

Analyse der Driftröhren-Datenqualität im OPERA Experiment

(Analysis of the Drift Chamber Data Quality in the OPERA
Experiment)

von

Markus Kaiser

geboren am

20.06.1986

Bachelor-Arbeit im Studiengang Physik
Universität Hamburg

2010

1. Gutacherin: Prof. Dr. Caren Hagner
2. Gutacher: Dr. Björn S. Wonsak

Zusammenfassung

Diese Arbeit ist im Rahmen des OPERA-Experiments geschrieben worden. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt auf den Driftröhren-Daten von OPERA. Die Driftröhrendaten wurden auf Auffälligkeiten und Regelmäßigkeiten hin untersucht. Ein Ziel dieser Arbeit war es Parameter zu finden, die qualitative Aussagen zu diesen Daten ermöglichen. Das Ergebnis dieser Arbeit liegt in der Aufklärung einiger Auffälligkeiten und der Bewertung verschiedener Qualitäts-Parameter.

Abstract

This thesis has been written in the scope of the OPERA-experiment. The focus of the thesis is on the drift tube data of OPERA. The drift tube data has been studied onto regularities and conspicuities. One goal of this thesis was finding parameters that allow qualitative statements on these data. The result of this thesis insists the clarification of some conspicuities and the valuation of several quality parameters.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Das OPERA Experiment	6
2.1	Der CERN Neutrinos to Gran Sasso (CNGS) Neutrinostrahl	6
2.2	Der Detektor	8
2.2.1	Das Target	8
2.2.2	Das Myon-Spektrometer	10
2.3	Der Precision Tracker	12
2.3.1	Funktionsweise der Driftröhren	13
2.3.2	Driftzeit-zu-Ort-Beziehung (DOB)	14
2.3.3	Aufbau des Precison Trackers	16
3	Datenanalyse	18
3.1	Analyse über mehrere Extractions	19
3.1.1	Driftzeitspektren bei unterschiedlichen Signalweiten	20
3.1.2	Driftzeitspektren der Precision Tracker Wände	23
3.1.3	Verteilung der Driftröhrentreffer	26
3.2	Analyse einzelner Extractions	27
3.2.1	RMS und Mean Verteilung	27
3.2.2	Fit des Driftzeitspektrums	30
3.2.3	Peak Auffälligkeiten der Driftzeitspektren	34
4	Zusammenfassung und Ausblick	39
	Abbildungsverzeichnis	44
	Literaturverzeichnis	45

Kapitel 1

Einleitung

OPERA¹ ist ein Experiment zum Nachweis von Neutrinooszillation und gehört somit zum Bereich der Neutrinoophysik. Neutrinooszillation ist ein Konzept, wonach sich die drei Neutrinoarten ineinander umwandeln können. Die Wahrscheinlichkeit dieser Umwandlung hängt periodisch von der Ausbreitung des Neutrinos ab, weshalb man von Oszillation spricht. Die grundlegende Charakteristik dieses Appearance²-Experiments ist es, in dem Strahl aus einer Myon-Neutrino Quelle nach Tau-Neutrinos zu suchen. Im Gegensatz dazu wurde in vielen bisherigen Disappearance-Experimenten lediglich die Verringerung des Neutrinoflusses einer Neutrinoart untersucht. Die Besonderheit der Neutrinooszillation besteht in der Tatsache, dass sie von dem erfolgreichen Standardmodell der Teilchenphysik nicht beschrieben wird. In diesem werden Neutrinos als masselos angenommen, was mit Neutrinooszillation nicht vereinbar ist, da mindestens ein Neutrino zur Oszillation eine von Null verschiedene Masse besitzen muss.

Die Aufgabe dieser Arbeit bestand in der Datenanalyse des Precision-Trackers³ in OPERA. Dabei wurden die Daten auf Auffälligkeiten und Regelmäßigkeiten hin untersucht. Ein Ziel war es Parameter zu bestimmen, mit denen qualitative Aussagen zu Daten dieser Detektorkomponente möglich sind. Zunächst wird im zweiten Kapitel ein Überblick über das Experiment und den Detektor gegeben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Precision-Tracker, welcher an der Universität Hamburg entwickelt wurde. Im dritten Kapitel werden die Vorgehensweisen und die Ergebnisse der einzelnen Analyse-Schritte dargestellt. Schließlich werden im vierten Kapitel die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick gegeben.

¹Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus

²Appearance (engl.): Auftreten, Erscheinen

³Precision Tracker (engl.): Präzisions-Spurdetektor

Kapitel 2

Das OPERA Experiment

Das OPERA-Experiment hat es sich zum Ziel gesetzt, die Neutrinooszillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ direkt nachzuweisen. Dazu wird ein möglichst reiner Strahl von Myon-Neutrinos, die ausreichend hohe Energie zur Erzeugung von Tauonen besitzen, auf den OPERA-Detektor gerichtet. Es wird erwartet, dass sich während der Flugzeit ein kleiner Teil der Myon-Neutrinos durch Neutrinooszillation in Tau-Neutrinos umwandelt. Das Ziel von OPERA ist es, diese Umwandlung nachzuweisen und so ein wichtiges Puzzleteil im Bereich Neutrinooszillation zu liefern. Im Detektor reagiert ein entstandenes Tau-Neutrino über geladene Ströme zu einem Tau-Lepton und weiteren Reaktionsprodukten. Das Tau hat eine extrem kurze Lebensdauer und zerfällt nach einigen Millimetern. Bei diesem Zerfall entsteht wieder mindestens ein Neutrino, welches vom Detektor nicht gesehen wird, wodurch die detektierte Teilchenspur einen “Knick” aufweist. Anhand dieses speziellen Zerfallscharakters lässt sich die Neutrinooszillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ direkt nachweisen. In diesem Kapitel wird ein Überblick über das Experiment und die Funktionsweise des Detektors gegeben.

2.1 Der CERN Neutrinos to Gran Sasso (CNGS) Neutrinostrahl

Die Quelle des Neutrino-Strahls befindet sich am CERN¹, wo ein hochreiner Strahl aus Myon-Neutrinos produziert und auf das „Laboratori Nazionali del Gran Sasso“(LNGS), dem Standort von OPERA, gerichtet wird. Zur Produktion der Myon-Neutrinos werden mithilfe des Super-Proton-Synchrotron(SPS) Beschleunigers hochenergetische Protonen

¹<http://www.cern.ch>

auf ein Graphit-Target² geschossen. Bereits vor dem Erreichen des Targets wird der Protonenstrahl auf das LNGS gerichtet. Bei der Wechselwirkung mit dem Target entstehen hauptsächlich positiv geladene Pionen und Kaonen. Durch ein magnetisches Linsensystem werden negativ geladene Sekundärteilchen herausgefiltert, während die Pionen und Kaonen zu einem Strahl fokussiert werden. Dieser Strahl durchfliegt einen etwa 1000 m langen evakuierten Zerfallstunnel. Beim Durchfliegen des Tunnels zerfällt ein Teil der Pionen und Kaonen zu Myonen und Myon-Neutrinos. Am Ende des Tunnels werden zunächst die restliche Protonen, Pionen und Kaonen im sogenannten Hadronen Stop absorbiert, woraufhin der Strahl ins Gestein eintritt. Innerhalb des Gesteins werden die Myonen absorbiert, wohingegen die Myon-Neutrinos das Gestein passieren und weiter zum LNGS fliegen. Die Flugbahn der Myon-Neutrinos ist in Abbildung 2.1 schematisch dargestellt. Die Distanz, die die Myon-Neutrinos zurücklegen, beträgt circa 732 km, was einer Flugzeit von etwa 2,4 ms entspricht. Es ist entscheidend für die Aussagekraft des Experiments, die Neutrino-Quelle sehr genau zu verstehen. So ist etwa die geringe Kontamination des Strahls mit anderen Neutrinoarten genau bekannt, wobei die Kontamination mit Tau-Neutrinos vernachlässigbar ist. Für weitergehende Informationen zum CNGS Strahl sei auf die Quelle [1] verwiesen.

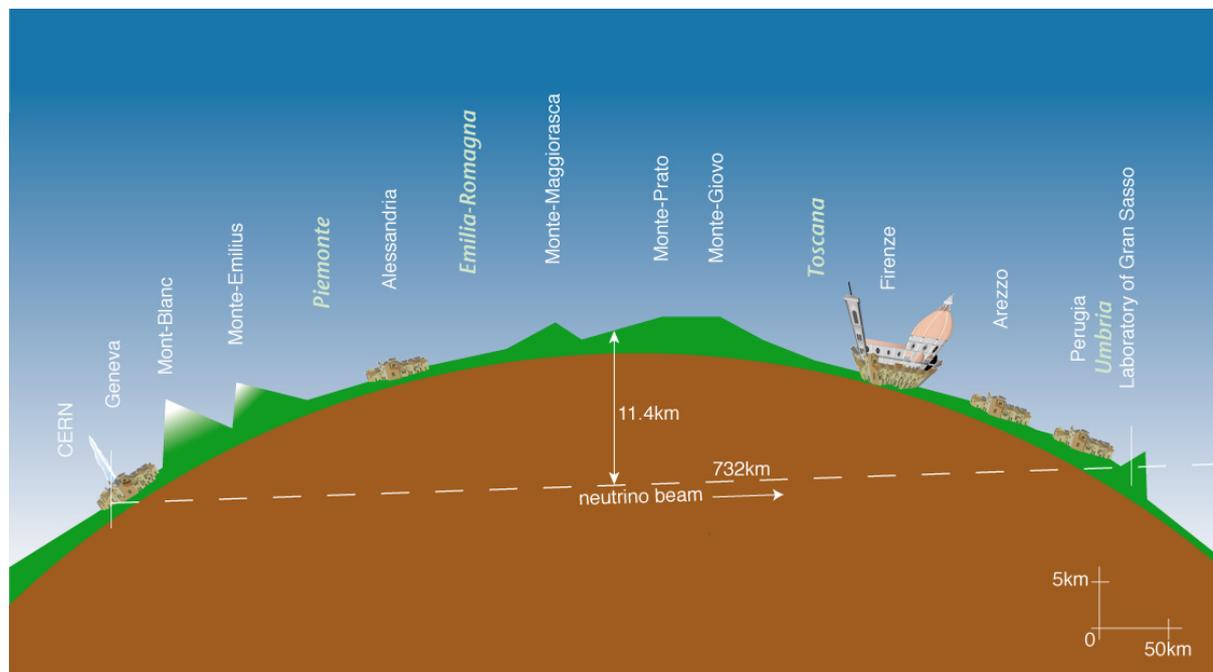


Abbildung 2.1: Die Abbildung zeigt die schematische Flugbahn der Neutrinos vom CERN zum LNGS (Quelle: [1])

²Target (engl.): Ziel

2.2 Der Detektor

Der Detektor besteht aus zwei nahezu identischen Modulen. Diese sind in Strahlrichtung hintereinander angeordnet und werden Supermodule genannt. Ein Supermodul besteht wiederum aus zwei funktionell unterschiedlichen Bereichen. Der Bereich auf den der Neutrino-Strahl zuerst trifft, ist der sogenannte Target-Bereich. Hier wechselwirken die Neutrinos mit dem Target, welches aus Blei besteht. Zum Nachweis der Zerfälle dienen Emulsionen. Der zweite Bereich besteht aus einem Myonen-Spektrometer, welches zur kinematischen Analyse dient. Die Abbildung 2.2 zeigt einen schematischen Aufbau des OPERA-Detektors. Im Folgenden werden der Targetbereich und das Myon-Spektrometer genauer beschrieben.

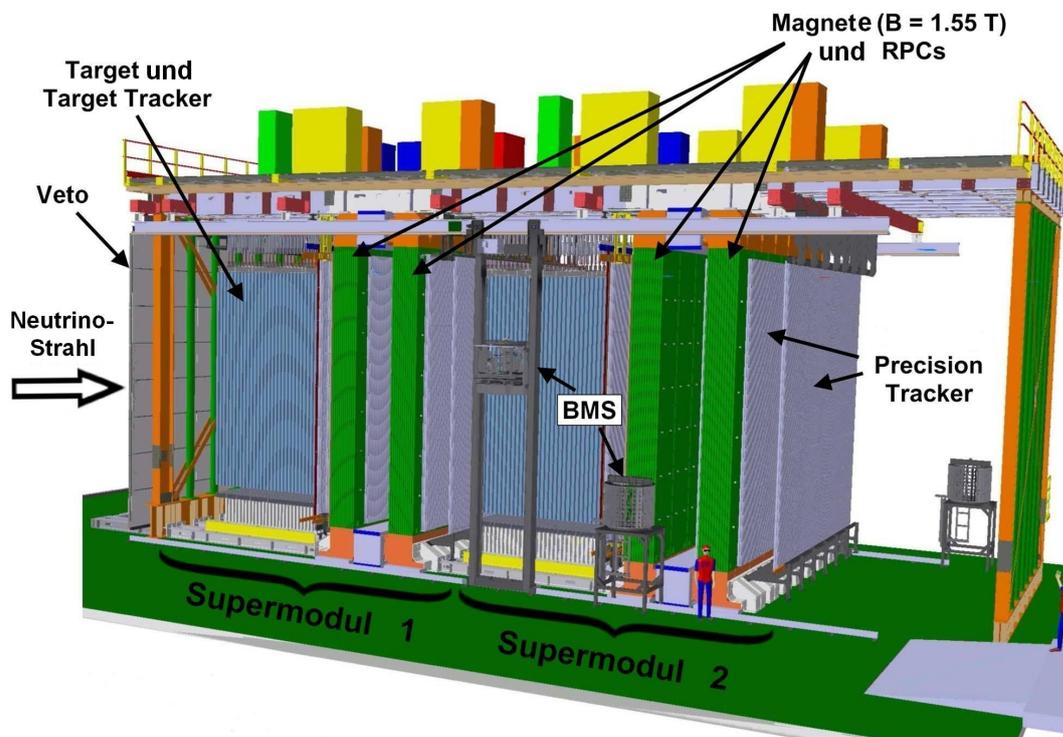


Abbildung 2.2: Die Abbildung zeigt einen schematischen Aufbau des OPERA Detektors. Erkennbar sind die beiden Supermodule mit ihren jeweiligen Targetbereich und dem Spektrometer. (Quelle: [2])

