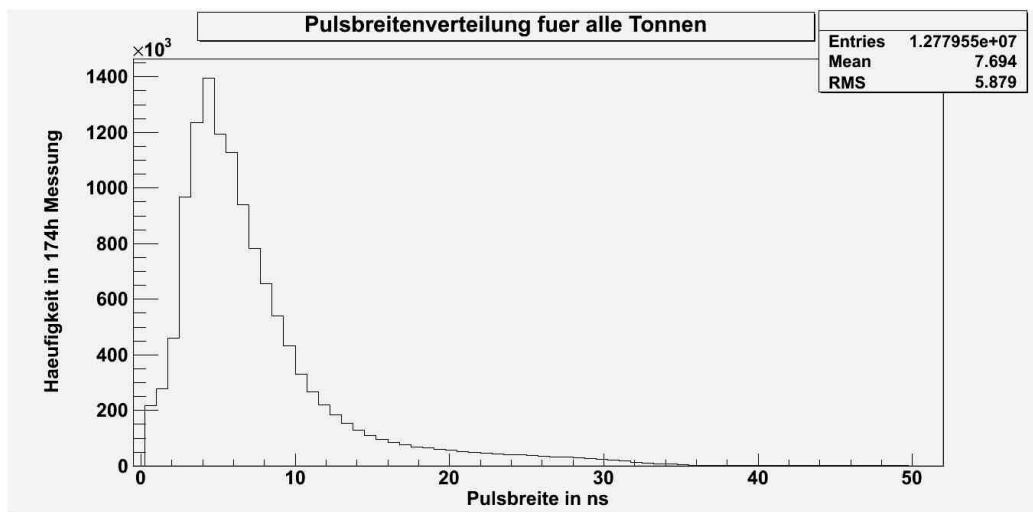


Figure 5.1: Pulsbreitenverteilung von allen Tonnen zusammen

## 5.2 Koinzidenzerkennung

Um nun per Software im Nachhinein aus dem vollständigen Datenstream nur Daten herauszufiltern, die eine bestimmte Koinzidenzbedingung erfüllten, wurde die Datei "koi.txt"<sup>1</sup> für ROOT geschrieben, und später für verschiedene Zwecke mehrfach abgewandelt. Um eine sinnvolle Bedingung für die Koinzidenz zweier aufeinanderfolgender Ereignisse zu haben, wurde als nächstes die mögliche Zeitdifferenz zweier Ereignisse in Koinzidenz grob abgeschätzt. Hierzu wurden drei Effekte berücksichtigt. Zunächst wurde im Projektpraktikumsprotokoll von Haiko Wilhelm [Wil09] herausgefunden, dass bei bisherigen Messungen zwischen den Signaltönen Laufzeitdifferenzen von bis zu etwa 5 ns auftraten. Als zweiter Effekt wurde die Lichtlaufzeit zwischen den Tonnen betrachtet. Da diese maximal etwa einen Abstand von 7,5 m hatten wurde für die Lichtlaufzeit eine weitere Zeitdifferenz von 25 ns eingerechnet. Damit ergab sich eine maximale Zeitdifferenz zweier Ereignisse in Koinzidenz von etwa 30 ns. Dies wurde als Abschätzung für den zeitlichen Abstand wann zwei Ereignisse gerade noch als koinzident gelten verwendet.

**Anmerkung** In der Praxis wurden Koinzidenzen meist bei Ereignisabständen von bis zu etwa 80 ns gezählt. Hierbei handelt es sich um eine sehr grobe Abschätzung. Eine solche Schätzung ist hier allerdings als ausreichend anzusehen, da auch bei Zählraten von etwa 20 Counts pro Sekunde die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis zufällig in diesem Zeitfenster landet nur etwa  $1/625000$  beträgt. Zwischendurch wurde auch, da noch nicht bekannt

<sup>1</sup>Bei "koi.txt" handelt es sich um ein 'unnamed root-script', dass sowohl ROOT-Befehle, als auch C++-Code enthält.

war, ob im neuen Aufbau zusätzliche Verzögerungen auftreten, diese Zeitspanne auf 120 ns erhöht, dies zeigte aber wie erwartet kaum eine Veränderung.

Das Skript "koi.txt" wurde nun darauf programmiert, im ROOT-Tree alle Ereignisse durchzugehen und jeweils den Ereigniszeitpunkt mit dem Zeitpunkt des vorherigen Ereignisses zu vergleichen. Um nun die Forderung zu implementieren, dass üblicherweise mindestens eine bestimmte Anzahl an Ereignissen in Koinzidenz liegen soll, aber auch mehr Ereignisse dazu gehören dürfen, wurde im Programm bei gefundenen Koinzidenzen solange kontrolliert, ob das nächste Ereignis immernoch zu der Koinzidenz gehört, bis ein Ereignis nicht mehr im geforderten Koinzidenzfenster lag und daraufhin wurden alle Ereignisse der gefundenen Koinzidenz gleichzeitig ausgegeben. Der zugehörige Programmablaufplan findet sich in Abb. 5.2. In dieses Skript wurde etwas später noch die zusätzliche Forderung eingebaut,

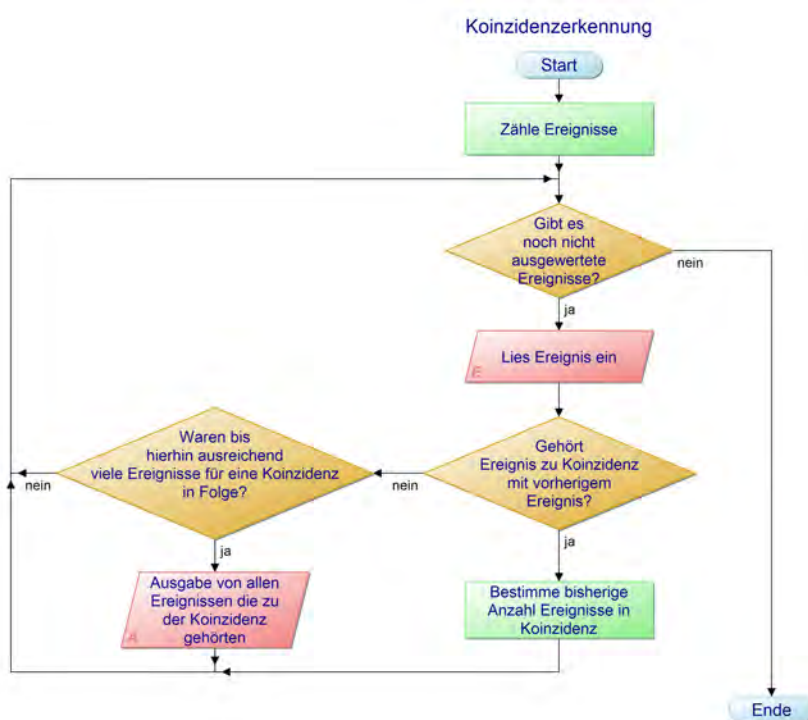


Figure 5.2: Programmablaufplan des Skripts "koi.txt" zur Koinzidenzerkennung, erstellt mit dem Programm "PapDesigner".

dass in einer Koinzidenz nicht zweimal der gleiche Kanal auftreten durfte. Dies verhindert, dass Doppelpeaks, die als zwei Ereignisse gezählt wurden, Koinzidenzen triggern können. Das schon beim manuellen Durchsuchen mehrerer Koinzidenzereignisse solche falschen Koinzidenzen durch Doppelpeaks gefunden wurden zeigte, dass bei den hohen Zählraten von Tonne 0 dieser Effekt gegenüber Koinzidenzen mit anderen Tonnen nicht mehr vernachlässigbar war.

# Chapter 6

## Kalibrationsmessungen für die Schwellspannungen

### 6.1 Vorüberlegungen

Um mithilfe der QuarkNet Datenannahmeelektronik verwertbare Messergebnisse zu erhalten, war es zunächst notwendig herauszufinden, wie hoch die Schwellspannungen in den einzelnen Kanälen sein sollten, damit möglichst wenig ungewünschter Untergrund die Schwellspannung übersteigt und aufgenommen wird und dennoch möglichst wenige echte Signale verworfen werden, weil sie eine zu niedrige Pulshöhe haben. Wie in Abschnitt 1.4 beschrieben, gibt es ein Maximum des Teilchenflusses in einem bestimmten Energiebereich. Da außerdem anzunehmen ist, dass das Messuntergrundsniveau mit steigender Pulshöhe abfällt, ist bei der Energie, für die die Bethe-Bloch Gleichung (1.3) einen maximalen Energieverlust pro Strecke beschreibt, zudem ein lokales Minimum im Teilchenfluss, das die Signale vom Untergrund trennt, zu erwarten. Wenn nun eine Messung durchgeführt wird, bei der nur Ereignisse aufgenommen werden, deren negative Signalthöhen eine bestimmte Schwellspannung unterschreiten (vergleiche Abb. 3.2), ist die noch gemessene Zählrate mathematisch ein Integral über das Pulshöhenspektrum der Teilchen von der Pulshöhe an, ab der diese ausreicht um im Detektor ein Signal von hinreichend starker negativer Signalstärke zu erzeugen, um detektiert zu werden, bis in den Bereich unendlicher Pulse beziehungsweise Energien. Eine weitere Senkung der negativen Schwellspannung entspricht nun einer Verschiebung der Integraluntergrenze hin zu höheren Energieverlusten im Detektor. Da die Messung nun einer solchen Integration entspricht, ist aus der Theorie zu erwarten, dass das Minimum des Teilchenstroms bei einer bestimmten Energie als Wendestelle in der Abhängigkeit der Zählraten von den Schwellspannungen zu erkennen ist. Dieser vermutete Wendepunkt soll im Folgenden als Orientierung für das Setzen geeigneter Schwellspannungen dienen.

## 6.2 Ermittlung der Zählraten aus dem aufgenommenen Datenstream

Um die Zählraten zu bestimmen, wurden alle dafür aufgenommenen Messergebnisdateien mit dem "daq\_to\_root.py"-Skript zu ROOT-Trees umgewandelt. Für diese ROOT-Trees wurde ein weiteres 'unnamed script' erstellt, das die Zählraten auf allen Kanälen extrahieren sollte. Der Programmablauf ist in Abb. 6.1 dargestellt. Als Fehler der Zählraten wird analog zur Poisson-Verteilung  $\sqrt{N}$  angenommen, wobei  $N$  die Anzahl gemessener Ereignisse und  $t$  der Messzeitraum ist. Auch dieser Fehler gehört zur Ausgabe des Skripts.

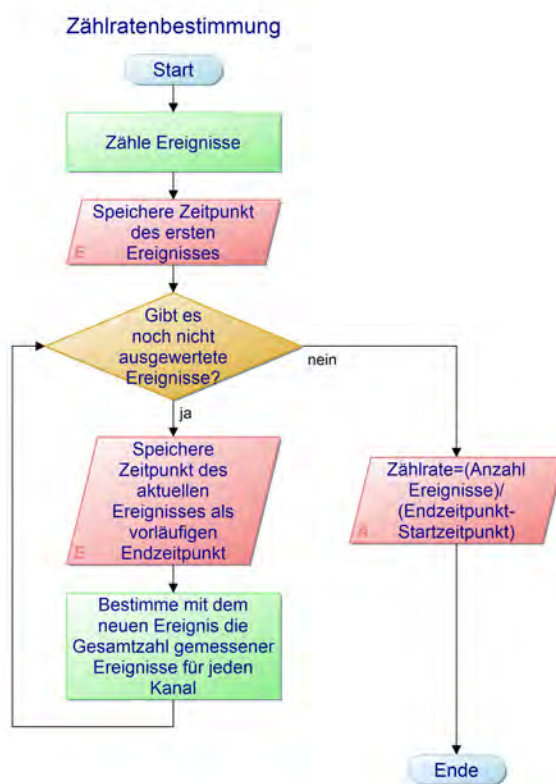


Figure 6.1: Programmablaufplan des Skripts zur Bestimmung der Zählraten, erstellt mit dem Programm "PapDesigner".

### 6.3 Die Messungen

Da zu dem Zeitpunkt, als die ersten Kalibrationsmessungen durchgeführt wurden, noch nicht sicher zu sagen war, ob der gemessene Teilchenfluss deutlich vom Tages- oder Wochentag abhängig ist, wurde nach einer groben Abschätzung der Zählraten bei verschiedenen Schwellspannungen zunächst eine Messreihe durchgeführt, bei der stets auf einem Kanal eine Referenzmessung mit einer Schwellspannung von  $-37,5$  mV durchgeführt wurde (wegen Vorverstärkung wurde auf  $-375$  mV eingestellt s.u.). Bei einer vorläufigen Messung des Zählratenverlaufes über vier Tage zeigte sich diese Referenzmessung für die Schwellspannungskalibration als nicht notwendig, war jedoch später dennoch hilfreich um die Sinnhaftigkeit der Ergebnisse zu überprüfen.