2.2.1 Das Target

Im Targetbereich werden Emulsion-Cloud-Chambers³ verwendet. Diese bestehen aus sich abwechselnden Schichten von Blei und Plastikträgern, auf die beidseitig eine Emulsions-

³Emulsion-Cloud-Chamber (engl.): Emulsions-Nebelkammer

schicht aufgetragen wurde. Mit dem Blei sollen die Neutrinos wechselwirken, während die Emulsionsschichten zum Nachweis dieser Reaktionen dienen. Die Emulsionsschichten enthalten den fotosensitiven Stoff Silberbromid (AgBr). Beim Durchgang eines geladenen Teilchens werden die Silberatome ionisiert und die Emulsionsschichten lassen sich fotografisch entwickeln. Es werden jeweils 56 Blei-Schichten und 57-Emulsions-Schichten zu einem sogenannten Brick⁴ zusammengefasst und mit Aluminium ummantelt. Auf der, in Strahlrichtung gesehen, Rückseite der Bricks gibt es noch zwei weitere Emulsionsschichten, die sich zusammen Changeable Sheet⁵ nennen. Diese Schicht wird bei der Entnahme eines Bricks zuerst untersucht, um festzustellen, ob sich die Teilchenspur tatsächlich in diesem Brick befindet. In Abbildung 2.3 sind ein Brick und ein typischer Tau-Zerfall schematisch dargestellt. Es gibt pro Supermodul 31 Target-Wände mit jeweils 64 übereinanderliegenden Reihen a 52 Bricks, wobei nur die ersten 29 Wände eines Supermoduls mit Bricks gefüllt sind. Insgesamt wurden knapp 150000 Bricks hergestellt, was einer Target-Masse von etwa 1,3 kT entspricht. Die Extraktion der Bricks wird von einem Robotersystem (BMS⁶) ausgeführt.

Aus den Bricks selbst erhält man keine Informationen, ob eine Wechselwirkung stattgefunden hat, weswegen es zusätzlich Target-Tracker gibt. Dabei handelt es sich um Plastikszintillatorenstreifen, die sich in vier horizontal und vier vertikal angeordneten Modulen jeweils hinter den Target-Wänden befinden. Diese decken die gesamte Targetfläche ab und weisen eine Trigger⁷-Effizienz von über 99% auf. Die Szintillatorenstreifen werden dabei mit Hilfe von 64-Kanal Photomultipliern ausgelesen. Die Ortsauflösung beträgt etwa 1,5 cm, woraus sich eine Wahrscheinlichkeit von 80%, den richtigen Brick zu identifizieren, ergibt [3].

⁴brick (engl.): Ziegel

⁵changeable sheet (engl.): auswechselbare Lage

⁶BMS: Brick Manipulator System

⁷Trigger (engl.): Auslöser

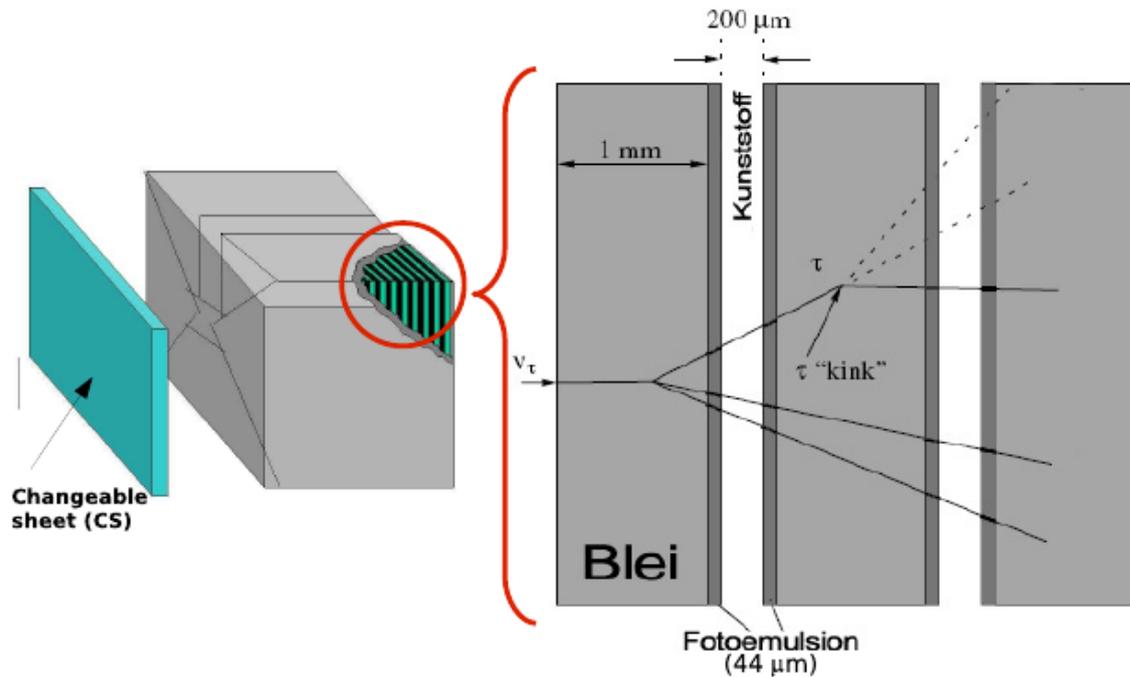


Abbildung 2.3: Die Abbildung zeigt im linken Teilbild den schematischen Aufbau eines Bricks mit wechselnden Blei- und Emulsionsschichten. Im rechten Teilbild ist eine typische Wechselwirkung des Tau-Neutrinos mit anschließendem Tau-Zerfall im Brick dargestellt. Die Strahlrichtung ist im linken Teilbild von rechts nach links. (Quelle: [8])

2.2.2 Das Myon-Spektrometer

In Strahlrichtung hinter dem Targetbereich befindet sich das Myon-Spektrometer. Aufgabe des Myon-Spektrometers ist es, den Impuls und das Ladungsvorzeichen der langreichweitigen Teilchen, speziell der Myonen, zu bestimmen. Das Myon-Spektrometer besteht aus mehreren Komponenten. Eine Komponente des Spektrometers stellt ein Dipolmagnet mit Eisenkern da. Weitere Komponenten sind RPCs⁸, XPCs⁹ und der Precision Tracker.

Der Eisenkern besteht aus zwei Wänden, die senkrecht zur Strahlrichtung aufgestellt sind. Die Wände wiederum bestehen aus 12 Eisenplatten. Zwei Spulen ober- und unterhalb dieser Wände erzeugen ein Magnetfeld, so dass das Magnetfeld in einer Wand aufwärts und in der anderen Wand abwärts gerichtet ist. Das Magnetfeld in den Eisenplatten beträgt etwa 1,55 Tesla. Wenn ein geladenes Teilchen die Wände durchquert, wird es aufgrund der Lorentzkraft abgelenkt. Diese Ablenkung findet in den beiden Wänden genau entgegengesetzt statt. Vernachlässigt man Energieverluste, so verlässt das Teilchen den

⁸RPC; Resistive Plate Chamber (engl.): Widerstandsplattenkammer

⁹XPC; crossed RPC, crossed (engl.): gekreuzt

Magneten unter gleichem Winkel wie beim Auftreffen auf den Magneten. Allerdings wird das Teilchen, aufgrund der Flugstrecke zwischen den Magnetwänden, den Magneten leicht versetzt verlassen. Aus dieser Strecke und der Änderung des Winkels nach einer Magnethälfte lässt sich der Impuls transversal zum Magneten berechnen [8].

Zwischen den Eisenplatten einer Wand befinden sich jeweils RPCs. Diese ermöglichen die Spurrekonstruktion innerhalb des Magneten. Die RPCs bestehen aus zwei parallel angeordneten Bakelit-Elektrodenplatten, zwischen denen eine Hochspannung von 5,8 kV angelegt ist [6]. Dazwischen befindet sich ein Hohlraum, der mit einem Driftgas-Gemisch gefüllt ist. Beim Durchgang eines geladenen Teilchens können Atome und Moleküle des Gases ionisiert werden. Das elektrische Feld sorgt dafür, dass die Ionen zu den Elektroden hin beschleunigt werden. Die RPCs werden dabei im sogenannten Streamer-Modus betrieben. Diese Modus zeichnet sich durch eine hohe Gasverstärkung aus, so dass es im Bereich eines Teilchendurchgangs zu einer kurzen Dauerentladung zwischen den Elektroden kommt [6]. An der Rückseite der Elektroden befinden sich Kupferstreifen, über die das Signal ausgelesen werden kann. Dabei sind die Kupferstreifen orthogonal zueinander aufgebracht, damit man letztendlich ein dreidimensionales Bild der Teilchenspur erhält.

Es gibt zusätzlich direkt hinter dem Target sowie direkt vor dem Magneten XPCs. Im Unterschied zu den RPCs bestehen ihre Widerstandsplatten aus Glas. Desweiteren sind ihre Ausleseelektroden, im Vergleich zu den RPCs, um $42,61^\circ$ gegenüber der Horizontalen verkippt.

Die letzte Komponente des Spektrometers umfasst den Precision-Tracker, der aus Driftrohren besteht und eine sehr genaue Ortsauflösung der Teilchenspuren ermöglicht. Auf diesen wird im Abschnitt 2.3 eingegangen.

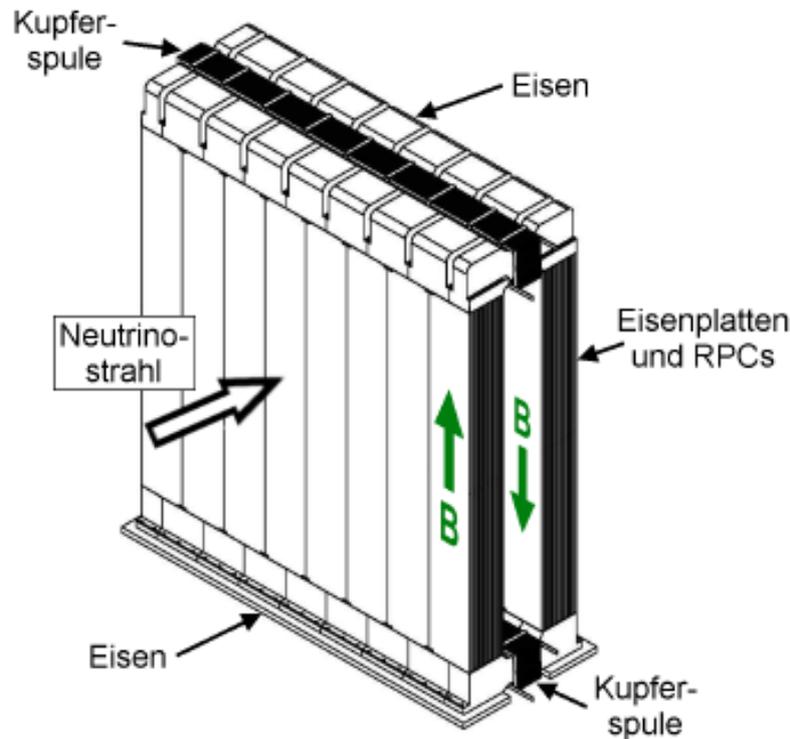


Abbildung 2.4: Die Abbildung zeigt den schematischen Aufbau des Spektrometers ohne die Driftröhren

Das Veto

In Strahlrichtung vor dem Detektor befindet sich das sogenannte Veto. Das Veto besteht aus zwei Lagen Glas-RPCs, die die gesamte Detektorfläche überdecken. Das Veto sorgt dafür, dass unterschieden werden kann, ob ein geladenes Teilchen erst im Detektor oder bereits vorher entstanden ist. Wird im Veto ein geladenes Teilchen detektiert, muss dieses aus einer Reaktion außerhalb des Detektors entstanden sein. Diese Teilchen sollen vom Detektor nicht weiter beachtet werden, da sie für das Experiment nicht von Interesse sind. Mit Hilfe des Vetos lässt sich so die Anzahl der unnötig extrahierten Bricks reduzieren [7].

2.3 Der Precision Tracker

Der Precision Tracker wird dazu eingesetzt, die horizontalen Koordinaten der Myonen-Spuren zu ermitteln. Aufgebaut ist der Precision-Tracker aus insgesamt 9504 Driftröhren. Die Driftröhren haben eine zylindersymmetrische Form von etwa 8 m Länge und 38 mm Durchmesser. Zunächst wird in diesem Abschnitt auf die Funktionsweise der Driftröhren

eingegangen. Anschließend wird die Driftzeit-zu-Ort-Beziehung erörtert. Schließlich wird der Aufbau des Precision Trackers beschrieben.

2.3.1 Funktionsweise der Driftröhren

Das Prinzip der Driftröhren ähnelt dem der Driftkammer eines Geiger-Müller-Zählrohres. Die Driftröhre besteht aus einem elektrisch leitfähigem Rohr und einem Draht in der Mitte des Rohres. Draht und Röhre bilden die Elektroden, zwischen denen eine Hochspannung angelegt wird. Das Rohr dient dabei als Kathode und der Draht als Anode. Gefüllt wird die Driftröhre mit einem Driftgas, welches aus Argon (Ar) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) besteht. Beim Durchgang eines geladenen Teilchens durch die Röhre werden Atome bzw. Moleküle des Driftgases ionisiert und bilden kleine Gruppen, sogenannte Ionisationscluster¹⁰. Die entstehenden Ladungsträger driften, aufgrund des starken elektrischen Feldes, zu den entsprechenden Elektroden. Die Elektronen driften zum Draht, während die positiv geladenen Atomrümpfe zur Röhrenwand driften. Auf dem Driftweg der Elektronen kommt es, durch Stoßreaktionen, zu weiteren Ionisationen. Dadurch werden die Elektronen lawinenartig vervielfacht, was am Ende des Drahtes zu einem gut messbaren Signal führt.

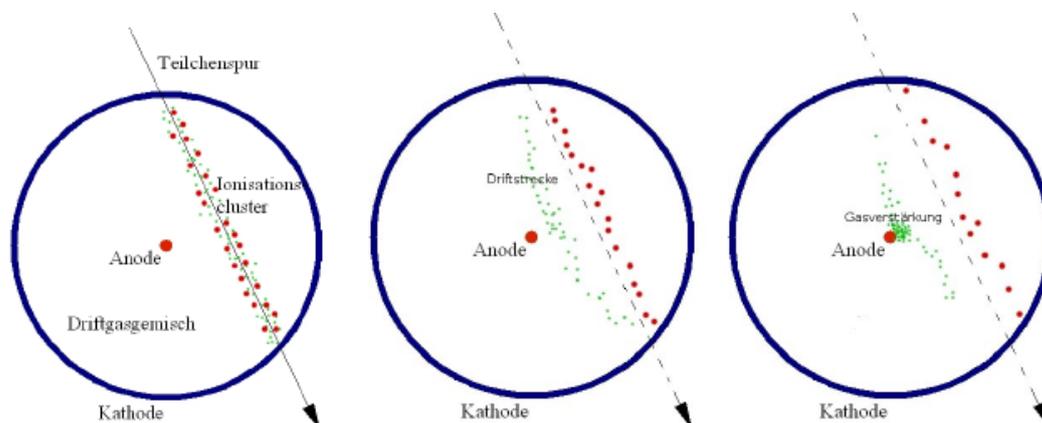


Abbildung 2.5: Die Abbildung zeigt den prinzipiellen Ablauf beim Durchgang eines geladenen Teilchens durch die Driftröhre. Links sieht man die Primäriionisationen, die nach dem Durchgang eines geladenen Teilchens entstehen. Das Bild in der Mitte zeigt, wie die entstehenden Elektronen (grün) und positiv geladenen Atomrümpfen (rot) zu den Elektroden driften. Rechts zeigt sich schließlich, dass es in Drahtnähe lawinenartig zu weiteren Ionisationen durch die Elektronen kommt.

¹⁰cluster (engl.): Gruppe, Haufen

Mit den Driftröhren soll aber nicht nur der Durchgang eines Teilchens gemessen werden, sondern auch der minimale Abstand der Teilchenspur zum Draht. Dazu benötigt man ein Trigger-Signal, das angibt, wann ein Teilchen durch die Driftröhre geflogen ist. Im Detektor wird das Trigger-Signal von den XPCs und RPCs gestellt. Damit ergibt sich aus der Zeitdifferenz des Trigger-Signals und der steilen Flanke des Draht-Signals die Driftzeit. Aus dieser lässt sich nun der minimale Abstand bestimmen, was im nächsten Abschnitt beschrieben ist.

2.3.2 Driftzeit-zu-Ort-Beziehung (DOB)

In diesem Abschnitt soll dargestellt werden, wie sich aus der gemessenen Driftzeit eine Driftstrecke ergibt. Dabei folgt dieser Abschnitt insbesondere den jeweiligen Kapiteln der Quellen [8] und [4]. Die Driftzeit ist, wie bereits erwähnt, die Zeitdifferenz zwischen dem Trigger-Signal und der steilen Flanke des Draht-Signals. Mit dieser Driftzeit soll nun eine Aussage über die Entfernung r der drahtnächsten Primärionisation zum Draht gemacht werden. Um die DOB zu erhalten, muss das Driftverhalten der Elektronen bekannt sein. Die Driftzeit der Elektronen hängt zum Einen von der Beschleunigung durch das elektrische Feld und zum Anderen von der Abbremsung durch Stöße mit Gas-Atomen bzw. Gas-Molekülen ab. Das elektrische Feld innerhalb der Driftröhre am Ort r ist gegeben durch:

$$E(r) = \frac{U}{\ln\left(\frac{r_b}{r_a}\right)} \frac{1}{r} \quad (2.1)$$

wobei U der Spannung zwischen den Elektroden, r_a dem Anodenradius und r_b dem Kathodenradius entspricht. Es lässt sich zeigen, dass die Driftgeschwindigkeit v_D von zwei Parametern abhängt. Diese sind der effektive Wirkungsquerschnitt $\sigma(e)$ und der mittlere Energieverlust pro Stoß $\lambda(e)$ und hängen ihrerseits von der mittleren Elektronenenergie e ab. Es ergibt sich für die Driftgeschwindigkeit:

$$v_D^2 = \frac{eE}{mN\sigma(e)} \sqrt{\frac{\lambda(e)}{2}} \quad (2.2)$$

Hierbei ist m die Elektronenmasse und $N = \frac{N_0\rho}{A}$ die effektive Teilchendichte, die von der Avogadrokonstanten N_0 , der Molmasse A und der Dichte des Gases ρ abhängt. Da es im Allgemeinen nicht möglich ist, diese Parameter für ein spezielles Gasgemisch theoretisch vorherzusagen, müssen die Driftröhren für die Ortsmessung kalibriert werden. Für diese

Betrachtung geht man von einer homogen mit Teilchenspuren ausgeleuchteter Driftröhre aus. Dies bedeutet, dass zu jedem Ort r gleich viele Einträge N Teilchenspuren gibt.

$$\frac{dN}{dr} = const = \frac{N_{tot}}{r_{tot}} \quad (2.3)$$

Hierbei ist dN die Anzahl der Teilchenspur die im Intervall $[r, r+dr]$ die Driftröhre durchflogen haben, N_{tot} die Gesamtanzahl aller Teilchenspuren und r_{tot} der Driftröhrenradius. Die Driftgeschwindigkeit der Elektronen ist gegeben durch:

$$v_D = \frac{dr}{dt} = \frac{dr}{dN} \cdot \frac{dN}{dt} = \frac{r_{tot}}{N_{tot}} \cdot \frac{dN}{dt} \quad (2.4)$$

Die Häufigkeitsverteilung der Driftzeiten, also $\frac{dN}{dt}$, wird Driftzeitspektrum genannt. Dieses wurde am Teststand in Hamburg aufgenommen. Ein typisches Driftzeitspektrum der OPERA-Driftröhren ist in Abbildung 2.6 dargestellt. Dabei sind die regelmäßigen Zacken ein Effekt, der durch die Wahl der Bin¹¹-Größe entsteht. Die Bingröße steht hier für die breite einer Säule des Histogramms.

Wenn man nun die Driftgeschwindigkeit über alle Driftzeiten integriert, erhält man die DOB:

$$r(t) = \int_0^{t_D} v_D(t) dt = \frac{r_{tot}}{N_{tot}} \int_0^{t_D} \frac{dN}{dt} dt \quad (2.5)$$

Bei der Kalibrierung hat sich herausgestellt, dass sich die DOB für die Driftröhren des OPERA-Experiments gut durch

$$r(t) \approx p_0 \cdot (t + p_1)^{p_2} \quad (2.6)$$

approximieren lässt. Diese Näherung wird in der späteren Analyse auch für einen Fit benutzt.

¹¹Bin (engl.): Behältnis

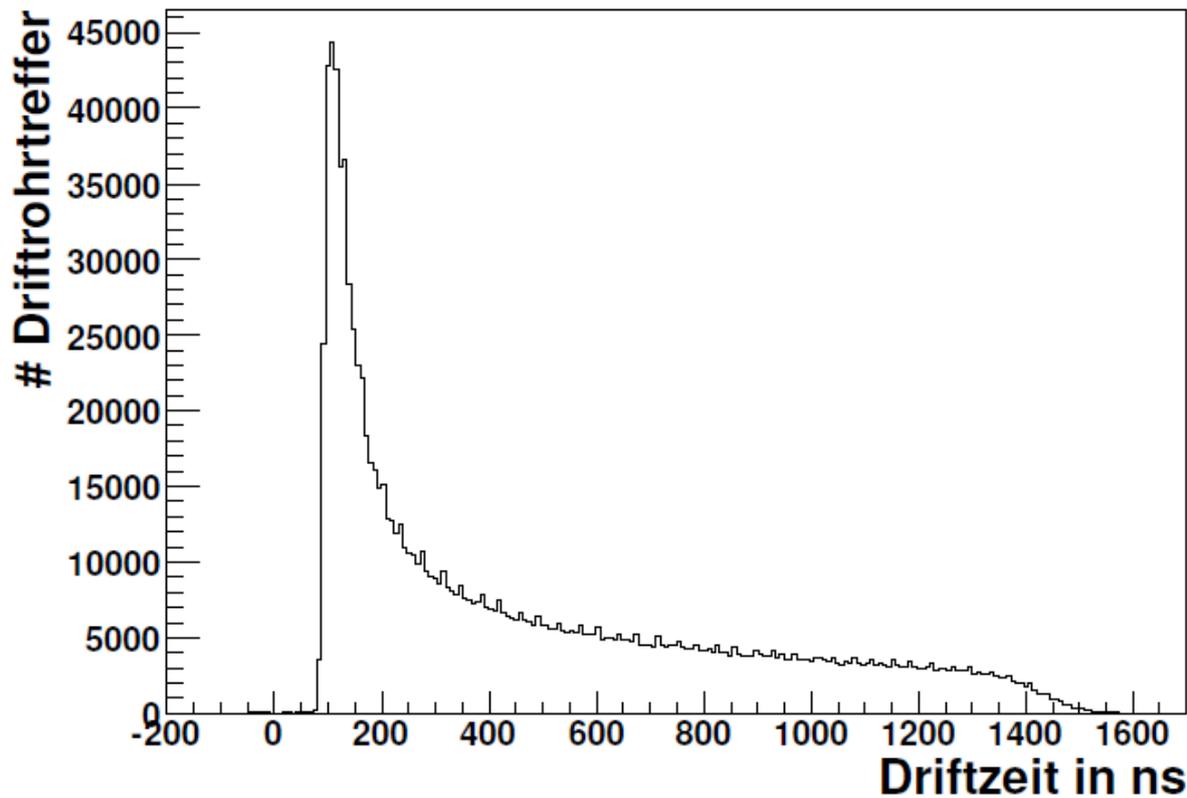


Abbildung 2.6: Die Abbildung zeigt ein typisches Driftzeitspektrum. Das Spektrum wurde am Teststand in Hamburg im Jahre 2007 aufgenommen. (Quelle: [8])

2.3.3 Aufbau des Precision Trackers

Mit einer einzigen Driftröhre lässt sich noch keine Teilchenspur rekonstruieren. Deswegen werden mehrere Driftröhren zu einem sogenannten Modul angeordnet, welches in Abbildung 2.7 dargestellt ist. Ein Modul besteht aus 48 Driftröhren, die zu vier Lagen mit jeweils 12 Driftröhren angeordnet sind. Die ersten beiden und die letzten beiden Lagen sind jeweils um 21 mm gegeneinander verschoben, so dass diese Lagen möglichst dicht gepackt sind. Diese Doppellagen sind wiederum um 11 mm gegeneinander verschoben. Diese Anordnung wurde so gewählt, dass beim Durchgang eines Teilchens aus Strahlrichtung eine möglichst hohe Akzeptanz erreicht wird.

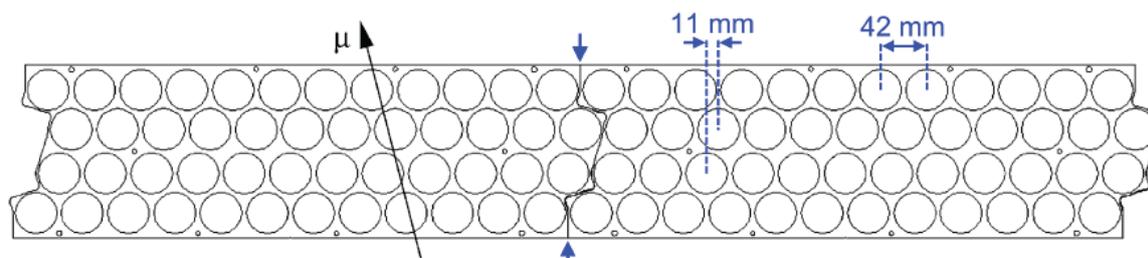


Abbildung 2.7: Die Abbildung zeigt eine schematische Draufsicht auf zweier Driftröhrenmodule des Precision Trackers. Die Pfeile zeigen die Grenze zwischen den beiden Modulen. (Quelle:[2])

Insgesamt gibt es 12 Precision-Tracker-Wände (PT), wobei sich in jedem Supermodul sechs PT befinden, die, in Strahlrichtung gesehen, von vorne nach hinten durchnummeriert werden. Die PT sind aus 17 bzw. 15 (PT 1, 7 und 8) nebeneinanderstehenden Modulen aufgebaut. Es befinden sich immer zwei PT (PT-Dublett) vor, innerhalb und hinter dem Magneten, wie in Abbildung 2.8 dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die jeweiligen Trigger zu den PT-Dubletts dargestellt. Zu jedem Dublett gibt es eine Triggerstation, die aus drei RPC-Ebenen bzw. vor dem Magneten aus zwei XPC-Ebenen und einer RPC-Ebene besteht. Besteht eine 2-von-3-Koinzidenz einer Triggerstationen eines Supermoduls, so werden alle Driftröhren-Daten des Supermoduls ausgelesen.