Zunächst wurde eine Messreihe aufgenommen, bei der Tonne 0 konstant auf  $-375$  mV Schwellspannung eingestellt gelassen wurde und auf allen anderen Kanälen die Schwellspannungen zwischen  $0$  mV und  $-800$  mV variiert wurden. Dazu soll noch einmal angemerkt werden, dass die Signale vor dem Diskriminator mit der Schwellspannung bereits um den Faktor 10 verstärkt wurden. Die tatsächlichen Schwellen lagen also zwischen  $0$  mV und  $-80$  mV. Für die Messpunkte wurde bei den niedrigeren Schwellen etwa eine halbe Stunde lang, für die höheren Schwellen etwa eine Stunde lang gemessen. Es ergaben sich die folgenden Zählratenverläufe: (Abb. 6.2 und 6.3)

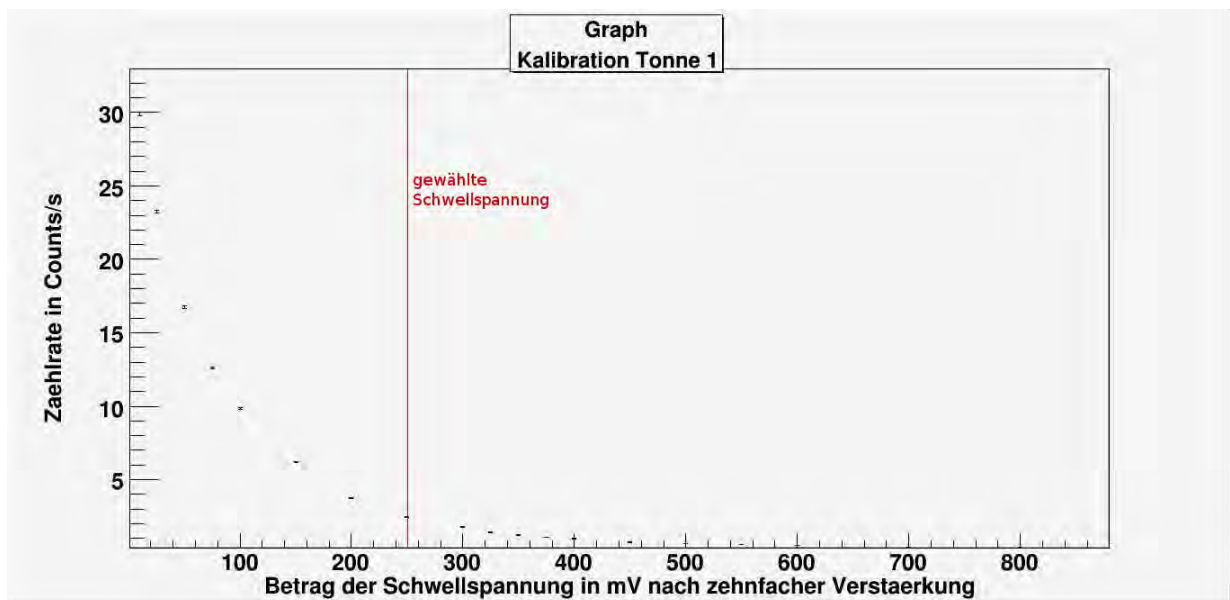


Figure 6.2: Kalibrationsmessung für Tonne 1

Danach wurde eine weitere Messreihe mit festen  $-375$  mV Schwellspannung für Tonne 1 und variiert Schwellspannung für die anderen Tonnen aufgenommen, um eine Kalibrationsdatenreihe für Tonne 0 zu erhalten. Da diese Tonne eine deutlich höhere Zählrate

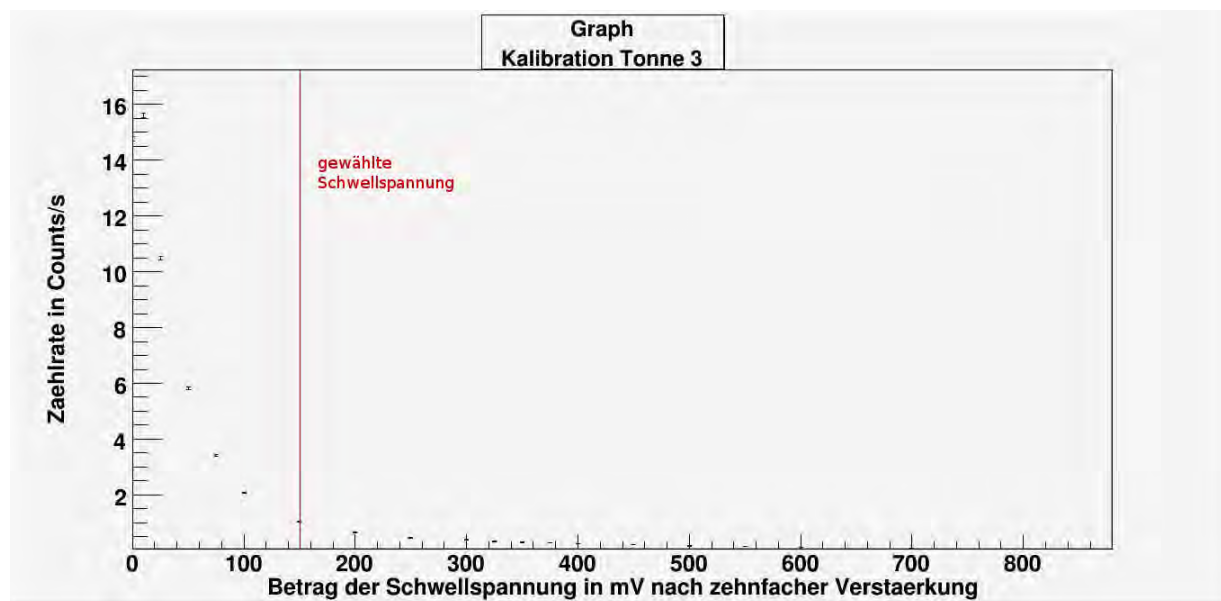


Figure 6.3: Kalibrationsmessung für Tonne 3

besaß als die anderen Tonnen, wurde bei dieser pro Messpunkt nur etwa 10-20 Minuten gemessen. Die so entstandene Messung des Zählratenverlaufs ist dargestellt in Abb. 6.4.

Bei ihr ist sehr deutlich, dass im Bereich von 0 mV bis  $-200$  mV die Zählraten anzusteigen scheinen. Da es sich bei den Kalibrationskurven theoretisch, wie in 6.1 erklärt, um Aufintegration eines Spektrums mit sich ändernder Untergrenze handelt, kann dieser Anstieg keine natürliche Eigenschaft der Pulshöhenverteilung sein. Die erste Vermutung, dass es sich um einen äußeren Störeinfluss gehandelt hat, der zeitlich während der Aufnahme der ersten Messwerte stattgefunden hat, wurde deshalb verworfen, da die niedrigen Zählraten bei betragsmäßig hinreichend niedrigen Schwellspannungen auch später noch reproduzierbar waren. Auch klassische Detektortotzeit kann den Effekt nicht vollständig erklären, da die Kurve dadurch im ersten Bereich höchstens flach, nicht jedoch ansteigend sein könnte. Möglich wäre allerdings, dass bei Fehlern in der Datennahme, etwa weil eine 'falling edge' vor einer 'rising edge' aufgenommen wurde, eine Zeit lang keine Signale aufgenommen werden, da die Messung als temporär fehlerhaft gilt. Somit würde ein Zusammenhang zwischen dem unerwarteten Anstieg hier und dem unerwartet niedrigen Startpunkt in Abb. 5.1 bestehen.

Schließlich wurden noch die Messreihen mit Referenzmessung verwendet, um eine zusätzliche Kalibrationsauswertung der Ereignisse, die in Koinzidenz mit einer anderen Tonne lagen, für Tonne 1 und Tonne 3 durchzuführen. Die Messreihe für Tonne 0 besaß aufgrund der kürzeren Messzeiten hierfür leider nicht ausreichend viele Koinzidenzereignisse. Für diese Messreihen wurde das Skript aus Abb. 5.2 mit dem Skript aus Abb. 6.1 so kombiniert, dass bei den Messungen nur diejenigen Ereignisse in die Zählrate eingingen, die in



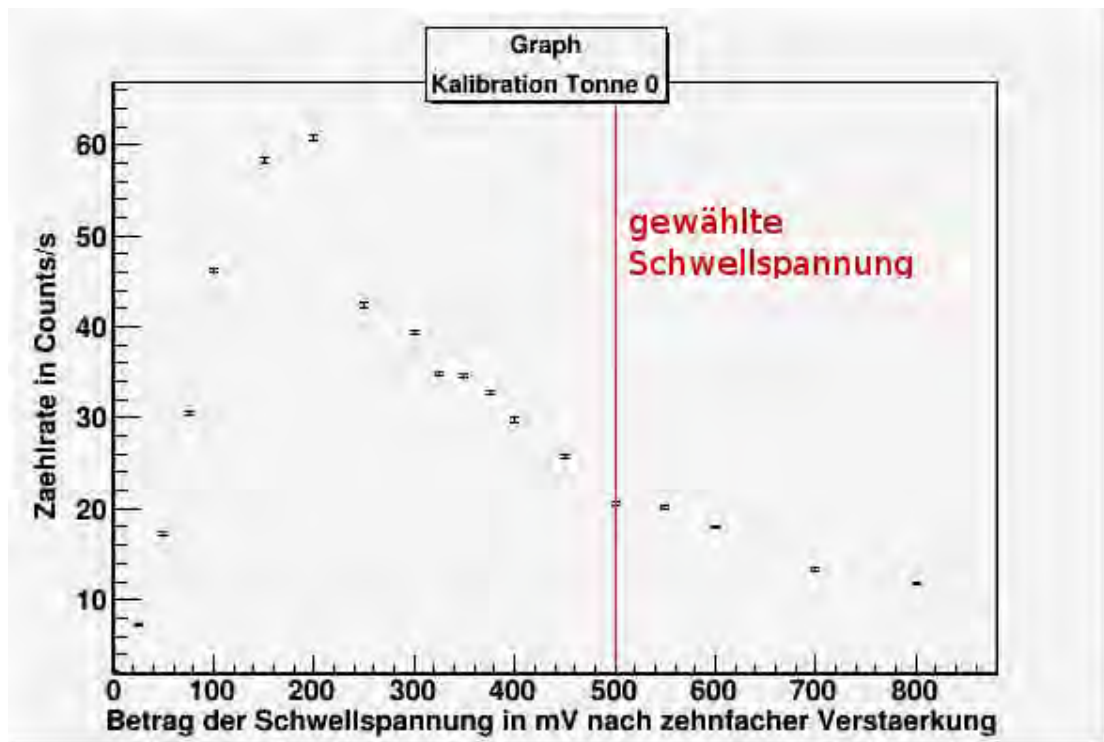


Figure 6.4: Kalibrationsmessung für Tonne 0

Koinzidenz mit einem Ereignis in Tonne 0, die konstant  $-375$  mV Schwellspannung hatte, lagen. Die dabei gemessenen Zählraten und Fehler wurden schließlich mit einem willkürlichen Faktor (1000 für Tonne 1, 250 für Tonne 3) multipliziert und zu den vorherigen Kalibrationsplots gezeichnet, um die Messungen in einem Plot vergleichen zu können. Der so entstandene gemeinsame Plot für Tonne 1 befindet sich in Abb. 6.5, derjenige für Tonne 3 in Abb. 6.6. Die zugrundeliegenden Messreihen mit der Koinzidenzbedingung, sowie für alle drei verwendeten Tonnen logarithmische Plots der Kalibrationsergebnisse befinden sich im Anhang in den Abb. A.9 bis A.14.