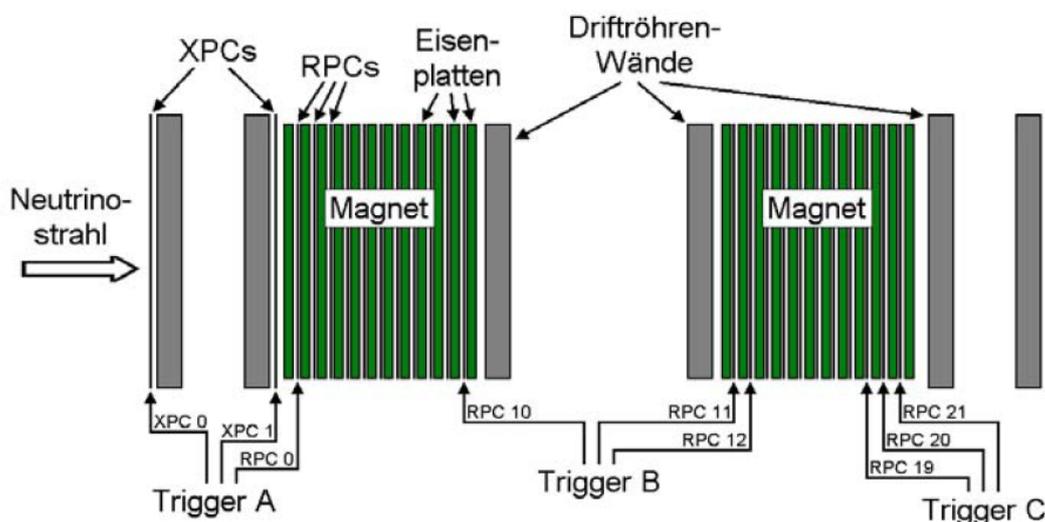


Abbildung 2.8: Die Abbildung zeigt eine schematische Seitenansicht des Spektrometers. Dargestellt sind die Precision-Tracker-Wände, die Eisenwände sowie die RPCs und XPCs. Zu jedem PT-Dublett gehört eine Trigger-Station. (Quelle:[5])

Kapitel 3

Datenanalyse

Am Beginn dieser Arbeit stand eine Einarbeitung in die grundsätzliche Datenstruktur und die OPERA-Software. Desweiteren musste sich auch mit dem Hauptwerkzeug zur Datenanalyse, der Software ROOT¹, vertraut gemacht werden. Da das Hauptaugenmerk auf der Analyse der Driftröhrendaten liegen sollte, galt es natürlich auch die genaue Funktionsweise dieser zu verstehen, damit die Bedeutung der Daten richtig eingeordnet werden konnte.

Bevor die Datenanalyse beginnen konnte, mussten zunächst die Driftröhrendaten für die Datenanalyse vorbereitet werden. Die Driftröhrendaten liegen in ROOT-Dateien vor, wobei in einer Datei eine Daten-Extraction², von denen es zwei pro Tag gibt, gespeichert ist. Durchfliegt ein Teilchen die Driftröhre, so wird ein Eintrag in einer ROOT-Datei erzeugt. Der Eintrag eines solchen Driftröhren-Treffers enthält verschiedene Daten darunter natürlich auch die Driftzeit. Darüberhinaus werden aber auch andere Daten wie z.B. die Signalweite des Drahtsignals, oder welche Driftröhre den Eintrag erzeugt hat gespeichert.

Im ersten Schritt wurden die Daten einer Extraction in einem speziellen OPERA-ROOT-Baum gespeichert. Dieser verknüpft die einzelnen Driftröhrendaten und erleichtert die spätere Datenanalyse. Dabei wurden die Daten so aufbereitet, dass für die beiden Supermodule jeweils getrennte OPERA-ROOT-Bäume vorliegen. Im zweiten Schritt wurden die OPERA-ROOT-Bäume mehrere Extractions vereinigt. Der erste Abschnitt stellt zunächst die Ergebnisse der Datenanalyse über mehrere Extractions dar. Der zweite Abschnitt widmet sich dann den Ergebnissen der Datenanalyse einzelner Extractions.

¹<http://root.cern.ch>

²Extraction (engl.): Extrahierung

3.1 Analyse über mehrere Extractions

Für die Analyse der Daten über einen längeren Zeitraum wurden die Daten der Extractions 9001 bis 9166 und 9186 bis 9352 in einem großen OPERA-ROOT-Baum gespeichert. Die ROOT-Dateien im Zeitraum der Extractions 9167 bis 9185 waren teilweise auffällig groß und wurden deshalb ausgespart. Nach Recherche hat sich herausgestellt, dass es in diesem Zeitraum Probleme mit den Trigger gab. Dies führte dazu, dass in diesen Daten das Rauschen der Driftröhren nicht herausgefiltert wurde und sie teilweise bis zu 100-mal soviel Treffer beinhalteten haben. Am Ende des Kapitels 3.2 werden die Daten dieses Zeitraums kurz behandelt.

Insgesamt wurden für die beiden Supermodule jeweils knapp 13 Millionen Treffer in dem OPERA-ROOT-Baum gespeichert. Aufgrund dieser hohen Statistik bestand die Möglichkeit systematische Auffälligkeiten zu erkennen.

Als erster Ausgangspunkt und um ein Gefühl für die Daten zu bekommen, wurden die Driftzeitspektren der gesamten Driftröhreneinträge dieses Zeitraums für beide Supermodule betrachtet. Diese sind in Abbildung 3.1 und 3.2 dargestellt.

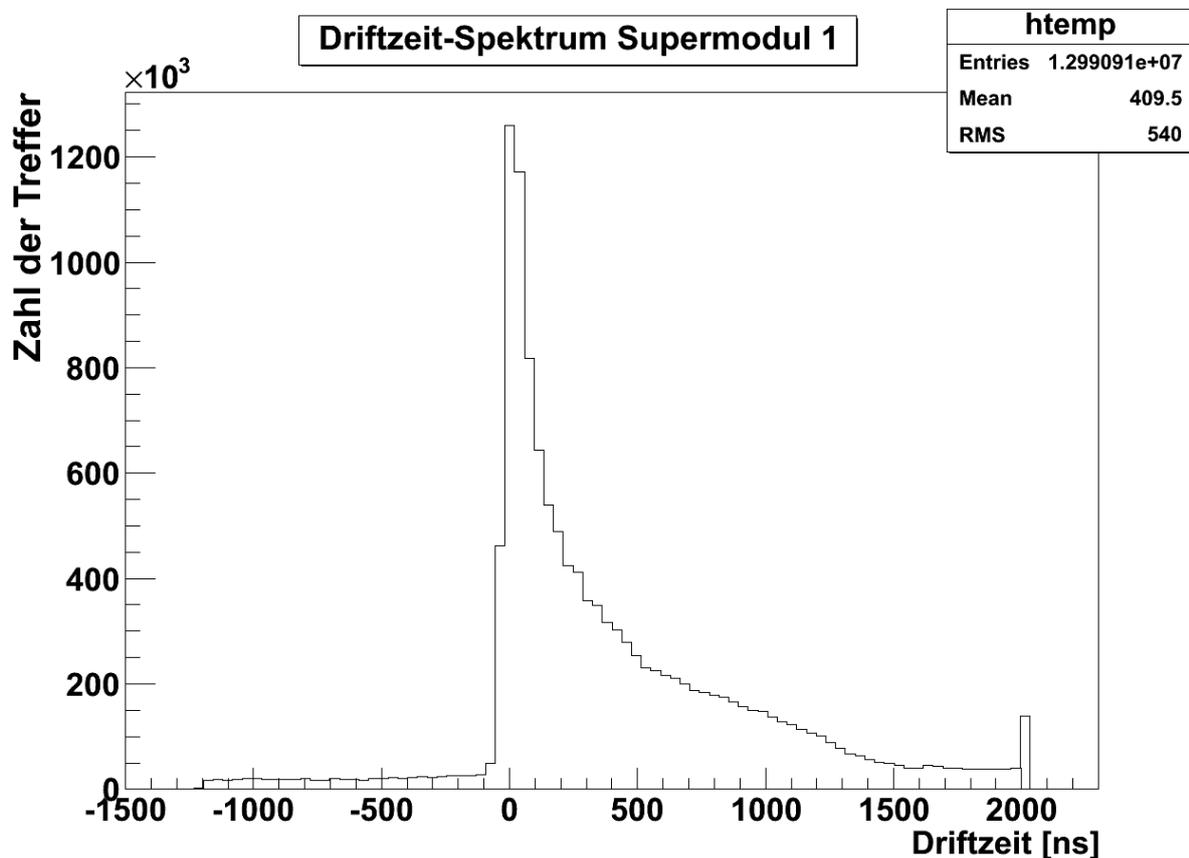


Abbildung 3.1: Die Abbildung zeigt das Driftzeitspektrum des Supermodul 1

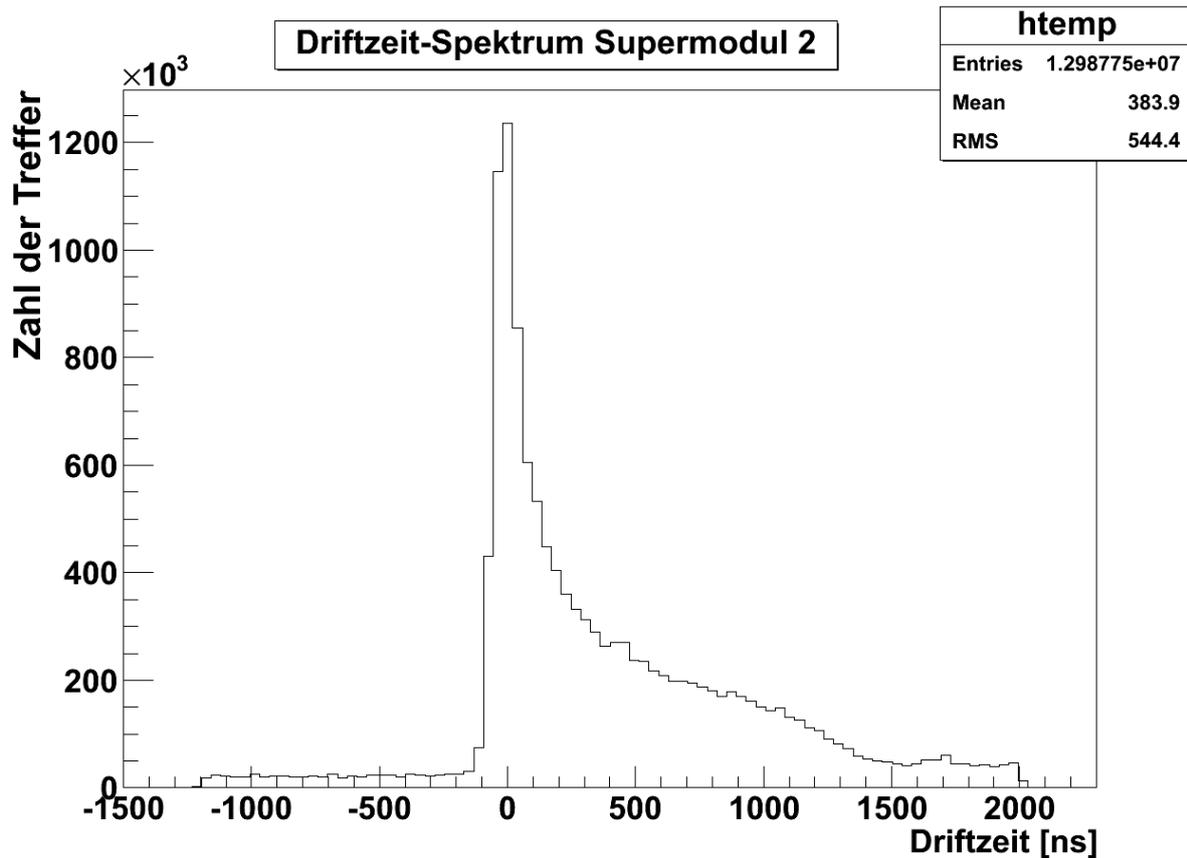


Abbildung 3.2: Die Abbildung zeigt das Driftzeitspektrum des Supermodul 2

Es lässt sich zunächst festhalten, dass die beiden Supermodule eine sehr vergleichbare Anzahl an Treffern aufweisen. Eine erste Auffälligkeit stellt dabei der Peak³ des Driftzeitspektrums bei 2000 ns im ersten Supermodul da, wonach auch in den nächsten Analysen eine Erklärung gesucht wurde. Davon abgesehen entspricht die Form der Driftzeitspektren den Erwartungen.

3.1.1 Driftzeitspektren bei unterschiedlichen Signalweiten

Der nächste Schritt der Datenanalyse bestand darin, sich die Driftzeitspektren für unterschiedliche Signalweiten der Treffer aufgeschlüsselt anzuschauen. Es gibt insgesamt vier Kategorien für die Signalweiten. Kurze Signale unter 13 ns erhalten die Signalweite 1, Signalbreiten zwischen 13 und 82 ns erhalten eine 2 und größere Signalbreiten eine 3. Kann keine Signalbreite festgestellt werden, erhält das Signal die Signalweite 0. Aus bisherigen Beobachtungen hat man festgestellt, dass für kleine und keine Signalweite das Rauschen überwiegt, während die Signalweite 3 die beste Qualität aufweist [8]. Diese Be-

³Peak (engl.): Spitze, Höhepunkt

obachtungen wurden allerdings unter teilweise anderen Betriebsparametern gemacht, was bei einem Vergleich beachtet werden muss. Für die Rekonstruktion von Spuren werden bislang Treffer mit Signalweite 3 und 2 herangezogen.