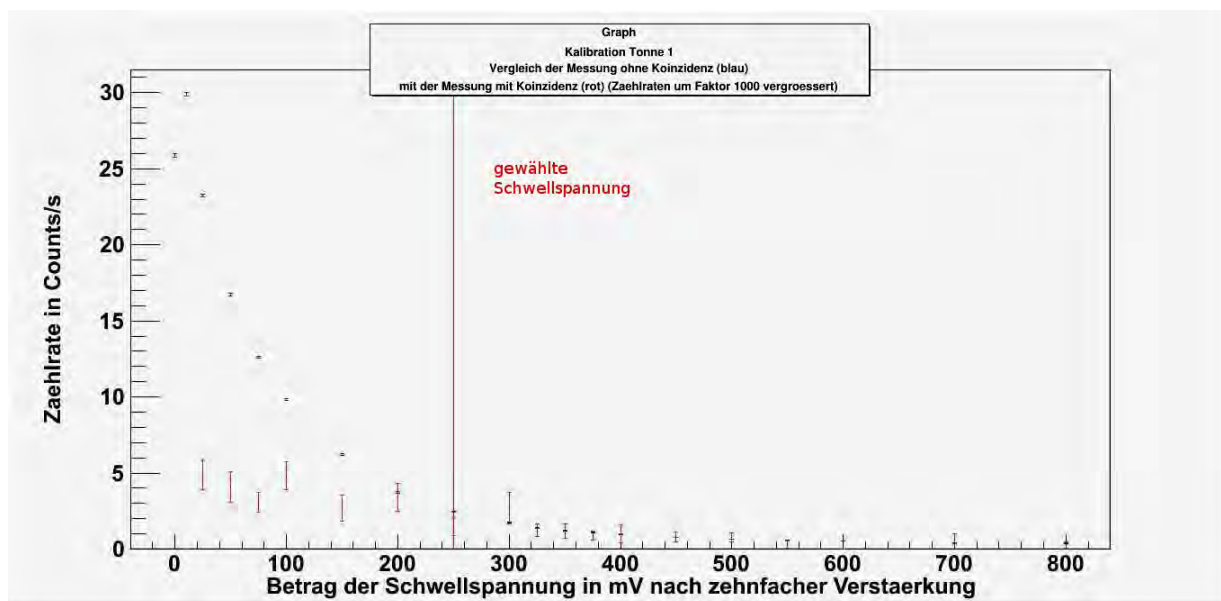


Figure 6.5: gemeinsamer Plot der beiden Kalibrationsauswertungen für Tonne 1

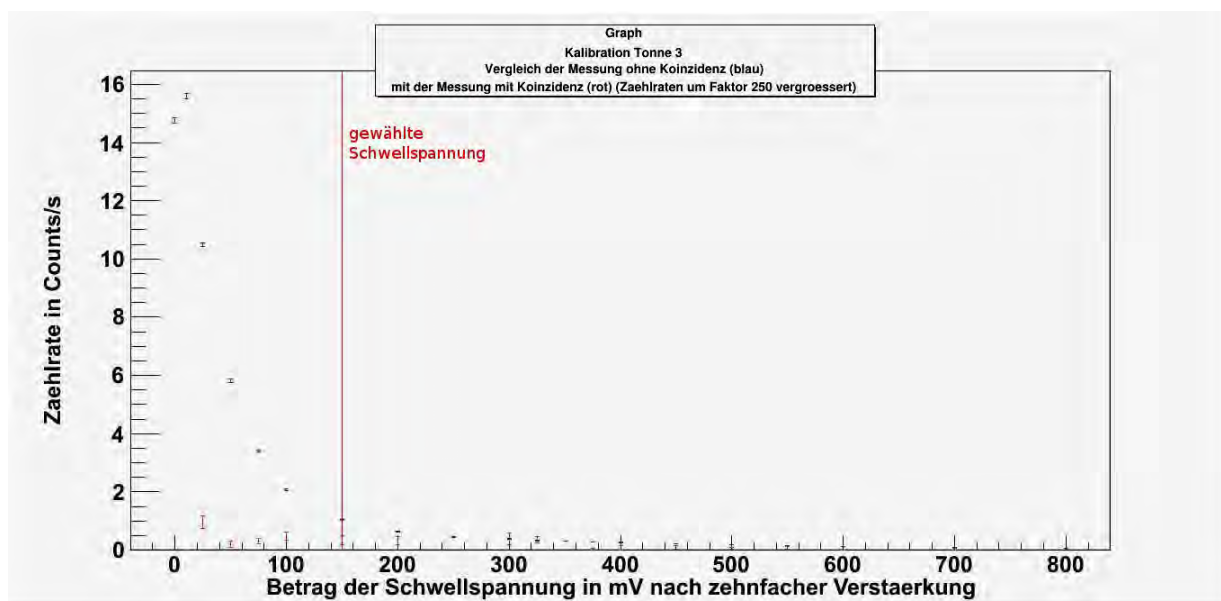


Figure 6.6: gemeinsamer Plot der beiden Kalibrationsauswertungen für Tonne 3

Die Kalibrationskurven mit der Koinzidenzbedingung zeigen offensichtlich weniger deutlich in welchen Bereich die Schwellspannungen gelegt werden sollten, als die vorherigen Messungen, da bei ihren Kurven durch die Koinzidenzbedingung das meiste Rauschen bereits herausgefiltert ist. Ihre Verläufe widersprechen denen der vorherigen Messungen allerdings nicht und bei Tonne 1 ist auch recht deutlich ein Flacherwerden der beiden Messkurven im

Tonne 0	−500 mV
Tonne 1	−250 mV
Tonne 3	−150 mV

Table 6.1: ausgewählte Schwellspannungen

gleichen Bereich zu erkennen. Der theoretisch erwartete Wendepunkt für das Minimum im Teilchenfluss lässt sich in all diesen Verläufen allerdings höchstens erahnen. Dennoch lässt sich in der ersten Messreihe jeweils im Bereich niedriger Schwellspannungen ein starker, offensichtlich rauschbedingter Anstieg der Zählraten erkennen. Möglicherweise sind die Wendestellen auch nicht zu erkennen, da sie in diesem verrauschten Bereich liegen. Als Schwellspannungen sollen daher nun die Spannungen gewählt werden, bei denen die Kurven beginnen stark abzuflachen. Da sich ein Teil des Rauschens nach den Messungen noch beispielsweise durch Koinzidenzbedingungen herausfiltern lässt, sollen sie in diesem Bereich relativ niedrig gewählt werden, um dafür wenn notwendig von einer etwas höheren Datenrate profitieren zu können. Mit diesen Prämissen wurden aus den Messreihen folgende Schwellspannungswerte für die weiteren Messungen ausgewählt (Tab. 6.1).

## Chapter 7

# Kalibration der Laufzeitdifferenzen der Tonnen

Nachdem die Kalibrationsmessreihen ausgewertet waren, wurden die so ermittelten Schwellenspannungen für eine längere Messung bei konstanten Schwellen genutzt. Diese wurde von Dienstag, dem 18.01.2011 um 9:00 bis Dienstag dem 25.01. um 15:00 durchgeführt, um später den Verlauf einer vollständigen Woche betrachten zu können. Für die Auswertung wurden die Textdateien der Messungen mit einem "cat"-Befehl zusammengefügt und danach alle zusammen in eine große ROOT-Datei umgewandelt. Um die tatsächlichen Laufzeitdifferenzen der Signale bis zur Aufnahme in den Detektor, die zum Beispiel durch unterschiedliche Kabellängen hervorgerufen werden können, zu ermitteln, soll im Folgenden diese lange Messreihe verwendet werden. Zunächst wurde auch überlegt, diese Kalibration ähnlich zu Haiko Wilhelm([Wil09]) mithilfe von Lichtleitern durchzuführen. Da es aber bei diesen Kabeln mechanische Probleme gab, wurde dieser Ansatz wieder verworfen. Nun sollen die Laufzeitdifferenzen darüber ermittelt werden, dass zu erwarten ist, dass Luftschauer im Mittel senkrecht von oben zu den Tonnen gelangen. Als möglicher Störeffekt ist dabei zu erwarten, dass die Anzahl der Teilchenschauer aus der Richtung, an der das Universitätsgebäude an das Vordach, auf dem die Tonnen stehen, angrenzt, sich von der Anzahl an Teilchenschauern aus der anderen Richtung unterscheidet. Dabei ist allerdings noch nicht klar, ob aus der Richtung des Gebäudes weniger Schauer ankommen, da das Gebäude einen abschirmenden Effekt besitzt, oder ob von dort mehr Schauer ankommen, da bei der Wechselwirkung mit den Gebäudewänden neue Teilchenschauer entstehen könnten.

Um möglichst sicher zu sein, dass die betrachteten Schauerereignisse aus wirklichen Schauern stammen, wurde nun die lange Messung auf Dreierkoinzidenzen selektiert. Das dafür geschriebene Skript (vergl. Abb. 5.2) wurde nun so erweitert, dass es für alle drei möglichen 2-Tonnenkombinationen die Zeitdifferenz der Signale aus den beiden Tonnen in Histogramme schrieb. An dieser Stelle soll exemplarisch der Plot für die Laufzeitdifferenz zwischen Tonne 1 und Tonne 0 gezeigt werden (Abb. 7.1). Alle drei Plots befinden sich im

Tonne 1	0 ns	$\pm 0$ ns
Tonne 3	3,61 ns	$\pm 11,53$ ns
Tonne 0	12,59 ns	$\pm 21,21$ ns

Table 7.1: ermittelte mittlere Delays zwischen den Tonnen

Anhang in den Abb. A.15 bis A.17. Im Wesentlichen zeigen alle diese Plots jeweils leicht

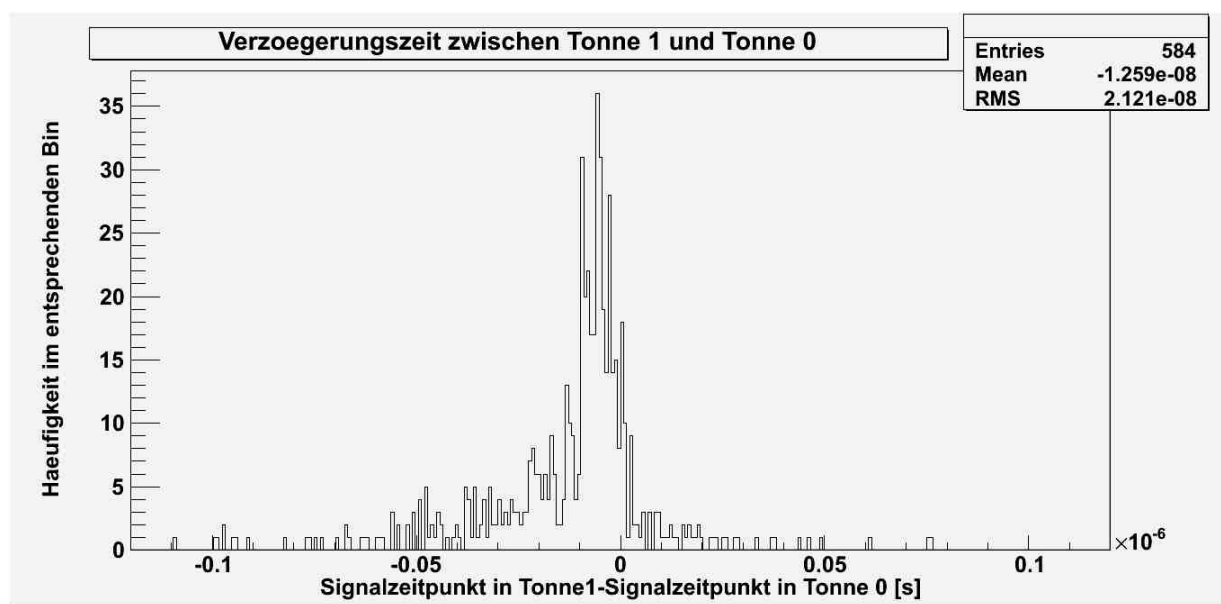


Figure 7.1: Verteilung für die Laufzeitdifferenz zwischen Tonne 1 und Tonne 0

von der 0 verschobene Peaks. Die Positionen ihrer Mittelwerte geben die Zeitverzögerungen der Tonnen zueinander an. Damit ergeben sich folgende Verzögerungen (Tab. 7.1). Dabei wurden die Fehler über die Streuung ("Root Mean Square") abgeschätzt. Die Verläufe der Plots legen allerdings nahe, dass die tatsächlichen Fehler deutlich niedriger liegen. Da sowohl im Plot für Tonne 3 und Tonne 0, als auch im Plot für Tonne 1 und Tonne 0 links vom Hauptpeak ein Ausläufer zu sehen war, und um einen besseren Überblick über die Verteilung zu bekommen, wurde nun ein zweidimensionaler Plot erstellt, der für jede Koinzidenz die Verzögerung zwischen Tonne 1 und Tonne 0 auf der einen Achse und die Verzögerung zwischen Tonne 3 und Tonne 0 auf der anderen Achse zeigen sollte. Das Ergebnis findet sich in Abb. 7.2. Bei dem Ausläufer nach links unten darin handelt es sich nicht, wie zunächst vermutet um einen Fehler im für den Plot verwendeten Skript. Dies wurde überprüft, indem mehrere unterschiedlich funktionierende Skripte, die auch die Ereignisse in unterschiedlicher Reihenfolge durchgingen zum Plotten benutzt wurden. Offenbar sind die Koinzidenzereignisse von Tonne 3 mit Tonne 1 meist sehr schnell hintereinander und das zugehörige Ereignis aus Tonne 0 einige Zeit später. Um dies genauer zu untersuchen wurde dieser Ausläufer noch einmal eindimensional geplottet. Dabei wurde das Binning

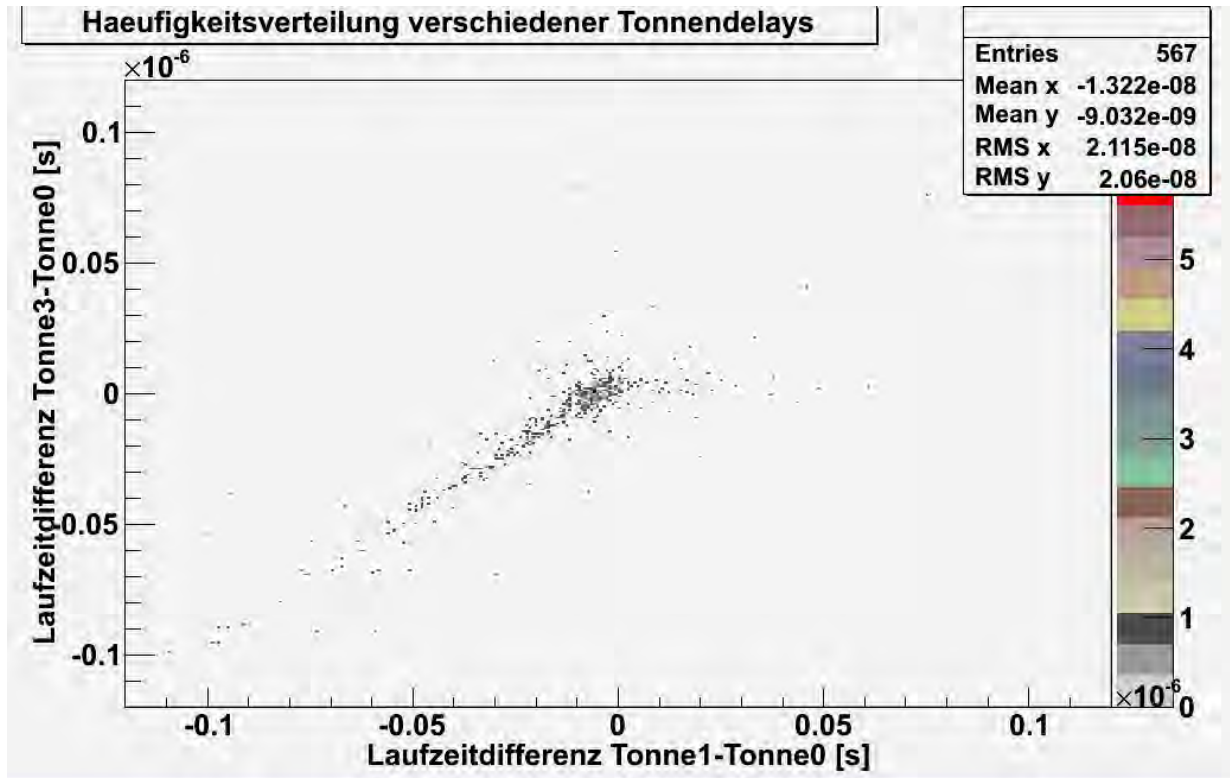


Figure 7.2: Zweidimensionale Verteilung für die Laufzeitdifferenzen zwischen allen Tonnen. Aufgrund der geringen Zählrate für Dreierkoinzidenzen sind in den meisten Bins nur 1 bis 2 Events.

etwas größer gewählt, um die statistischen Schwankungen im Verlauf zu senken und die Tendenz besser zu sehen. Nun wurde an den Anstieg zum Hauptpeak eine Exponentialfunktion und an den Hauptpeak eine Normalverteilung gefittet. Die Fits hatten dabei folgende Parameter (Tab. 7.2).

Die  $\frac{\chi^2}{ndf}$ -Werte basieren dabei auf Fehlern für die Häufigkeiten in den Bins in Höhe der Wurzeln dieser Häufigkeiten. Der so entstandene Fit findet sich in Abb. 7.3. Offensichtlich lässt sich der Hauptpeak gut durch eine Normalverteilung beschreiben und enthält tatsächlich die gesuchten Laufzeitdifferenzen. Die Exponentialfunktion beschreibt, wie die zeitliche Verteilung der Messwerte von den Events in Tonne 0 aussieht, die den Ereignissen der anderen Tonnen erst recht spät nachfolgen. Würde dieser exponentielle Anstieg durch Ereignisse in Tonne 0 erzeugt, die zufällig im für Koinzidenzen erlaubten Zeitintervall landen, müsste die Zählrate in Tonne 0 etwa  $7,95 \cdot 10^7 \frac{\text{Ereignisse}}{\text{Sekunde}}$  betragen, da die Rate in dem Fall dem Steigungsparameter in der Exponentialfunktion entspricht. Dies ist aber weit über der tatsächlich vom Board registrierten Rate an Ereignissen und somit auszuschließen. Offensichtlich gibt es also irgendeinen anderen Fehler, der für registrierte Ereignisse in Tonne 0 kurz nach Ereignissen in den anderen Tonnen sorgt. Zum Beispiel könnte es irgendeinen Fehler in der Elektronik geben, der kurz nachdem Events in Tonne

Exponentialfunktion:	$e^{a \cdot \Delta t + b}$	
Parameter a	$7,95 \cdot 10^7 \frac{1}{s}$	$\pm 1,17 \cdot 10^7 \frac{1}{s}$
Parameter b	4,25	$\pm 0,33$
$\frac{\chi^2}{ndf}$	$\frac{7,171}{15}$	
Normalverteilung:	$A \cdot e^{-\frac{1}{2}(\frac{\Delta t - \mu}{\sigma})^2}$	
Parameter A	116,1	$\pm 7,3$
Parameter $\mu$	$-5,46 \cdot 10^{-9} s$	$\pm 0,24 \cdot 10^{-9} s$
Parameter $\sigma$	$4,48 \cdot 10^{-9} s$	$\pm 0,21 \cdot 10^{-9} s$
$\frac{\chi^2}{ndf}$	$\frac{3,892}{4}$	

Table 7.2: Fitparameter für die Fits an den Ausläufer bei den Tonnendelays.  $\Delta t$  ist dabei die Variable (Zeitdifferenz des Ereignisses in Tonne 0 zu den anderen Ereignissen [s]).

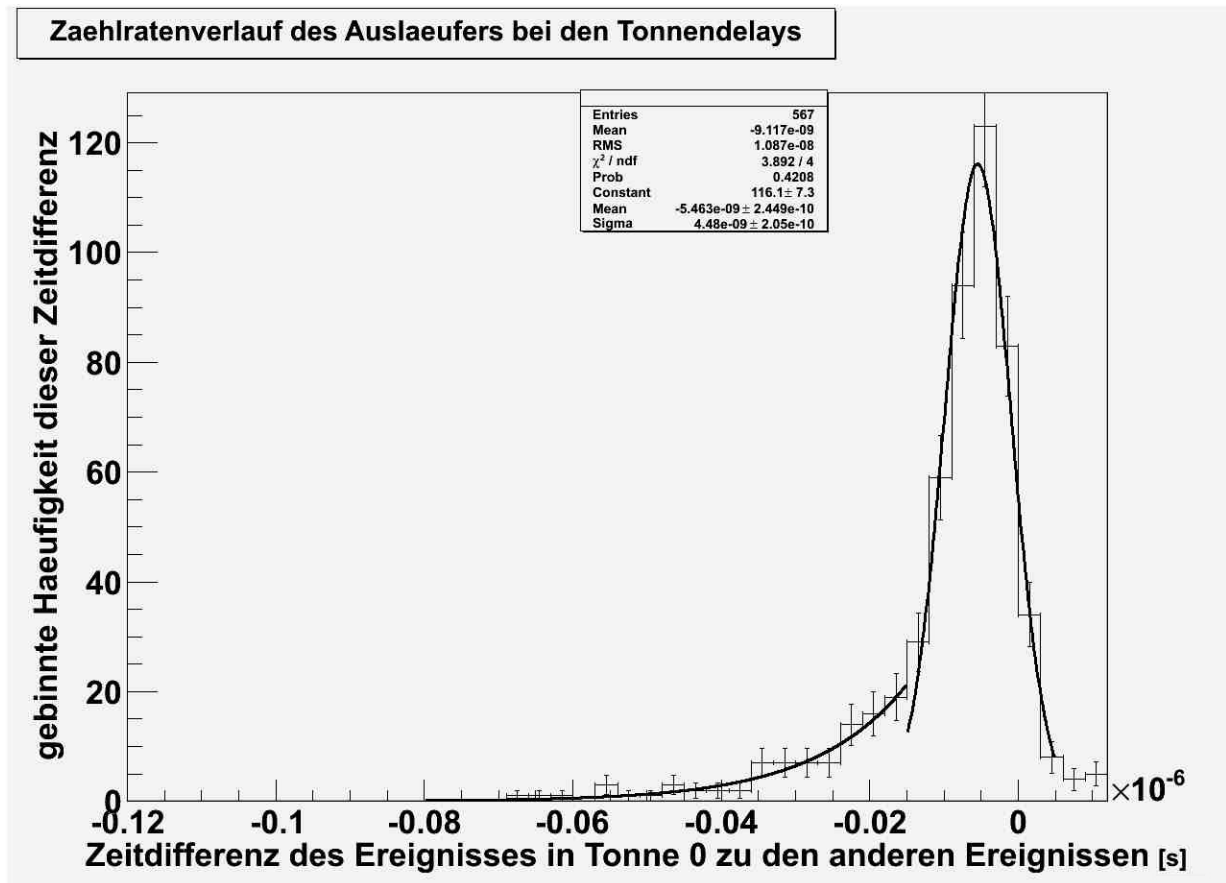


Figure 7.3: Fits an den Ausläufer von Tonne 0 bei der Laufzeitkalibration

3 oder Tonne 1 registriert wurden ein Pseudoereignis in Tonne 0 ausgibt. Andererseits könnte es auch sein, dass nachdem in Tonne 0 ein Ereignis gemessen wurde die Weitergabe

dieses Ereignisses aus irgendeinem Grund exponentiell verzögert wird. Die in 4.1 festgestellten Mehrfachpeaks kommen allerdings nicht in Frage, da im endgültig verwendeten Skript implementiert wurde, dass wenn es mehrere Ereignisse in Tonne 0 gibt, die für eine Koinzidenz passen würden, nur das zeitlich am besten passendste für den Plot berücksichtigt wird. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es sich bei der Verzögerung von  $3,61 \text{ ns} \pm 11,53 \text{ ns}$  zwischen Tonne 1 und Tonne 3 um ein offenbar sinnvolles Messergebnis handelt, auch wenn der Fehler wahrscheinlich kleiner gewählt werden könnte. Die Verzögerung zu Tonne 0 lässt sich allerdings bisher nicht komplett sinnvoll bestimmen, da bei Tonne 0 offensichtlich noch irgendein Fehler vorliegt, über dessen Beschaffenheit zwar Informationen gewonnen wurden, für dessen Identifizierung allerdings weitere Untersuchungen angestellt werden müssten.



# Chapter 8

## Zeitabhängigkeit der Zählraten

Als Letztes wurde die siebentägige Messreihe verwendet, um den Teilchenflussverlauf im entsprechenden Zeitintervall zu analysieren. Dazu wurden die Zeitpunkte der Signale aus der ROOT-Datei der Messung in ein Histogramm geschrieben. Hierbei wurden 5-Minuten-Bins gewählt um trotz der hohen statistischen Schwankungen die Tendenzen des Verlaufs erkennen zu können. Sowohl Tonne 1 als auch Tonne 3 zeigten hier relativ konstante Zählraten in der Größenordnung von  $2,5 \text{ s}^{-1}$  für Tonne 1 und etwa  $1 \text{ s}^{-1}$  für Tonne 3. Die Zählraten in Tonne 0 zeigten dagegen eine sehr starke zeitliche Schwankung zwischen etwa  $13 \text{ s}^{-1}$  und  $23 \text{ s}^{-1}$ . Dies ist ein Hinweis darauf, dass der offensichtlich bestehende Fehler in Tonne 0 in irgendeiner Form zeitabhängig oder von äußeren Umständen abhängig ist. Auch auffällig ist, dass morgens am Mittwoch, dem 19.01.2011 die Zählraten in allen Tonnen deutlich niedriger waren als sonst. Hier ist ein Problem in der Elektronik oder mit der Spannungsversorgung zu vermuten. Die besprochenen Verläufe der Zählraten befinden sich in den Abb. 8.1, 8.2 und 8.3.

Um im folgenden die Form der Zählratenschwankungen zu untersuchen, wurden als nächstes Plots erstellt, in denen die Häufigkeiten verschiedener gemessener Ereignisanzahlen in Ein-Sekunden-Bins dargestellt werden. Die Ergebnisse befinden sich in den Abb. 8.4, 8.5 und 8.6.