In Abbildung 3.3 und 3.4 sind die Driftzeitspektren aus Abbildung 3.1 und 3.2 nach den vier Signalweiten aufgeschlüsselt. Das Driftzeitspektrum der Signalweite 3 entspricht in beiden Supermodulen der typischen Form, die man erwartet hat. Sehr auffällig verhalten sich hingegen die Spektren bei Signalweite 2. Für diese Signalweite hätte man zunächst ein Spektrum erwartet, das mehr dem der Signalweite 3 ähnelt. Die Spektren der Signalweite 2 scheinen ein sehr großes Untergrundrauschen aufzuweisen. Subtrahiert man diesen Untergrund, so lässt sich noch rudimentär ein typisches Driftzeitspektrum erkennen. Im Driftzeitspektrum des zweiten Supermoduls befinden sich zusätzlich bei höheren Driftzeiten zahlreiche unregelmäßige Peaks. Die Spektren der Signalweite 1 unterscheiden sich für die beiden Supermodule. Für das erste Supermodul erhält man ein Spektrum, welches einen recht breiten Peak aufweist und keine richtige Flanke des Driftzeitspektrums besitzt. Im zweiten Supermodul erhält man einen schmaleren Peak, allerdings ist dieses Driftzeitspektrum wieder durch unregelmäßige Peaks gestört und weist ebenfalls keine typische Flanke auf. Im ersten Supermodul lässt sich feststellen, dass es sehr viele Treffer mit Signalweite 0 gegeben hat. Das Spektrum für Signalweite 0 ist dabei im Wesentlichen auf einen Peak bei 2000 ns beschränkt. Der Peak in Supermodul 1 bei 2000 ns (Abb. 3.1) rührt somit von den Treffern mit Signalweite 0 her.

Es lässt sich zunächst festhalten, dass das Driftzeitspektrum der Signalweite 3 in beiden Supermodulen die erwartete Form aufweist. Das Driftzeitspektrum der Signalweite 2 scheint im Vergleich zur Signalweite 3 überraschend deutlich schlechter zu sein.

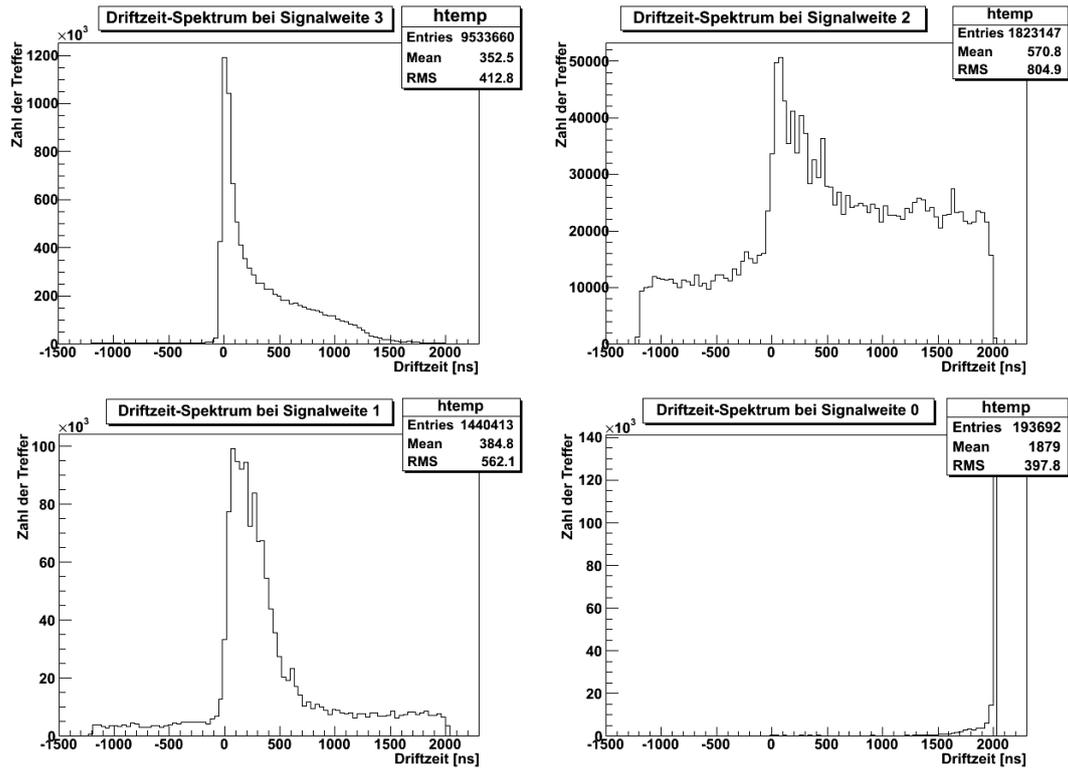


Abbildung 3.3: Die Abbildung zeigt die Driftzeitspektren der unterschiedlichen Signalweiten im ersten Supermodul

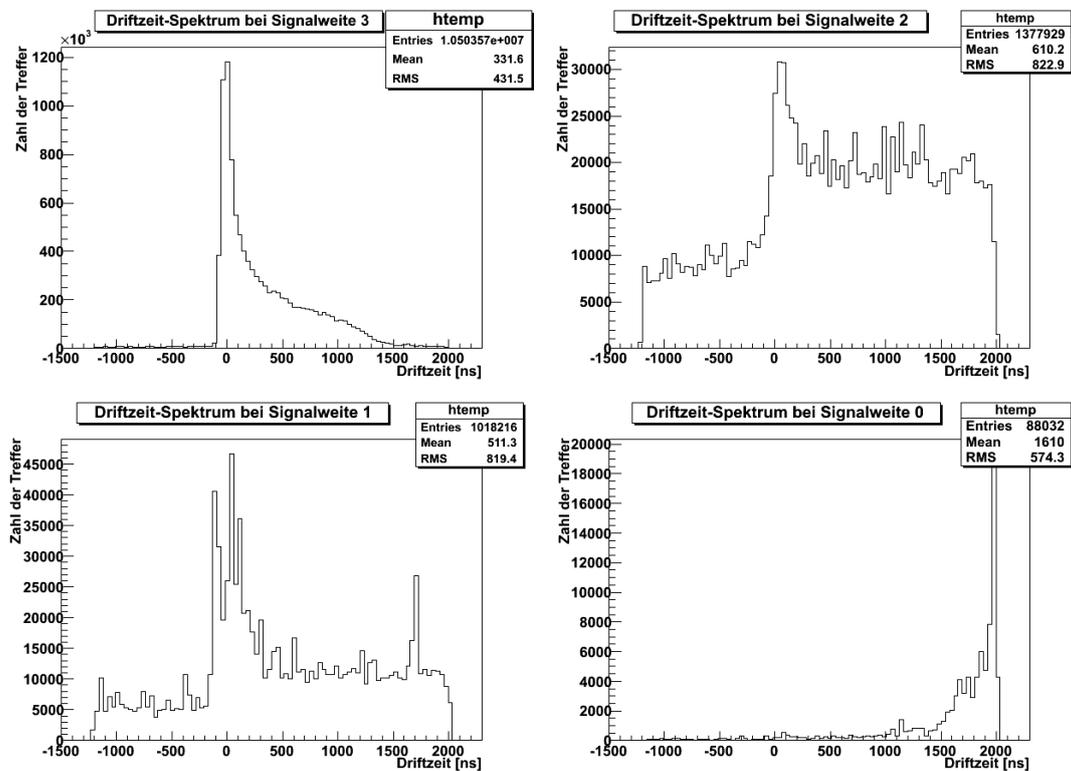


Abbildung 3.4: Die Abbildung zeigt die Driftzeitspektren der unterschiedlichen Signalweiten im zweiten Supermodul

3.1.2 Driftzeitspektren der Precision Tracker Wände

Der nächste Aspekt der Datenanalyse bestand darin, die Aufspaltung nach Signalweite für jede Precision Tracker Wand (PT-Wand) separat zu betrachten. Die Driftzeitspektren bei Signalweite 3 haben in allen PT-Wänden eine sehr vergleichbare Form. Sie entsprechen sehr gut der Form eines typischen Driftzeitspektrums. Die Anzahl der Treffer bewegt sich bei allen PT-Wänden auf einem Niveau. Eine Ausnahme davon stellt allerdings die Tatsache da, dass in beiden Supermodulen die zweite PT-Wand grob dreimal so viele Treffer aufweist. Im zweiten Supermodul fällt die Anzahl der Treffer noch ein wenig höher aus. Da in beiden Supermodulen der gleiche Effekt auftritt, kann es mit der Lage der PT-Wand im Detektor zu tun haben. So kann etwa die Nähe zum Netzteil des Magneten einen Einfluss haben. Da dies allerdings nur bei der ersten PT-Wand am Magneten auftritt, hat vielleicht auch die Triggerstation, die für das PT-Dublett vor dem Magneten auch aus XPCs besteht, einen Einfluss. In der Abbildung 3.5 sind diese Driftzeitspektren für das erste Supermodul dargestellt.

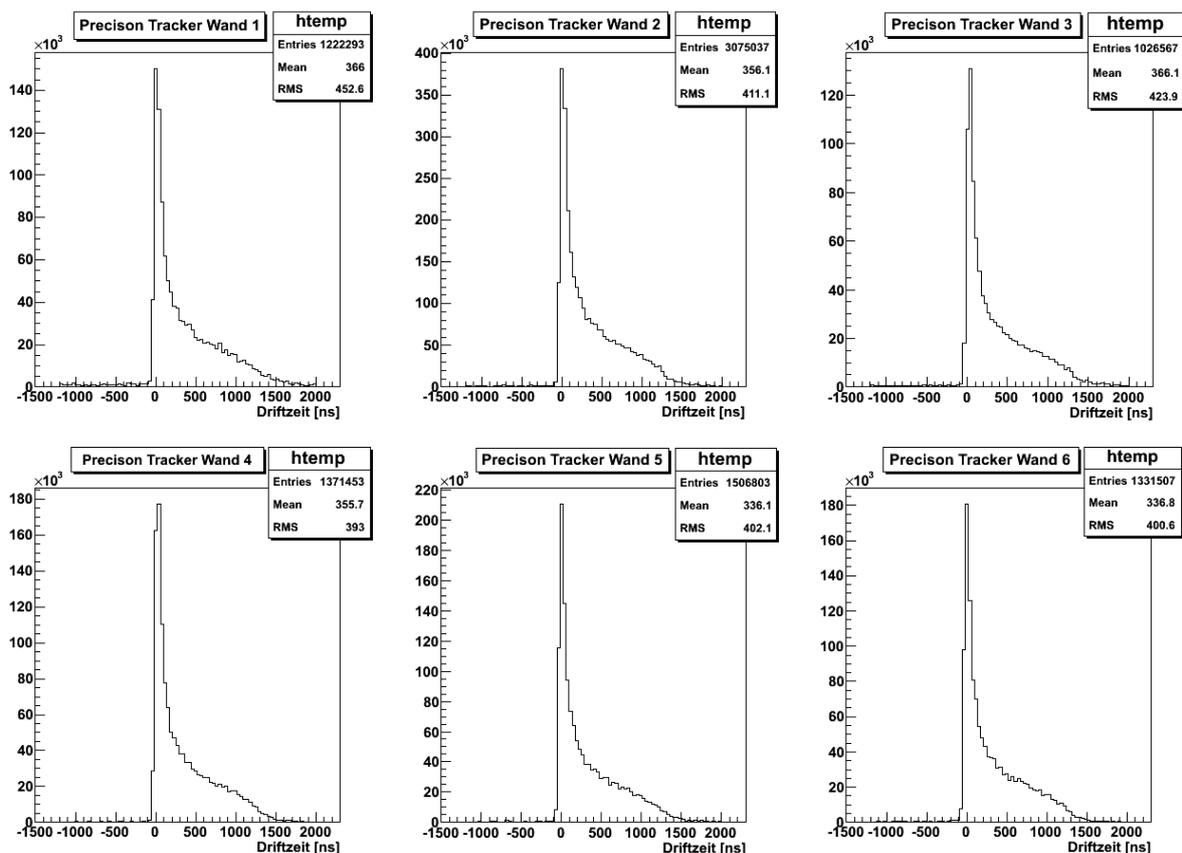


Abbildung 3.5: Die Abbildung zeigt die Driftzeitspektren der PT-Wände bei Signalweite 3 im ersten Supermodul. Auf der Y-Achse sind jeweils die Anzahl der Treffer aufgetragen.

Die Signalweite 2 hat in beiden Supermodulen in den PT-Wänden 3 und 4 eine besonders hohe Anzahl an Treffern. Diese Spektren weisen dabei keine typische Form eines Driftzeitspektrums auf. Sie haben jeweils für positive und negative Driftzeiten im Wesentlichen eine gleichbleibendes Niveau an Untergrundrauschen, wobei das Niveau des Rauschens für positive Driftzeiten deutlich höher ist. Das auffällige Verhalten der PT-Wände 3 und 4 könnte wiederum mit der Nähe des Netzteils des Magneten zusammenhängen. Die Spektren der restlichen PT-Wände kommen einem typischen Driftzeitspektrum näher, weisen allerdings unregelmäßige Peaks auf. Diese Unregelmäßigkeiten sind im zweiten Supermodul wieder einmal deutlich ausgeprägter. In Abbildung 3.6 sind diese Driftzeitspektren für das erste Supermodul dargestellt. Dadurch lässt sich die Form der Driftzeitspektren bei Signalweite 2 (Abb. 3.3 und 3.4) in erster Linie auf die PT-Wände nahe des Netzteils des Magneten zurückführen.