Dabei entsprechen die Fehlerbalken in x-Richtung den Binbreiten und die Fehlerbalken in y-Richtung sind erneut die Wurzeln der Ereignisanzahlen in den entsprechenden Bins. An die Ergebnisse wurden Poissonverteilungen mit zusätzlicher Skalierung für beide Achsen gefittet. Die in den Plots eingezeichneten Werte für  $\frac{\chi^2}{ndf}$  sind für Tonne 1 und Tonne 3 schon hoch und für Tonne 0 noch höher. Allerdings sind bei den auftretenden hohen Bingrößen die relativen Fehler in den Binhöhen derart klein, dass auch schon kleine Abweichungen von der Poissonform für große  $\frac{\chi^2}{ndf}$ -Werte sorgen. Dennoch ist dies ein Zeichen dafür, dass der Poissonfit bei Tonne 1 und Tonne 3 besser passt als bei Tonne 0 und auch nur eine Näherung und keine vollständige Beschreibung der Kurvenverläufe ist. Bei den in die Fitlegenden eingetragenen Parametern entspricht  $p_0$  der Skalierung auf der y-Achse,  $p_1$

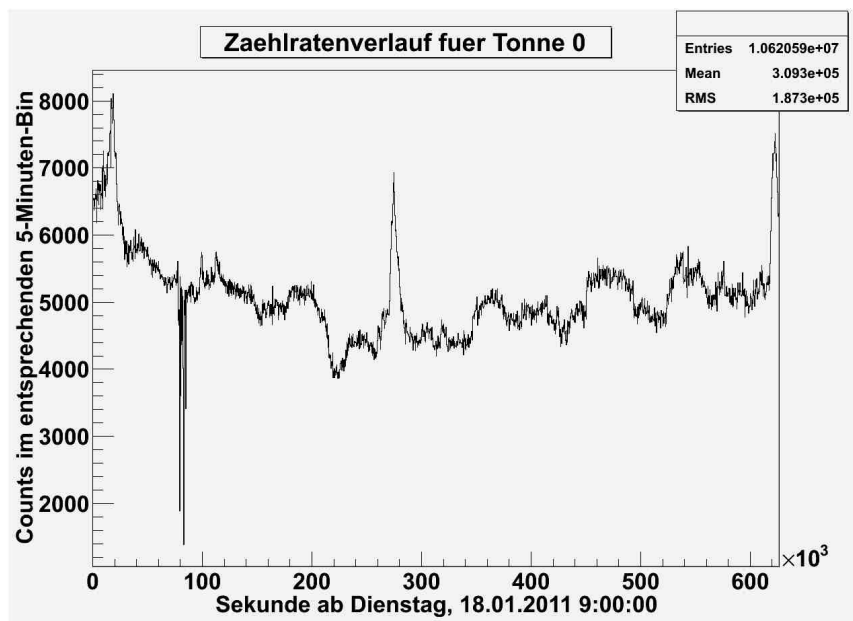


Figure 8.1: Zeitabhängigkeit der Zählrate bei Tonne 0

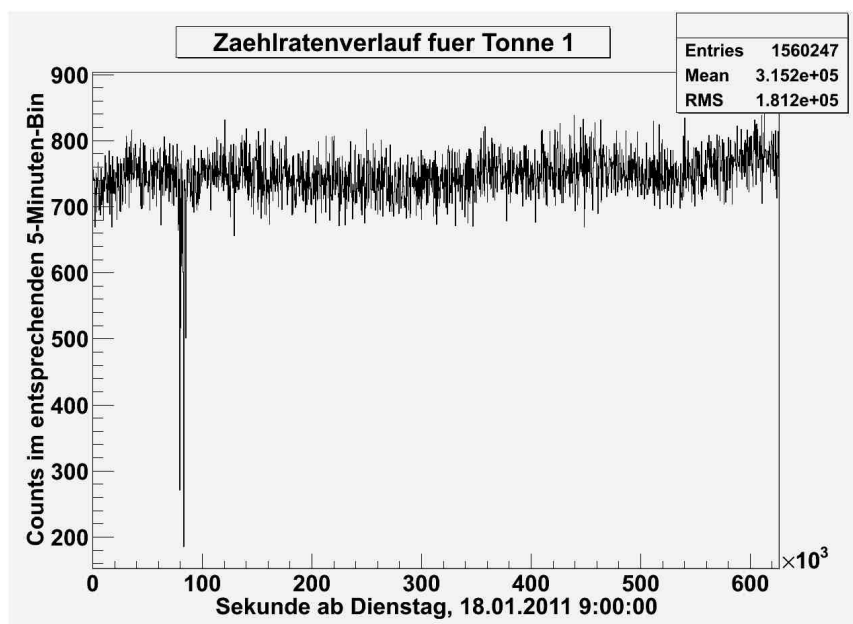


Figure 8.2: Zeitabhängigkeit der Zählrate bei Tonne 1

der Skalierung auf der x-Achse und p2 dem Parameter der Poissonverteilung. Bei Tonne 0 könnte der x-Skalierungsfaktor von  $1,385 \pm 0,003$  darauf hinweisen, dass es einen Effekt gibt, der dafür sorgt, dass hin und wieder mehrere Ereignisse für ein einziges Event detektiert werden. Hier ist auf die in 4.1 bemerkten Doppelpeaks hinzuweisen, die wenn sie

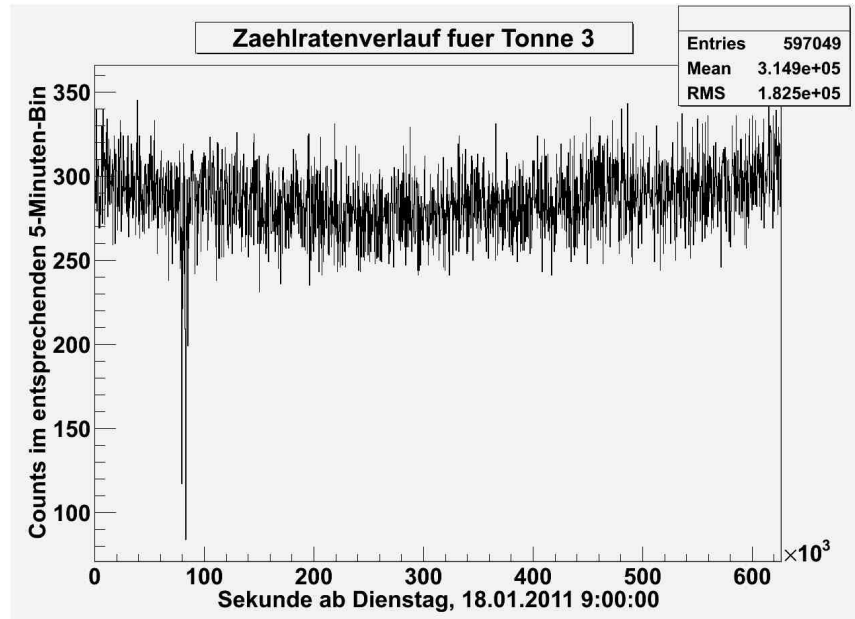


Figure 8.3: Zeitabhängigkeit der Zählrate bei Tonne 3

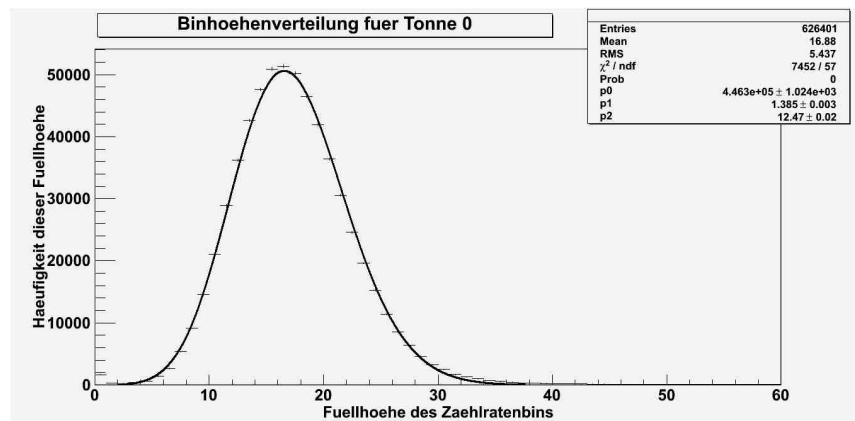


Figure 8.4: Häufigkeit verschiedener Ereignisanzahlen in Tonne 0

als mehrere Ereignisse detektiert werden diesen Effekt darstellen könnten. Insgesamt sind allerdings alle x-Achsenkalierungen recht nahe an 1, was einen Hinweis darauf darstellt, dass die Poissonform eine sinnvolle Näherung für den Verlauf ist. Offensichtlich passen also die Binhöhenverteilungen aller drei Tonnen ganz gut zu den zu erwartenden Poissonförmigen Verteilungen. Da bei einer Poissonverteilung der Parameter der Verteilung dem Erwartungswert und der Varianz dieser Verteilung entspricht konnte mit p2 außerdem durch Rückskalierung mit p1 auch die mittlere Zählrate bei Tonne 0 zu  $17,3 \frac{1}{s} \pm 4,9 \frac{1}{s}$ , bei Tonne 1 zu  $2,96 \frac{1}{s} \pm 1,62 \frac{1}{s}$  und bei Tonne 3 zu  $1,32 \frac{1}{s} \pm 1,05 \frac{1}{s}$  bestimmt werden.

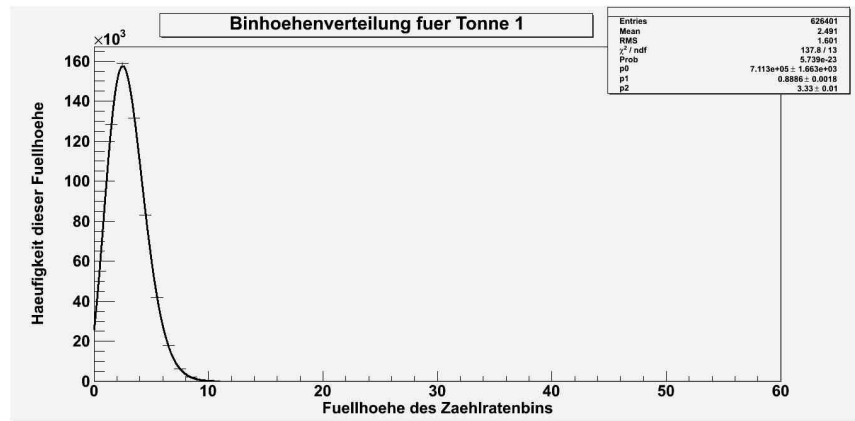


Figure 8.5: Häufigkeit verschiedener Ereignisanzahlen in Tonne 1

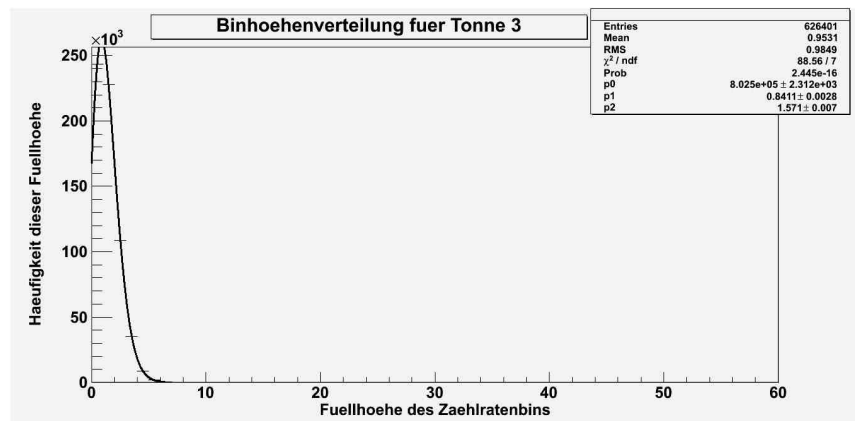


Figure 8.6: Häufigkeit verschiedener Ereignisanzahlen in Tonne 3

## Chapter 9

# Vergleich der neuen mit der alten Elektronik

Wie es zu erwarten war, stellt der Austausch des Elektronikracks durch eine QuarkNet-Elektronikbox ein Inkaufnehmen von einer Reduktion der gesammelten Information zugunsten von hohem Mobilitätsgewinn und hoher Preisersparnis dar.

Bei dem Elektronikrack handelt es sich um eine vergleichsweise große und schwere Elektronikanordnung, die vielseitig einsetzbar ist und bei der auch Umbauten einzelner Bestandteile möglich sind. Die QuarkNet Datenannahmebox basiert auf einem programmierbaren Logikbaustein und ist somit in gewissen Grenzen auch flexibel, durch die feste Verlotung der Bestandteile aber kaum umzubauen. Sie wurde speziell für die Detektion von kosmischen Strahlen mit Szintillationsdetektoren konzipiert und ist für diese Aufgabe auch gut geeignet. Die Ergebnisse der Datennahme sind sobald es einmal eingerichtet wurde leicht zu beschaffen und scheinen auch die Signale aus den Tonnen gut wiederzugeben. Bei zu großen Zählraten, die beispielsweise bei sehr großen Szintillationsdetektoren selbst bei größeren Schwellspannungsbeträgen auftreten könnten, sind allerdings unerwartete Ergebnisse aufgetreten. Ob die QuarkNet-Boxen in einem solchen Fall immer noch brauchbare Ergebnisse ausgeben würden, müssten weitere Messungen mit solchen Detektoren zeigen. Der größte Nachteil der QuarkNet-Boxen im Gegensatz zum Elektronikrack ist, dass die DAQ-Box über keinen Analog-Digital-Konverter verfügt, und als Information über die Signale lediglich die Zeitpunkte wann Schwellspannungen über- und unterschritten wurden aufzeichnet. Daher ist es mit den Boxen nicht möglich Pulshöhen von Signalen zu vergleichen, oder Kalibrationsmessungen offline durchzuführen, indem im Nachhinein geschaut wird, wieviele der Signale eine bestimmte Amplitudenhöhe erreichten. Um beurteilen zu können wie gravierend dieser Nachteil der QuarkNet-Elektronik ist, sollte noch untersucht werden, in wie weit die Pulsbreite die fehlende Pulshöheninformation ersetzen kann. Vorteil der QuarkNet-Box ist hingegen, dass sie mit einem GPS-Empfänger, einem Barometer und einem Thermometer ausgestattet ist. Hiermit können möglicherweise wichtige äußere Einflüsse auf die Signale aufgezeichnet werden. Durch den GPS-Sensor können zudem laut Bedienungsanleitung die Ergebnisse von Messungen an unterschiedlichen Standorten

hinreichend genau abgeglichen werden, um große Schauer von verschiedenen Orten aus gleichzeitig betrachten und die Ergebnisse abgleichen zu können, um eine de facto deutlich größere Detektorfläche als an einzelnen Standorten verwenden zu können. Da ein solcher Abgleich unter verschiedenen Schulen ein Ziel des SkyView-Projektes ist, stellt dies einen großen Vorteil der QuarkNet-Boxen im Gegensatz zum Elektronikrack dar, bei dem ein entsprechender GPS-Abgleich noch eingerichtet werden müsste.

Insgesamt lässt sich also sagen, dass bei der Umstellung der Datennahme auf die QuarkNet-Elektronik zwar die Informationen über die Pulshöhen der Daten verloren gehen, allerdings immernoch vernünftige Messungen möglich sind und die Boxen für den Betrieb in Schulen sicherlich besser geeignet sind, als der umständliche und teure Aufbau eines Elektronikracks.

# Chapter 10

## Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die QuarkNet-Datenannahmeelektronik erfolgreich in Betrieb genommen wurde. Dabei konnten mit der neuen Elektronik Messungen durchgeführt, und später mit dem Computer ausgewertet werden. Außerdem konnte mit ihr ein Vorschlag für in der Datennahme geeignete Schwellspannungen erarbeitet werden (Tab. 6.1). Die QuarkNet-Elektronik erwies sich dabei insgesamt vom Aufbau her als gut für den Betrieb in Schulen geeignet. Schwierigkeiten bereitete es, dass eine der vier SkyView-Tonnen während der Arbeit keine Messsignale lieferte und eine Tonne eine merkwürdig hohe Zählrate und einige andere Unterschiede zu den anderen Detektortonnen aufwies. Für die beiden zuverlässig funktionierenden Detektortonnen wurde später die mittlere Verzögerung zwischen zwei Ereignissen in Koinzidenz bestimmt. Für Koinzidenzen mit der Tonne, die seltsame Ergebnisse lieferte, wurden ebenfalls mittlere Verzögerungen bestimmt (Tab. 7.1). Diese sind allerdings nur unter Vorbehalt zu verwenden, da sehr seltsame Verzögerungen bei Signalen dieser Tonne auftraten. Einige der Eigenschaften der merkwürdigen Ergebnisse dieser Tonne konnten dabei im Laufe der Messauswertungen bestimmt werden, und können vielleicht helfen die Fehlerquelle einzugrenzen. Schließlich wurde ein abschließender Vergleich zwischen der QuarkNet-Datenannahmeelektronik und der zuvor verwendeten Elektronik durchgeführt.

Als nächster Schritt könnten die Tonne, die keine Ereignisse aufnahm und die Tonne, die seltsame Ergebnisse lieferte, weiter untersucht und gegebenenfalls repariert werden. Dies konnte von mir wetterbedingt leider nicht durchgeführt werden. Mit mehreren zuverlässig funktionierenden Tonnen und guten Ergebnissen für die Laufzeitdifferenzen unter den Tonnen kann dann auch eine Rekonstruktion der Winkel von eintretenden Luftschauern durchgeführt werden und somit zum Beispiel die Frage geklärt werden, ob die Gebäudewand an einer Seite der Tonnen aus dieser Richtung eher durch Bildung neuer Schauer die Zählraten erhöht, oder durch Abschirmung die gemessenen Zählraten senkt. Schließlich kann die Datenauswertung noch angenehmer gestaltet werden, indem anstelle von Skripten Programme geschrieben werden, die auch von unerfahrenen Schülern leicht bedient werden können.





# Appendix A

## Appendix



Figure A.1: Impuls aus Tonne 0 mit Doppelspitze, der bei passender Schwellspannung potentiell als 2 Peaks gemessen werden könnte. Eine Einheit in x-Richtung (gepunktete Linien) entspricht dabei 20 ns, und eine Einheit in y-Richtung entspricht 100mV.



Figure A.2: Impuls aus Tonne 1. Eine Einheit in x-Richtung (gepunktete Linien) entspricht dabei 20 ns, und eine Einheit in y-Richtung entspricht 20mV.



Figure A.3: Impuls aus Tonne 3. Eine Einheit in x-Richtung (gepunktete Linien) entspricht dabei 20 ns, und eine Einheit in y-Richtung entspricht 20mV.

```

H1
Quarknet Scintillator Card, Qnet2.5 Vers 1.06 Compiled Oct 10 2007 HE=Help
Serial#=6156 uc_Volts=3.32 GPS_Tempc=0.0 mBar=1012.9

CE - TMC Counter Enable.
CD - TMC Counter Disable.
DC - Display Control Registers, (C0-C3).
WC a d - Write Control Registers, addr(0-6) data byte(h).
DT - Display TMC Reg, 0-3, (1=PipelineDelayRd, 2=PipelineDelayWr).
WT a d - Write TMC Reg, addr(1,2) data byte(h), if a=4 write delay word.
DG - Display GPS Info, Date, Time, Position and Status.
DS - Display Scalar, channel(50-53), trigger(S4), time(S5).
RE - Reset complete board to power up defaults.
RB - Reset only the TMC and Counters.
SP p d - Set Baud,password, 1=19K, 2=38K, 3=57K, 4=115K, 5=230K, 6=460K, 7=920K
SA n - Save setup, 0=(TMC.disable), 1=(TMC.enable), 2=(Restore Defaults).
TH - Thermometer data display (@ GPS), -40 to 99 degrees C.
TL c d - Threshold Level, signal ch(0-3)(4=setAll), data(0-4095mV), TL=read.
Viev - View setup registers(cmd=v1), Voltages(v2), GPS LOCK(v3).
HELP - HE,H1=Page1, H2=Page2, HB=Barometer, HS=Status, HT=Trigger.000

```

Figure 19. A list of keyboard commands viewable by typing "H1."

```

H2
Barometer      Qnet Help Page 2
BA             - Display Barometer trim setting in mvolts and pressure as mBar.
BA d          - Calibrate Barometer by adj. trim DAC ch in mV/its (0-4095mV).
Flash
FL p          - Load Flash with Altera binary file(*.rbf), p=password.
FR            - Read FPGA setup flash, display sumcheck.
FMR p         - Read page 0-3FF(h), (264 bytes/page)
               Page 100h= start fpga *.rbf file, page 0=saved setup.
GPS
NA 0          - Append NMEA GPS data off, (include 1pps data).
NA 1          - Append NMEA GPS data on, (Adds GPS to output).
NA 2          - Append NMEA GPS data off, (no 1pps data).
NM 0          - NMEA GPS display, off, (default), GPS port speed 38400, locked.
NM 1          - NMEA GPS display (RMC + GGA + GSV) data.
NM 2          - NMEA GPS display (ALL) data, use with GPS display applications.
Test Pulsers
TE m          - Enable run mode, 0=off, 1=one cycle, 2=Continuous.
TD m          - Load sample trigger data list, 0=Reset, 1=Singels, 2=Majority.
TV m          - Voltage level at pulse DAC, 0-4095mV, Tv=read.
Serial #
SN p n        - Store serial # to flash, p=password, n=(0-65535 BCD).
SN            - Display serial number (BCD).
Status
ST            - Send status line now. This reset the minute timer.
ST 0          - Status line, disabled.
ST 1 m        - send status line every (m) minutes.(m=1-30, def=5).
ST 2 m        - Include scalar data line, chs S0-S4 after each status line.
ST 3 m        - Include scalar data line, plus reset counters on each timeout.
TI n          - Timer (day hr:min:sec.msec), TI=display time, (TI n=0 clear).
UI n          - Display uart error counter, (UI n=0 to zero counters).
VM 1          - View mode, 0x80=Event_Demarcation_Bit, outputs a blank line.
HB            - View mode returns to normal after 'cd', 'ce', 'st' or 're'.000

```

Figure 20. A list of keyboard commands viewable by typing "H2."

Figure A.4: Liste der möglichen Tastatureingaben für die QuarkNet Elektronik aus [JR10]