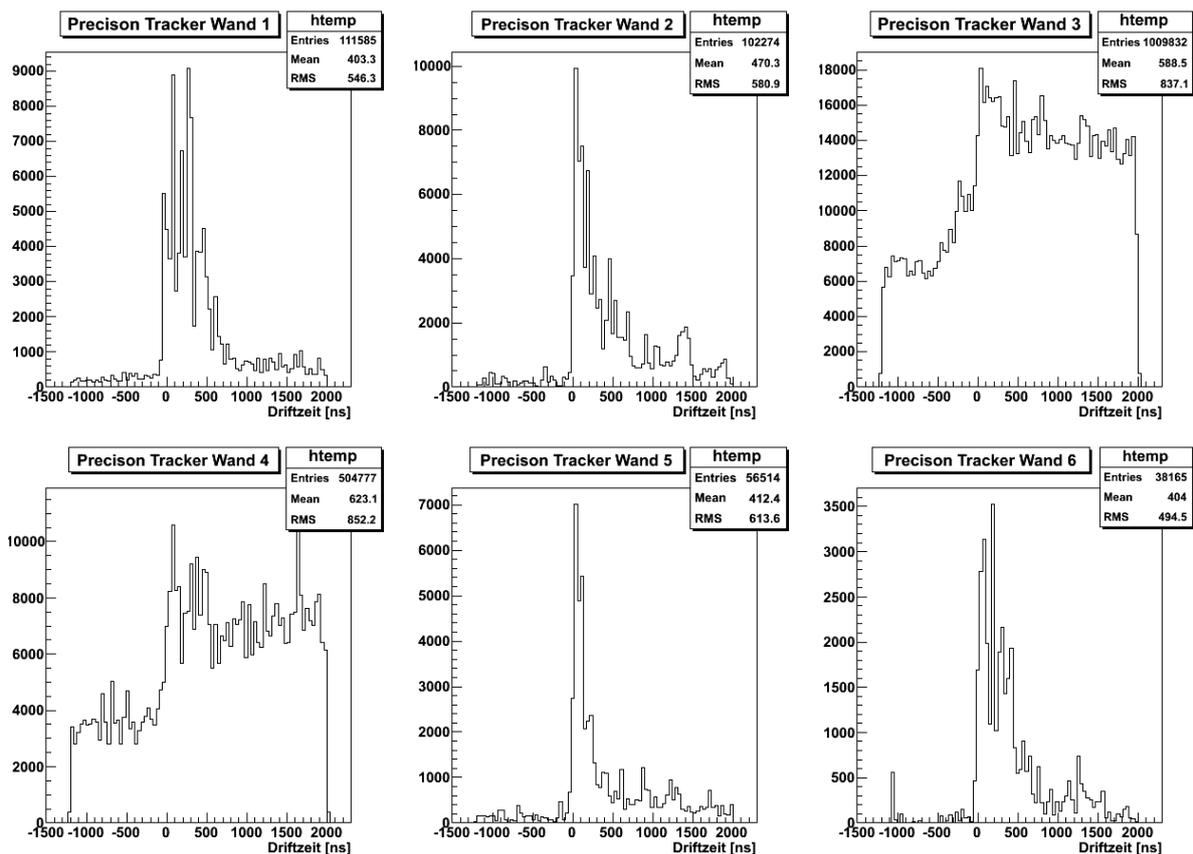


Abbildung 3.6: Die Abbildung zeigt die Driftzeitspektren der PT-Wände bei Signalweite 2 im ersten Supermodul. Auf der Y-Achse sind jeweils die Anzahl der Treffer aufgetragen.

Die Signalweite 1 hat im ersten Supermodul ebenfalls in den PT-Wänden 3 und 4 eine etwa dreimal so hohe Anzahl an Treffer. Diese erhöhte Anzahl beschränkt sich im Wesentlichen auf ein etwa gleichverteiltes Untergrundspektrum. Die Form der Driftzeit-

spektren weist jeweils einen relativ breiten Peak zwischen 0 ns und 500 ns auf. Im zweiten Supermodul lässt sich lediglich in der dritten PT-Wand eine sehr hohe Anzahl an Treffern feststellen. Dafür sind in der ersten und letzten PT-Wand auffällig wenig Treffer. Die Spektren der Signalweite 1 im zweiten Supermodul sind in Abbildung 3.7 dargestellt.

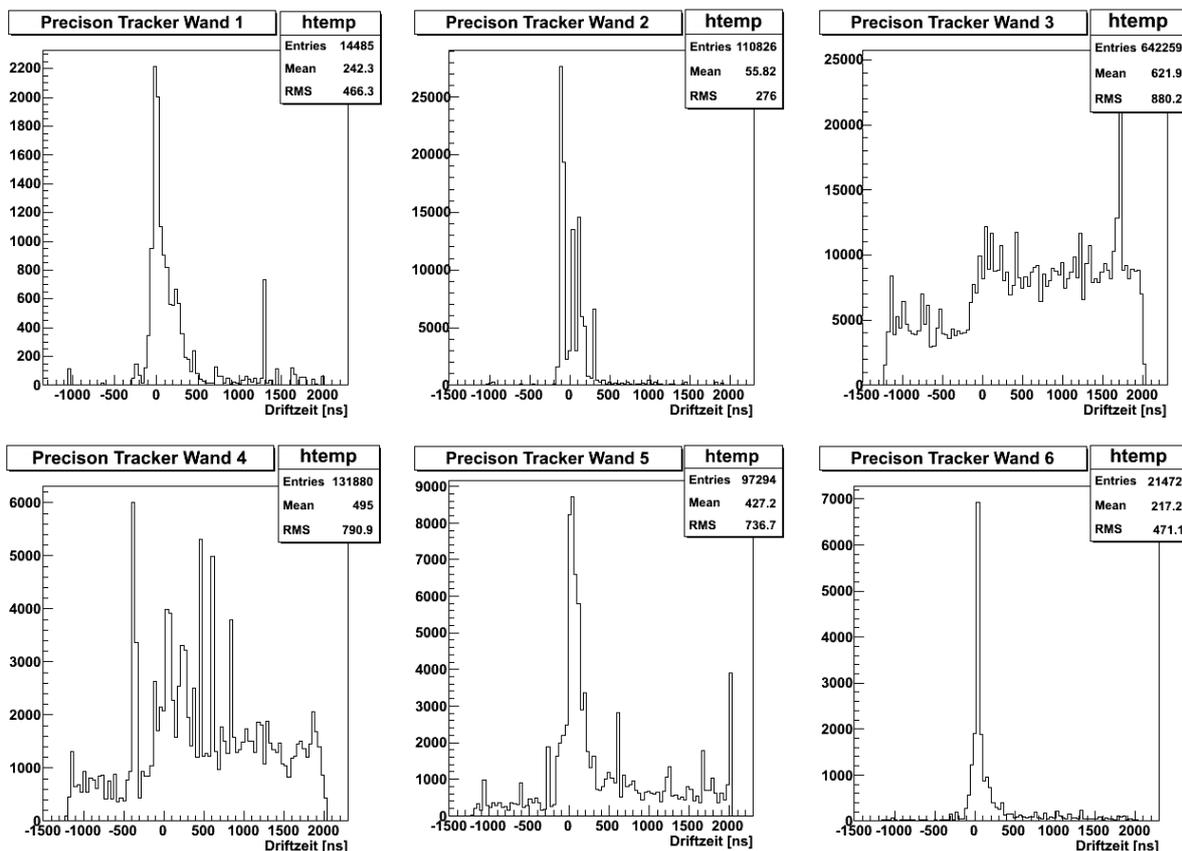


Abbildung 3.7: Die Abbildung zeigt die Driftzeitspektren der PT-Wände bei Signalweite 1 im zweiten Supermodul. Auf der Y-Achse sind jeweils die Anzahl der Treffer aufgetragen.

Aufgrund der hohen Anzahl der Treffer bei Signalweite 0 im ersten Supermodul wurde auch diese Signalweite für die PT-Wände analysiert. Dabei ließ sich feststellen, dass die Anzahl der Treffer mit steigender PT-Wand abnehmend ist. Man kann grob sagen, dass sich die Anzahl der Treffer von einer zur nächsten PT-Wand etwa halbiert.

Es lässt sich festhalten, dass die Driftzeitspektren bei Signalweite 3 in allen PT-Wänden sehr ähnlich sind. Eine Ausnahme davon bildet in beiden Supermodulen die zweite PT-Wand mit einer deutlich höheren Anzahl an Treffern. Außerdem lässt sich festhalten, dass das Untergrundrauschen bei Signalweite 2 fast ausschließlich aus den PT-Wänden 3 und 4 herrührt. Eine Erklärung des Effekts könnte in der Nähe der PT-Wände zum Netzteil des Magneten liegen.

3.1.3 Verteilung der Driftröhrentreffer

Abschließend wurde für die Analyse über mehrere Extractions die Trefferanzahl der Driftröhren untersucht. Dazu wurde die Trefferanzahl für alle Driftröhren eines Supermoduls geplottet. Anhand dieses dreidimensionale Plots (Hitmap) können gut Auffälligkeiten, wie z.B. eine Trefferhäufung in einem gewissen Bereich des Detektors, erkannt werden. Dabei wurde für jede Signalweite pro Supermodul eine eigene Hitmap erzeugt. In der Analyse wurde insbesondere auf Röhren mit überdurchschnittlich vielen Treffern geachtet. Im Supermodul 2 wurde z.B. eine besonders markante Röhre identifiziert (PT-Wand 3, Driftröhrenreihe 18, Modul-Lage 2). Diese Röhre hat bei allen 4 Signalweiten die meisten Treffer. Allein diese Röhre macht bei Signalweite 2 etwa 55% der Treffer aus. In Abbildung 3.8 ist das Driftzeitspektrum dieser Röhre nach Signalweiten aufgeschlüsselt.

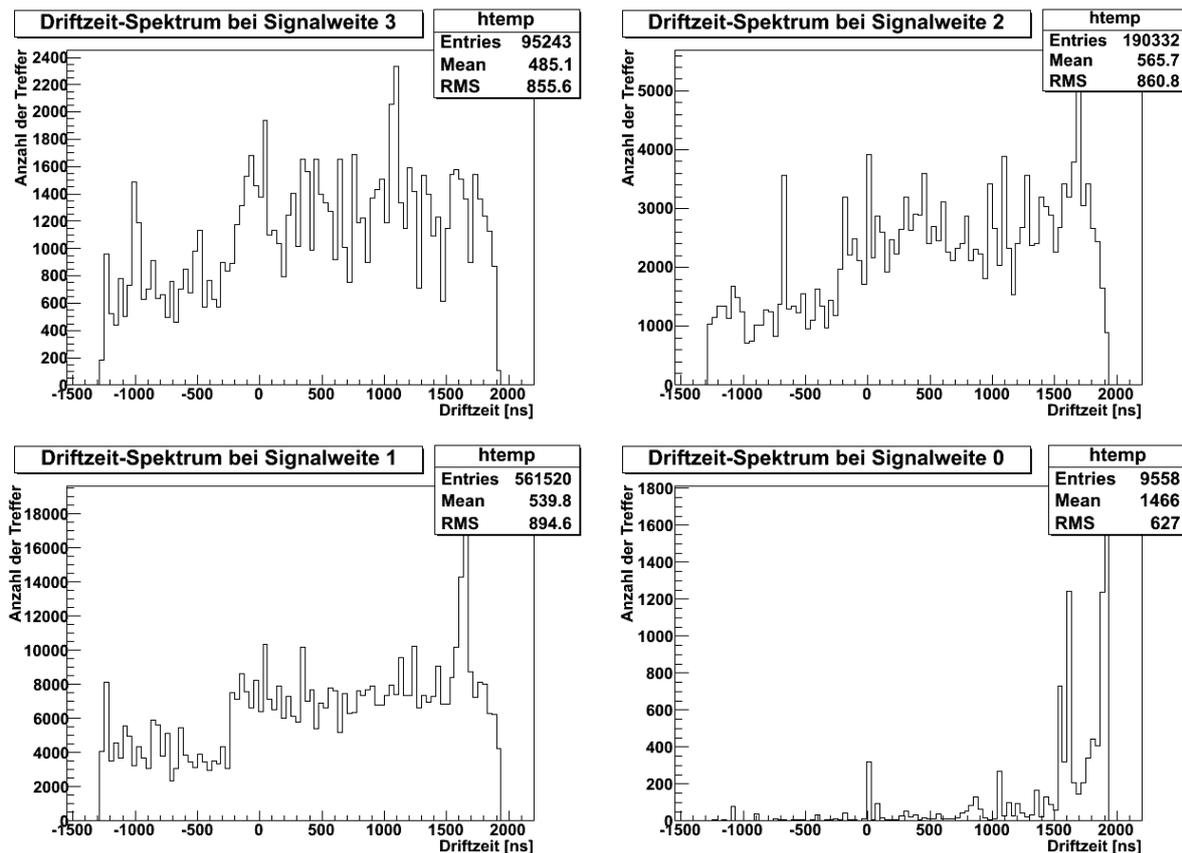


Abbildung 3.8: Die Abbildung zeigt die Driftzeitspektren einer Auffälligen Röhre nach Signalweite aufgeschlüsselt

Es wird deutlich, dass diese Röhre keine sinnvollen Driftzeitspektren produziert. Auffällig ist die ungewöhnlich große Anzahl der Treffer insbesondere bei Signalweite 1 aber auch bei Signalweite 2. Nach einer Analyse dieser einzelnen Röhre über alle Extractions

hat sich herausgestellt, dass dieses Verhalten nicht innerhalb weniger Extractions auftrat, sondern durchgehend über den gesamten untersuchten Zeitraum vorlag. Vergleicht man in Abbildung 3.7 das Spektrum der dritten PT-Wand mit dem Spektrum dieser Röhre bei Signalweite 1, so erkennt man, dass diese Spektren sich stark ähneln. Es verdeutlicht noch einmal, dass tatsächlich diese Röhre das Gesamtspektrum dominiert.

Korrigierte Driftzeit

In den Daten eines Treffers findet sich auch die korrigierte Driftzeit. In diesen ist die gemessene Driftzeit bereits um einige Effekte korrigiert. Die korrigierte Driftzeit berücksichtigt z.B., dass das Trigger-Signal nicht genau mit der Zeit des Teilchendurchflugs übereinstimmt, da Trigger und Driftröhre einen gewissen Abstand haben. Desweiteren werden auch die Drahtzeit und die Kabellaufzeit berücksichtigt.

Mit den Daten der korrigierten Driftzeit wurden die gleichen Driftzeitspektren wie bereits vorher erstellt und verglichen. Dabei fiel auf, dass die Form der Spektren sich sehr ähnelte und es im Wesentlichen eine Verschiebung des Spektrums nach links stattgefunden hat. Im Folgenden wurde für die weitere Analyse, wenn nicht anders erwähnt, immer die korrigierte Driftzeit verwendet.