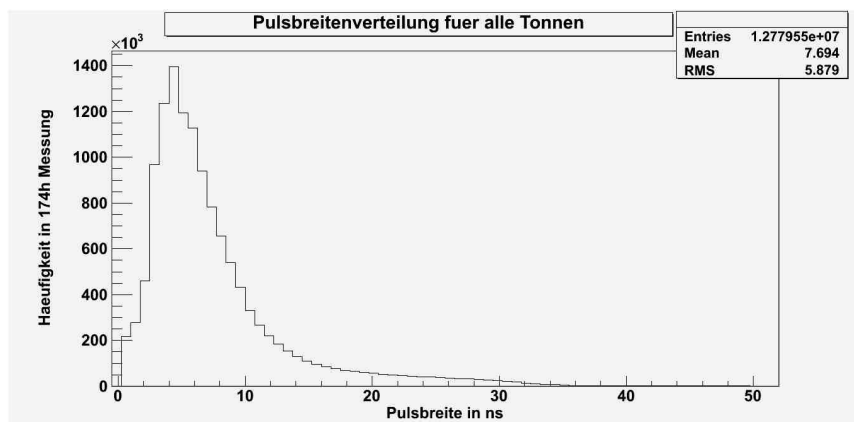


Figure A.5: Pulsbreitenverteilung bei allen Tonnen zusammen

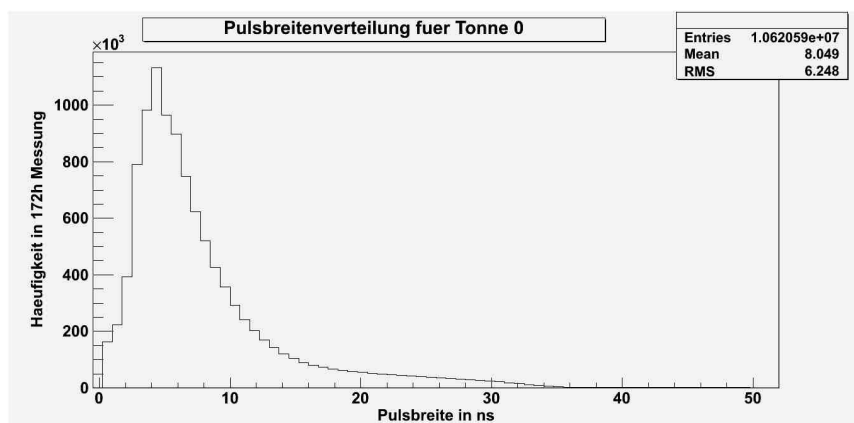


Figure A.6: Pulsbreitenverteilung bei Tonne 0

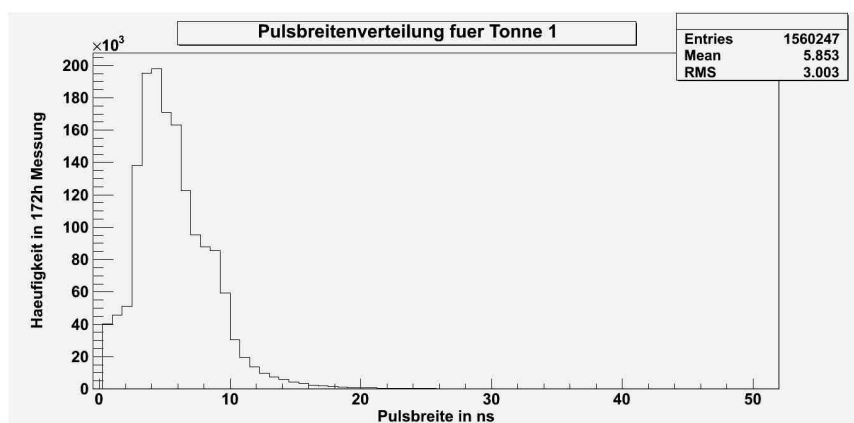


Figure A.7: Pulsbreitenverteilung bei Tonne 1

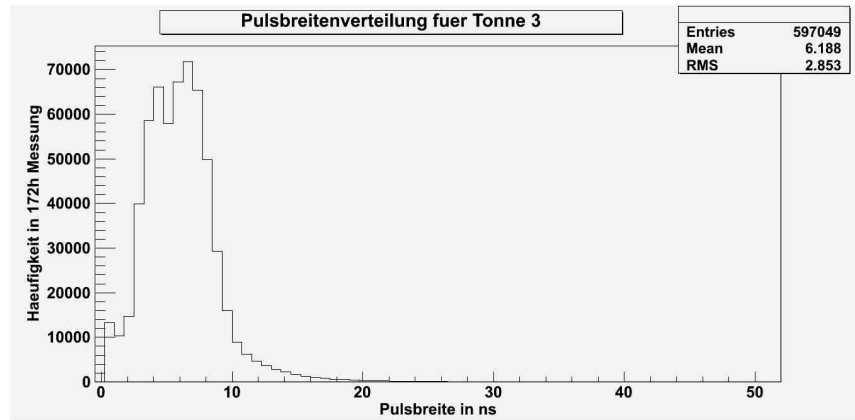


Figure A.8: Pulsbreitenverteilung bei Tonne 3

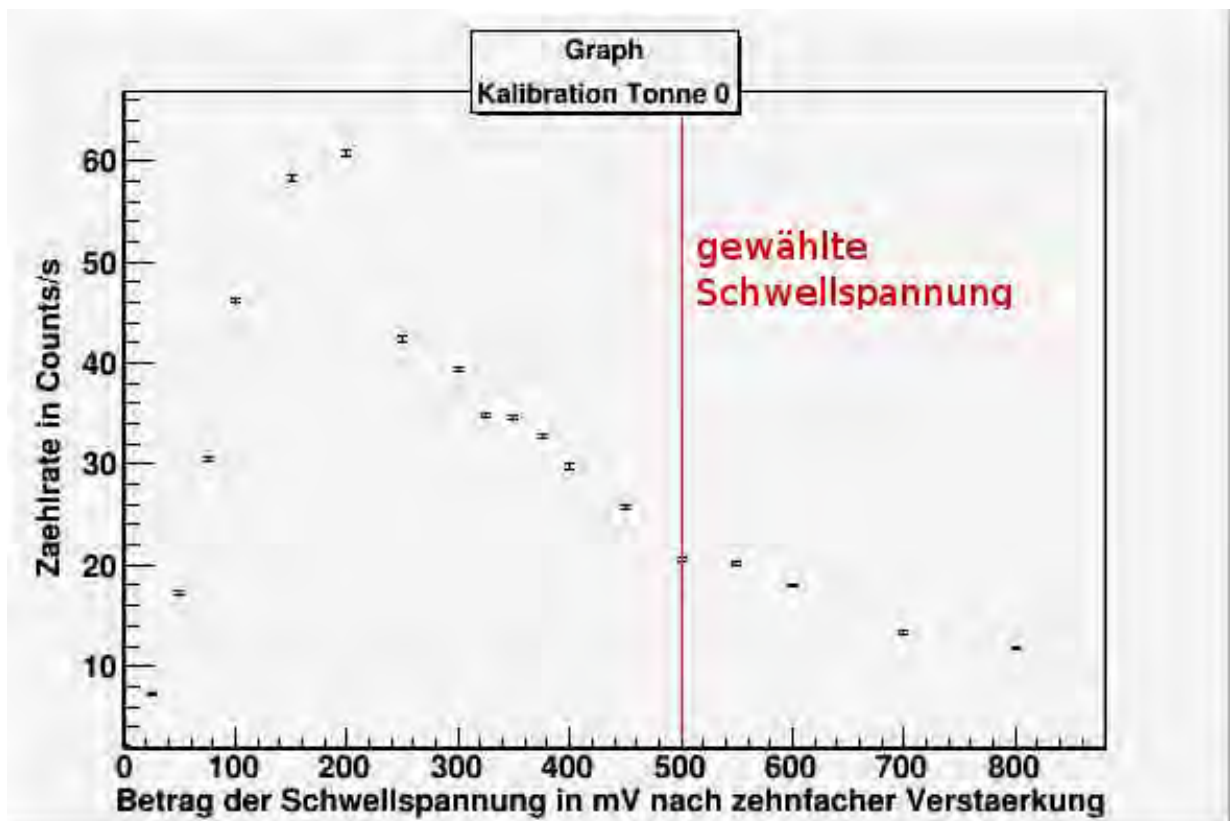


Figure A.9: Kalibrationsmessung für Tonne 0

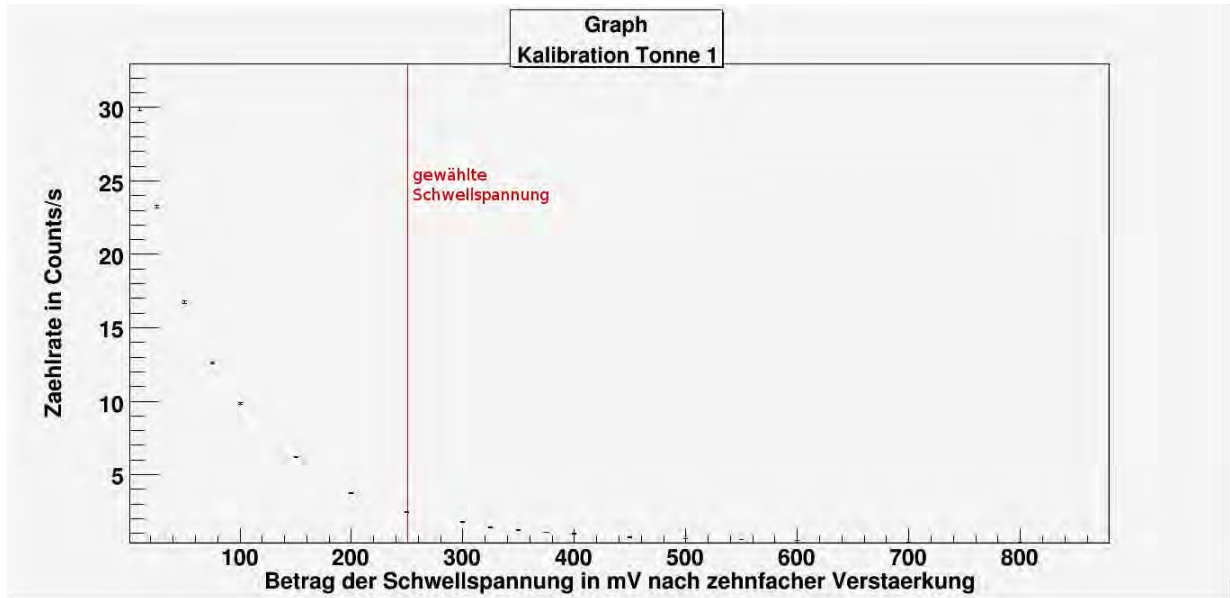


Figure A.10: Kalibrationsmessung für Tonne 1

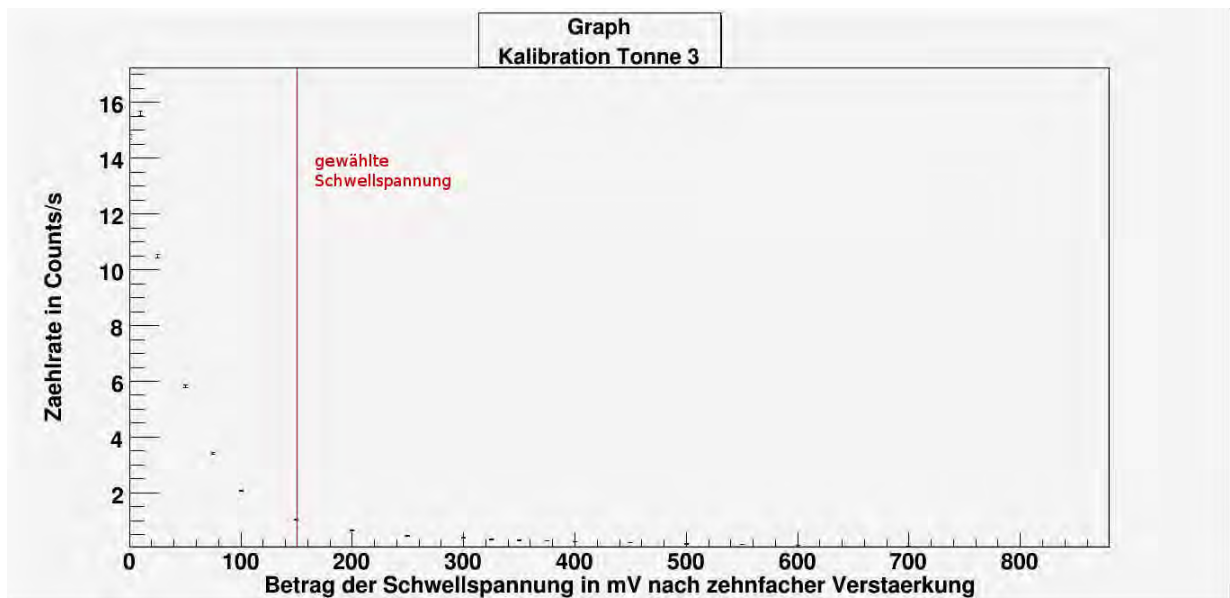


Figure A.11: Kalibrationsmessung für Tonne 3

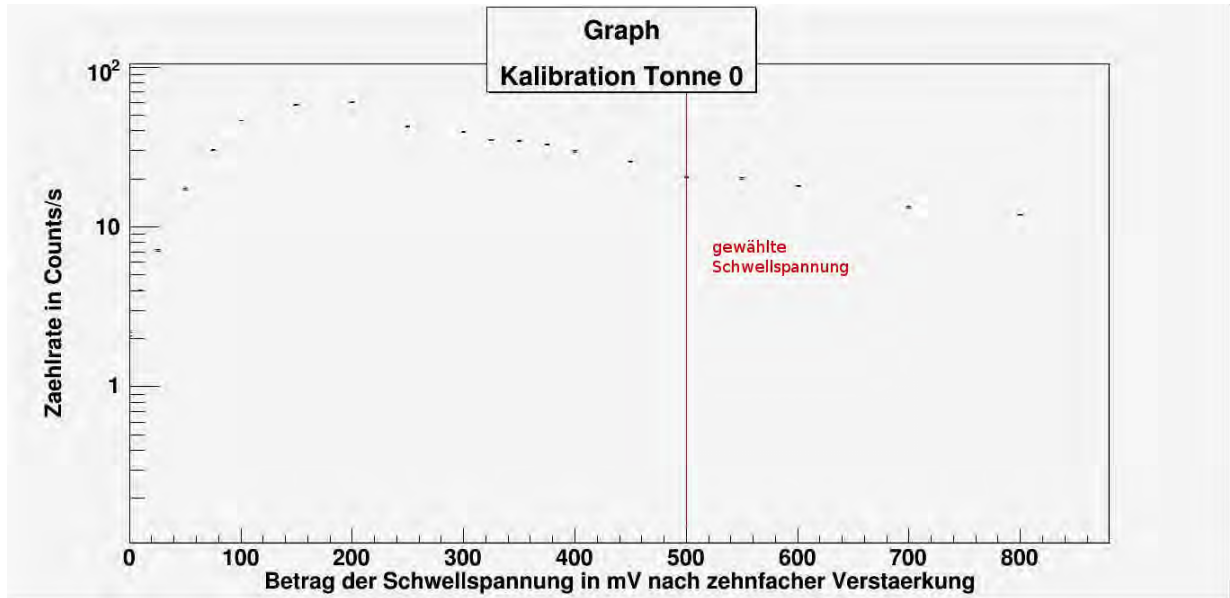


Figure A.12: Kalibrationsmessung für Tonne 0 (logarithmisch)

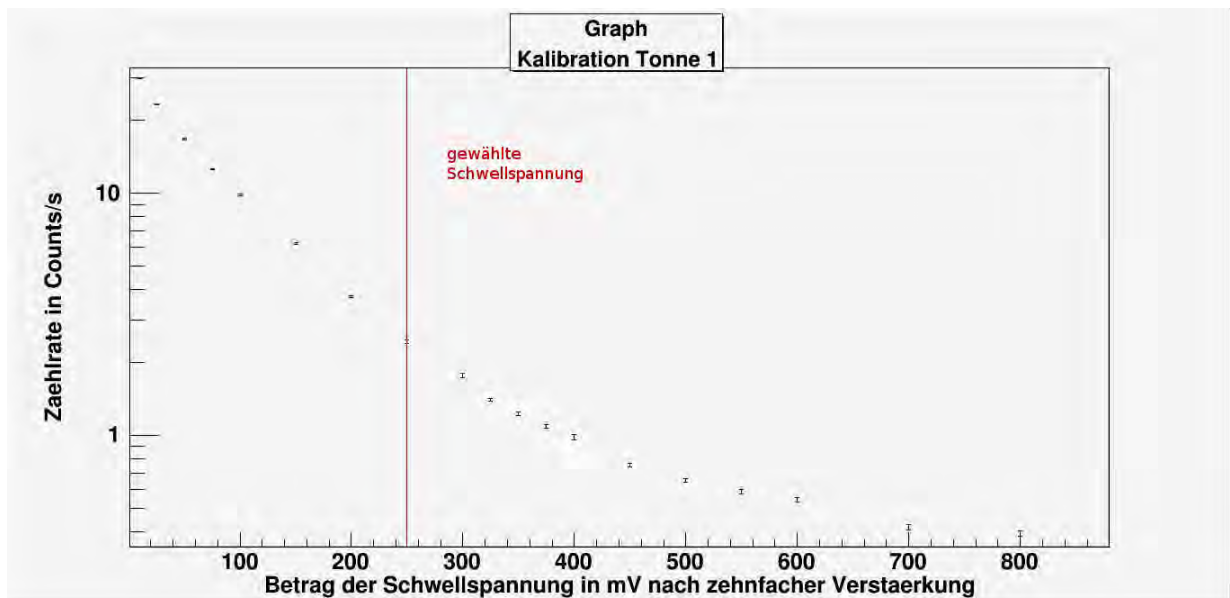


Figure A.13: Kalibrationsmessung für Tonne 1 (logarithmisch)

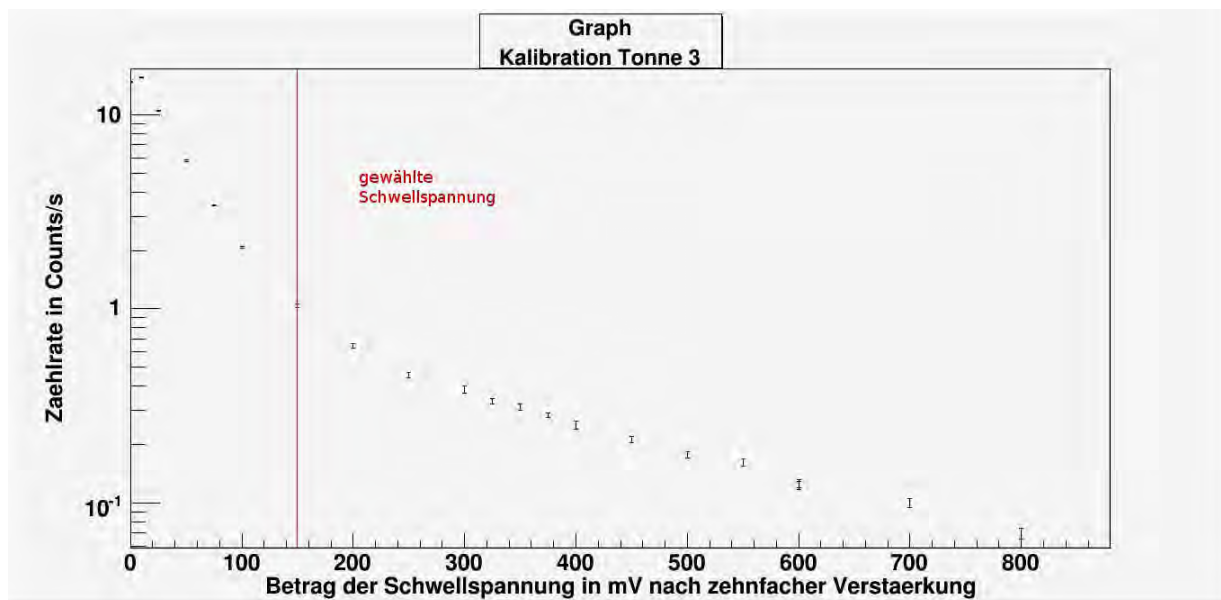


Figure A.14: Kalibrationsmessung für Tonne 3 (logarithmisch)

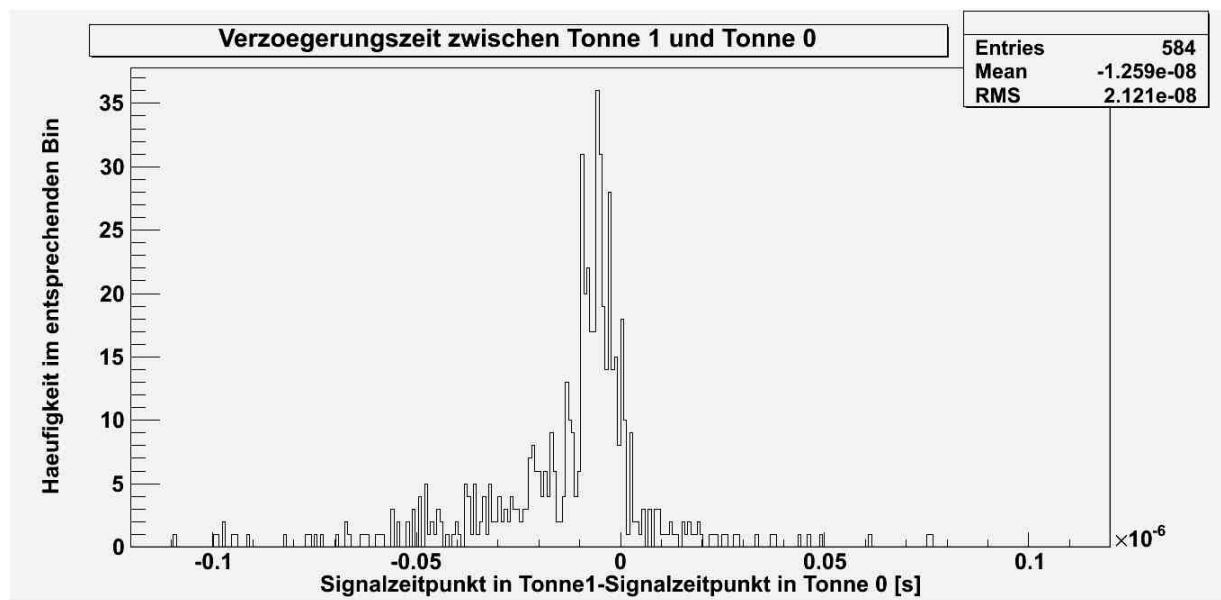


Figure A.15: Plot für die Laufzeitdifferenz zwischen Tonne 1 und Tonne 0



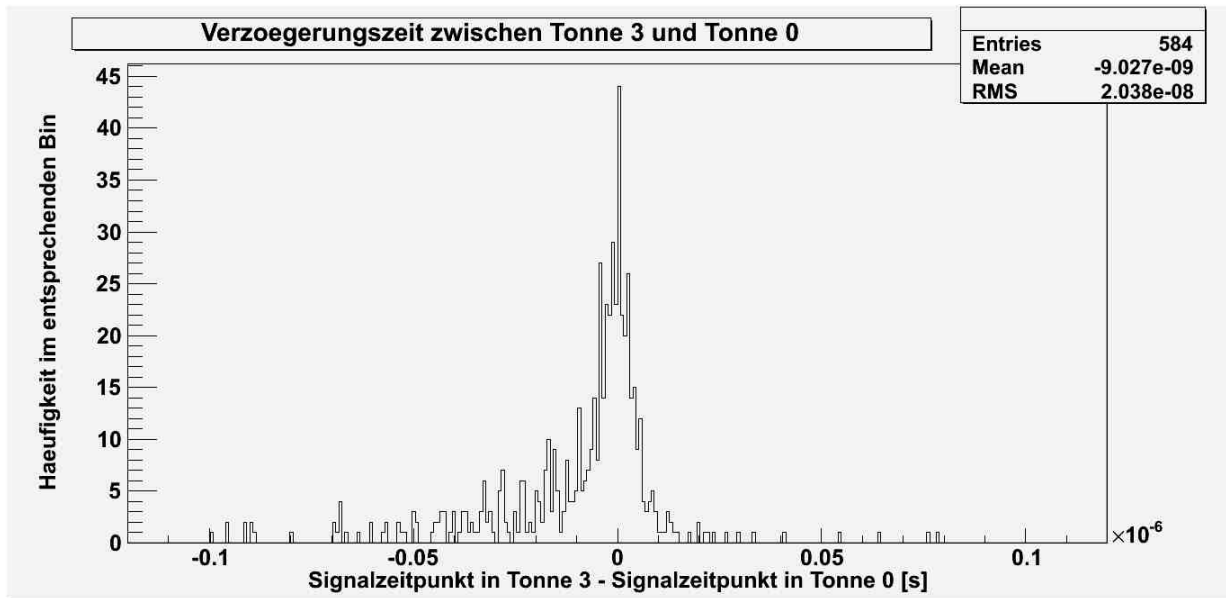


Figure A.16: Plot für die Laufzeitdifferenz zwischen Tonne 3 und Tonne 0

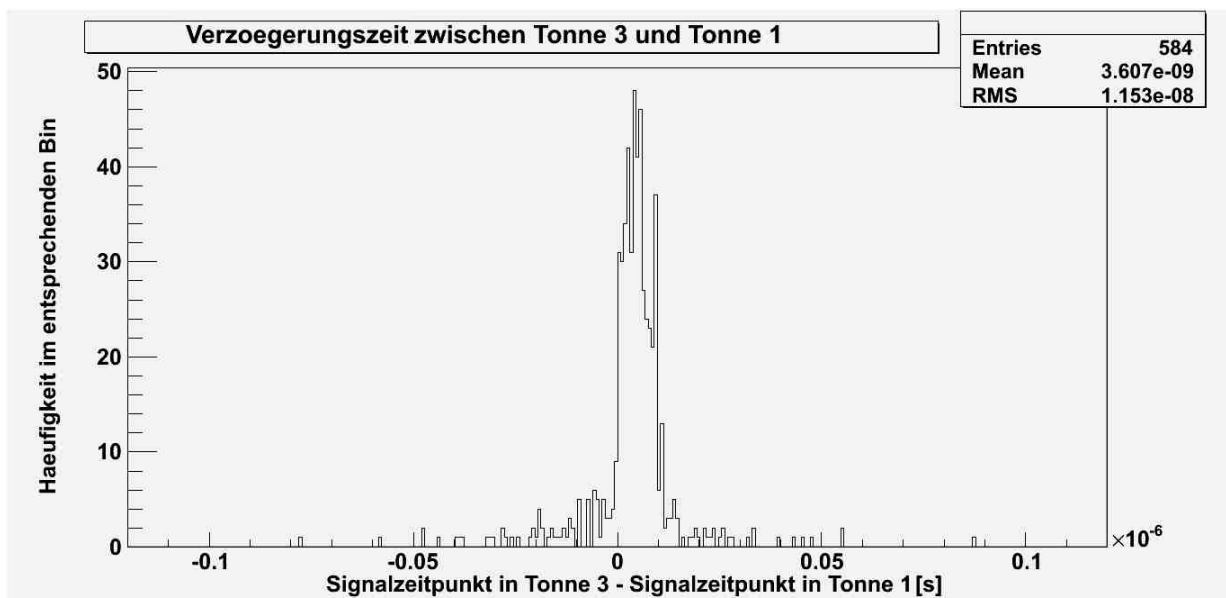


Figure A.17: Plot für die Laufzeitdifferenz zwischen Tonne 3 und Tonne 1

# Bibliography

- [BL10] BENJAMIN LENZ, PHILIPP PAPENBREER: *Protokoll zum Fortgeschrittenenpraktikum Myonenlebensdauer*. 2010.
- [Gru05] GRUPEN, CLAUS: *Astroparticle Physics*. Springer-Verlag, 2005.
- [JR10] JEFF RYLANDER, TOM JORDAN, JEREMY PASCHKE HANS-GERD BERNS: *QuarkNet Cosmic Ray Muon Detector User's Manual Series "6000" DAQ*. 2010.
- [Sky] *Internetseite des Sky-View Projektes*. <http://skyview.uni-wuppertal.de>.
- [Wil09] WILHELM, HAIKO: *Protokoll zum Projektpraktikum SkyView*. <http://astro.uni-wuppertal.de/PPSkyView/index.php?page=lit>, 2009.

# Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel erstellt zu haben.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Wuppertal, den \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Unterschrift