3.2 Analyse einzelner Extractions

Die Untersuchung der einzelnen Extractions zielte darauf Qualitäts-Parameter zu finden, mit der eine Aussage zur Datenqualität einer Extraction möglich ist. Dabei wurde sich auf die Analyse des Driftzeitspektrums bei Signalweite 3 konzentriert, da diese aus den bisherigen Analysen die beste Signalqualität versprach und analytisch am besten zu handhaben ist. Für diese Analyse wurden die 352 Extractions aus den bereits oben genannten Zeitraum verwendet. In einigen Analysen wurden allerdings einige wenige Extractions ausgespart, da diese beispielsweise nur eine zweistellige Zahl an Treffern aufwiesen.

3.2.1 RMS und Mean Verteilung

Zwei relativ einfache Parameter der Driftzeitspektren, sind die RMS⁴- und Mean⁵-Werte. Hierzu wurde die Verteilung der RMS- und Mean-Werte der Extractions betrachtet. Die

⁴RMS; Root Mean Square (engl.): Quadratisches Mittel

⁵Mean (engl.): Arithmetisches Mittel

Verteilung wurde mit einer Gaußfunktion gefittet, um mit den Fitparametern Qualitäts-
grenzen zu setzen. Für die Betrachtungen in dieser Arbeit wurde zunächst ein 3-Sigma-
Bereich als Grenze abgesteckt. Danach wurden Extractions, die Werte außerhalb dieses
Bereiches aufwiesen, notiert. In den folgenden Abbildungen ist die Verteilung der RMS-
und Mean-Werte der beiden Supermodule dargestellt.

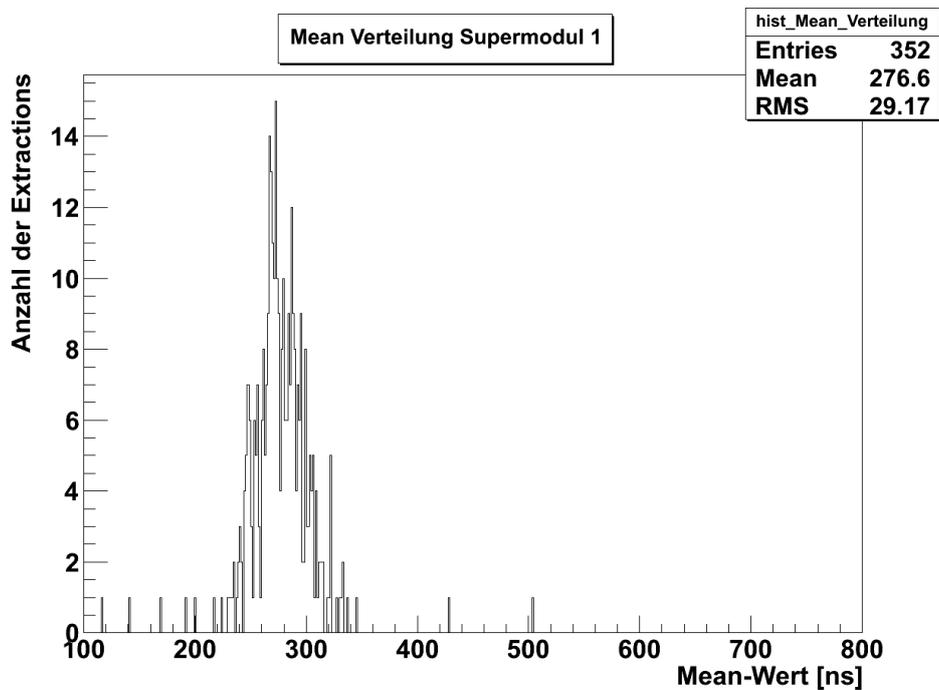


Abbildung 3.9: Die Abbildung zeigt die Mean Verteilung des Supermodul 1

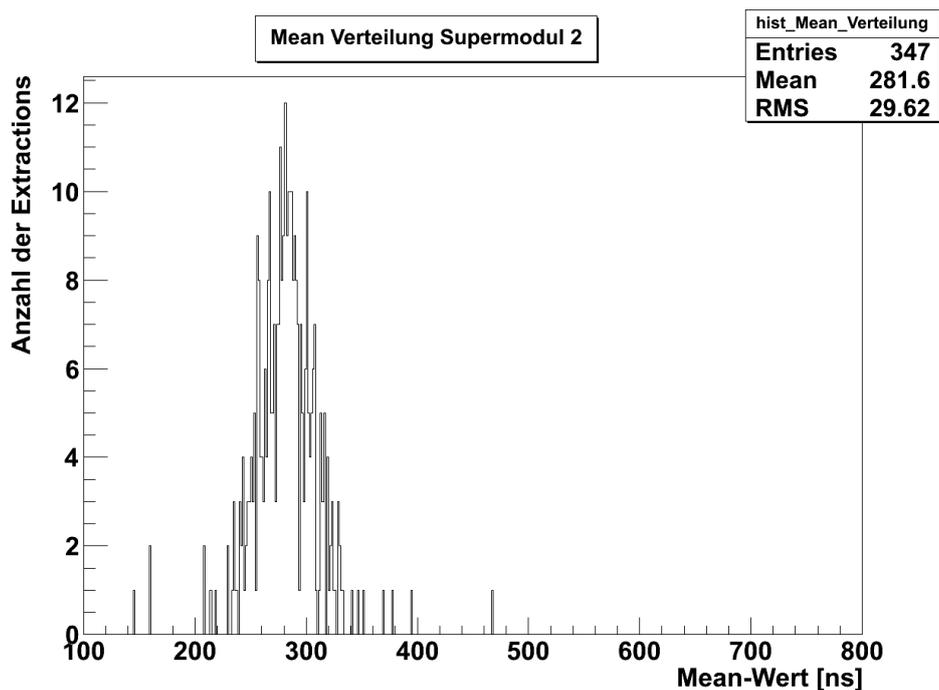


Abbildung 3.10: Die Abbildung zeigt die Mean Verteilung des Supermodul 2

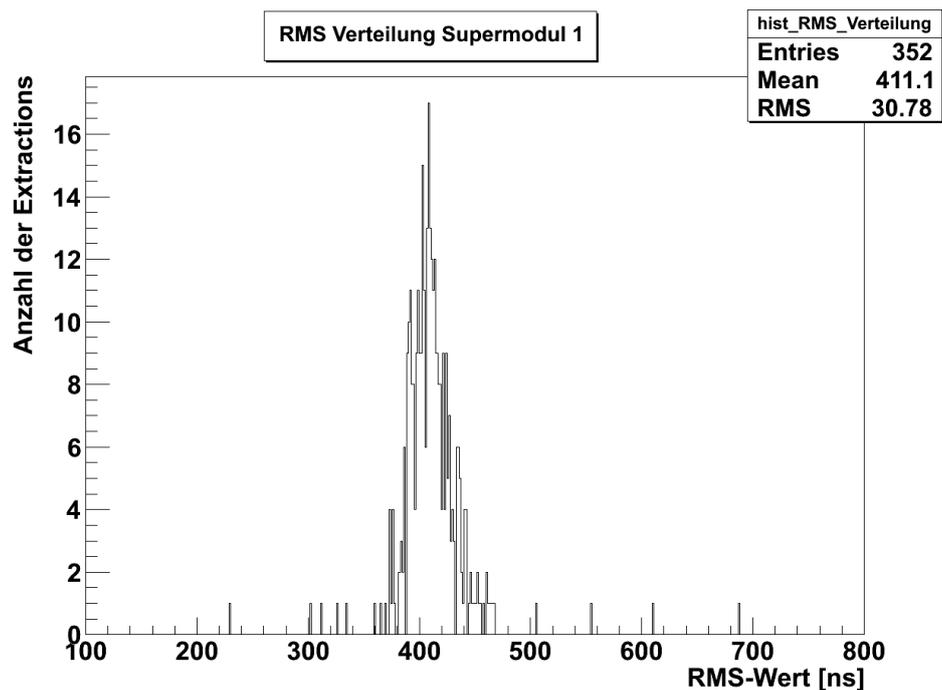


Abbildung 3.11: Die Abbildung zeigt das Driftzeitspektrum des Supermodul 1

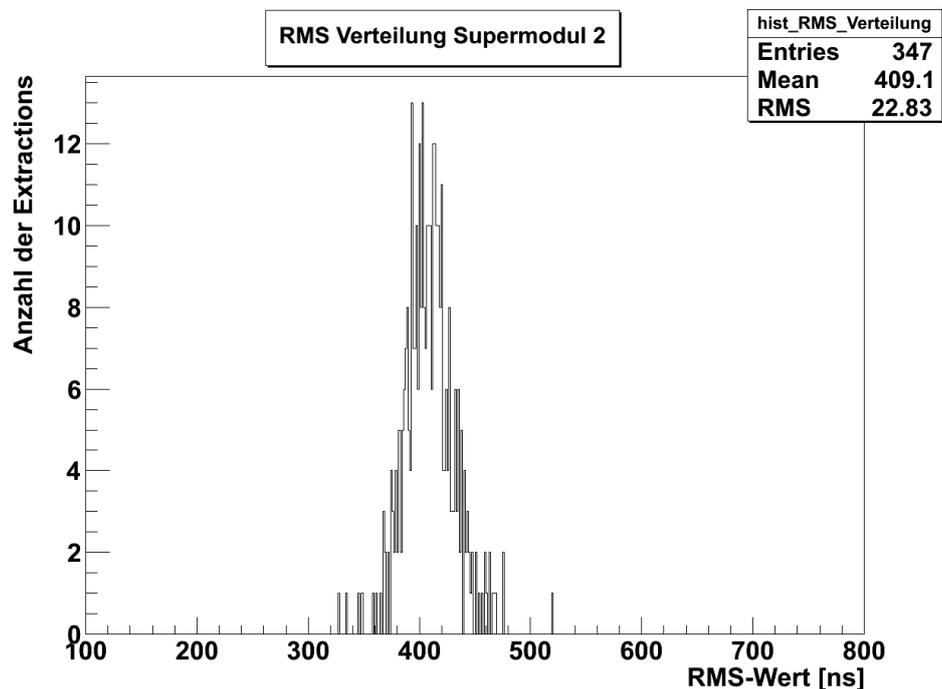


Abbildung 3.12: Die Abbildung zeigt das Driftzeitspektrum des Supermodul 2

Die Verteilung der Mean- und RMS-Werte ist für beide Supermodule ähnlich. Der Mittelwert der Mean-Verteilung liegt in beiden Fällen bei circa 280 ns. Die Streuung ist im zweiten Supermodul geringfügig höher. Bei den RMS-Verteilungen liegt der Mittelwert in beiden Fällen bei circa 410 ns. Es fällt auf, dass es im zweiten Supermodul die Verteilung

schmäler ist und weniger streut. In der Zusammenfassung im vierten Kapitel findet sich eine Liste mit der Auflistung der Extractions, die Werte außerhalb der gesteckten Grenzen aufweisen. Außerdem wird dort eine Interpretation und Bewertung dieses Parameters vorgenommen.

3.2.2 Fit des Driftzeitspektrums

Das Driftzeitspektrum bei Signalweite 3 bot einen guten Zugang zu einer analytischen Untersuchung. Für dieses Driftzeitspektrum konnte mithilfe der Funktion 2.6 ein Fit erstellt werden. In Abbildung 3.11 und 3.12 ist der Fit dieser Funktion von 0 ns bis 900 ns auf das Driftzeitspektrum über mehrere Extractions dargestellt. Anhand der Fitparameter konnte schon mal eine Größenordnung bestimmt werden, die auch als Vergleich für den Fit der einzelnen Extractions genutzt wurde.

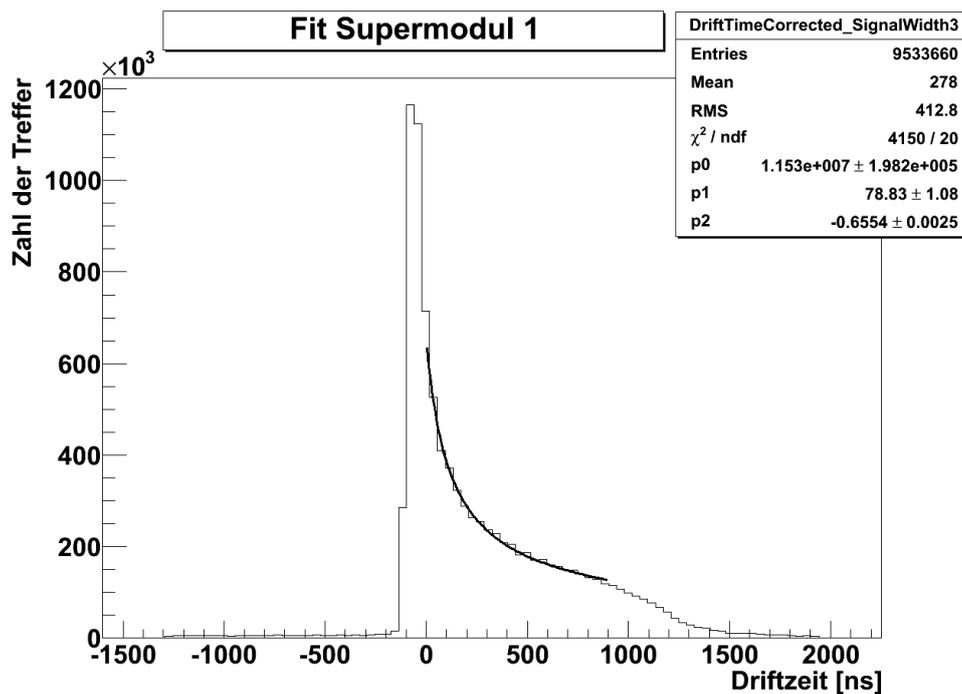


Abbildung 3.13: Die Abbildung zeigt den Fit des Driftzeitspektrums bei Signalweite 3 des ersten Supermoduls

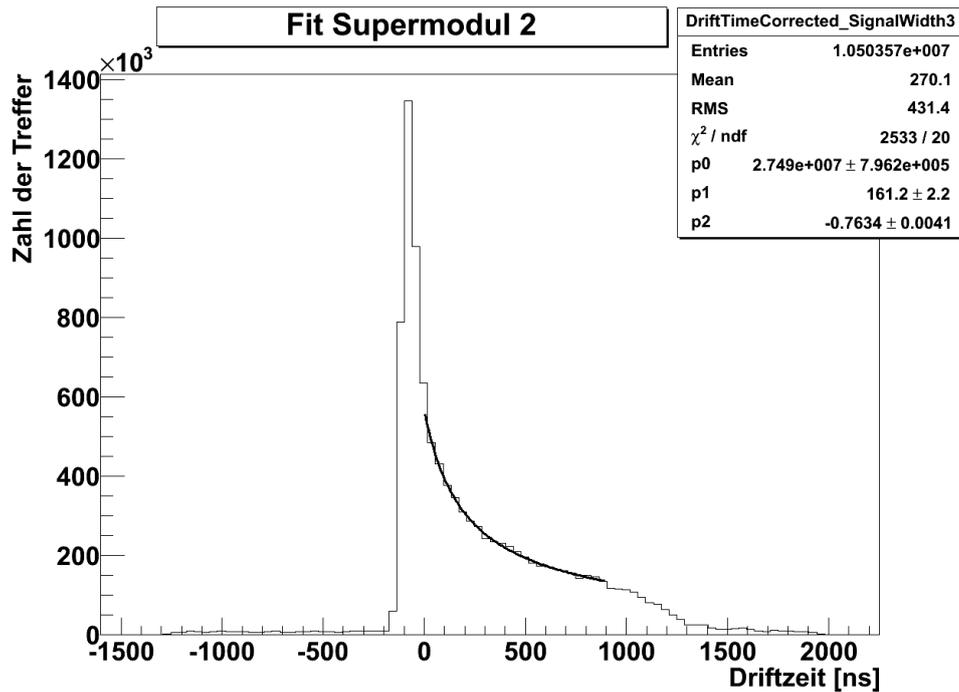


Abbildung 3.14: Die Abbildung zeigt den Fit des Driftzeitspektrum bei Signalweite 3 des zweiten Supermoduls

Im Folgenden wurde nun dieser Fit auf das Driftzeitspektrum bei Signalweite 3 aller Extractions angewandt. Die Fitparameter der einzelnen Extractions wurden ausgelesen und in einem Histogramm gespeichert. Wie bereits bei den RMS- und Mean-Werten ließ sich nun auch hier wieder eine Verteilung plotten. Auf Grundlage dieser Verteilung und der Fitparameter aus dem Fit über das Driftzeitspektrum mehrerer Extractions wurde eine Grenze festgelegt. Werte außerhalb dieser Grenzen wurden wiederum notiert. Der Fitparameter p_0 ist zunächst nicht von großer Interesse, da er im Wesentlichen von der Anzahl der Treffer abhängt und wenig über die Form des Driftzeitspektrums verrät. Der Fitparameter p_1 gibt einen Offset⁶ gegenüber dem Nullpunkt an. Dieser Offset beruht darauf, dass die Zeit des Triggers nicht exakt mit der des wirklichen Teilchendurchgangs durch die Driftröhre übereinstimmt. Der Fitparameter p_2 beschreibt den Verlauf der Flanke. In Abbildung 3.13 und 3.14 ist die Verteilung des Fitparameters p_2 für die beiden Supermodule dargestellt.

⁶offset (engl.): Versatz

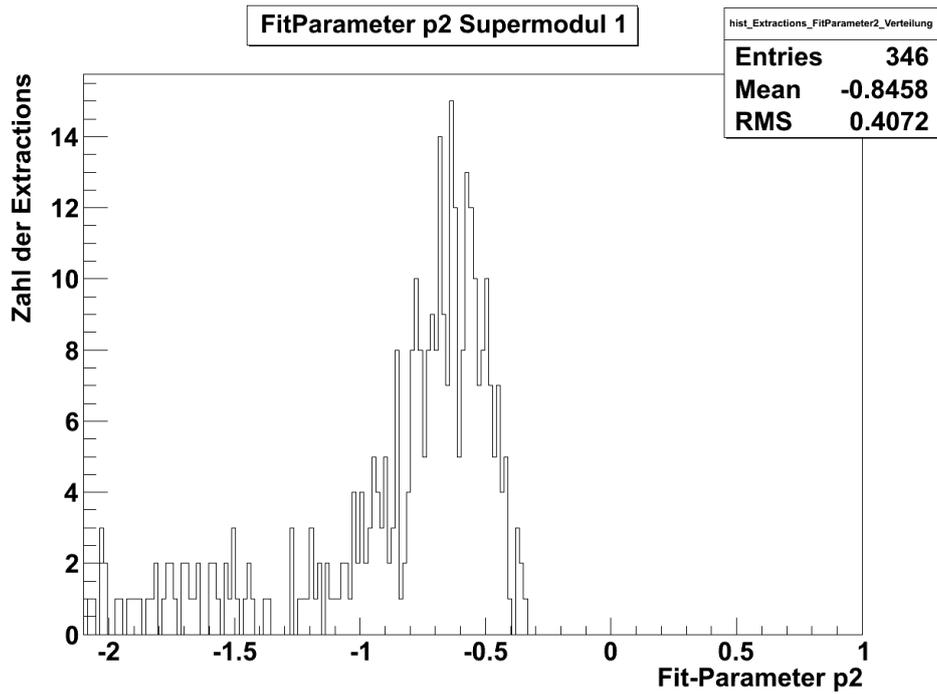


Abbildung 3.15: Die Abbildung zeigt die Verteilung des Fitparameters p2 im ersten Supermodul

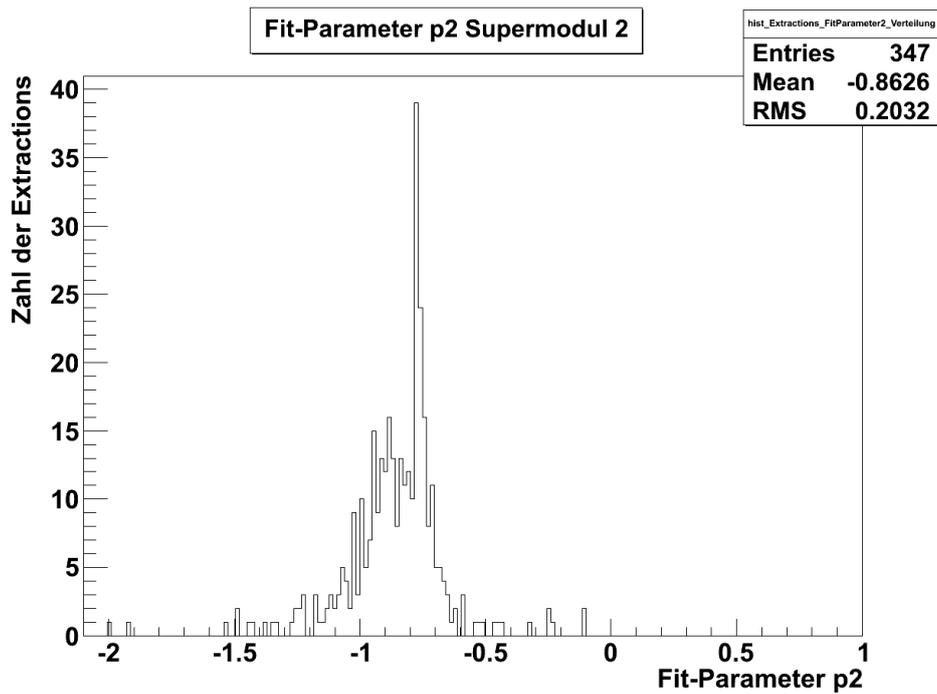


Abbildung 3.16: Die Abbildung zeigt die Verteilung des Fitparameters p2 im zweiten Supermodul

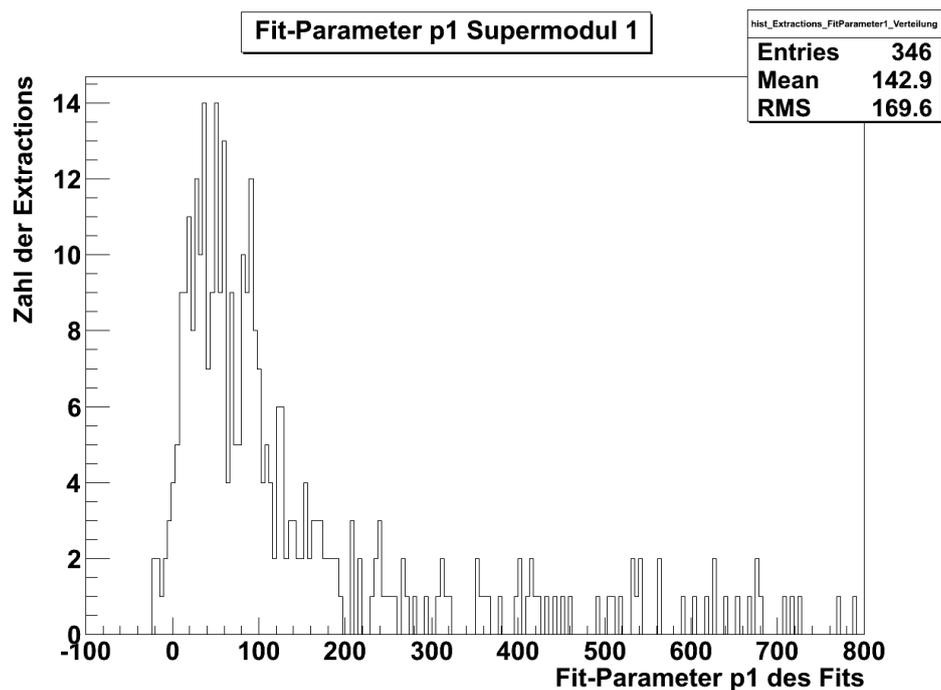


Abbildung 3.17: Die Abbildung zeigt die Verteilung des Fitparameters p1 im ersten Supermodul

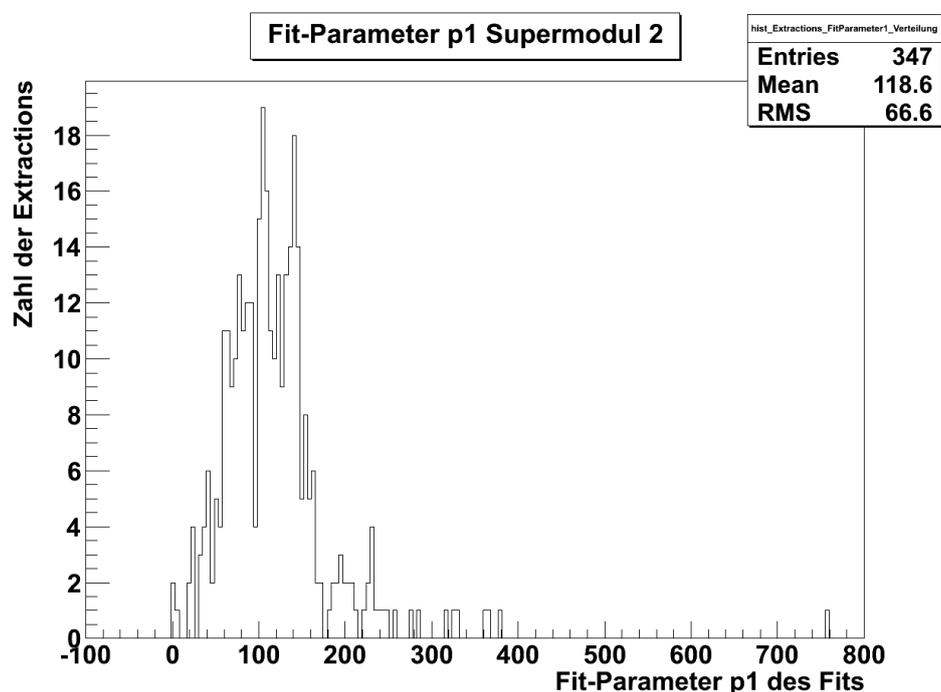


Abbildung 3.18: Die Abbildung zeigt die Verteilung des Fitparameters p1 im zweiten Supermodul

Bereits auf den ersten Blick sticht die leicht unsymmetrische Verteilung der Parameter ins Auge. So gibt es beim Fitparameter p2 ein etwas ausgefranstes Verhalten für kleinere Werte. Für den Fitparameter p1 gibt es mehr Ausreißer für größere Werte. Ebenfalls sehr

offenkundig ist, dass es im zweiten Supermodul deutlich weniger auffällige Werte gibt. Die Verteilung der beiden Parameter ist für das zweite Supermodul jeweils wesentlich schmaler. Eine genauere Analyse des Fits mit seinen Vor- und Nachteilen findet sich in der Zusammenfassung im vierten Kapitel. Eine Auflistung auffälliger Extractions zu diesen Parametern findet sich ebenfalls im vierten Kapitel.

3.2.3 Peak Auffälligkeiten der Driftzeitspektren

In einem weiteren Analyseschritt wurden die Driftzeitspektren auf auffällige Peaks hin untersucht und mit bisherigen Ergebnissen verglichen. Dazu wurde die Form der Driftzeitspektren aller Extractions einzeln betrachtet und auf Unregelmäßigkeiten hin untersucht. Bei Spektren mit auffälligen Peaks wurde daraufhin eine feinere Auflösung der Histogramme gewählt, um detaillierte Informationen über die Peaks zu erhalten.

Auffällige Extractions

Ein Beispiel eines auffälligen Driftzeitspektrums stellt die Extraction 9039, die in Abbildung 3.15 und 3.16 dargestellt wird.

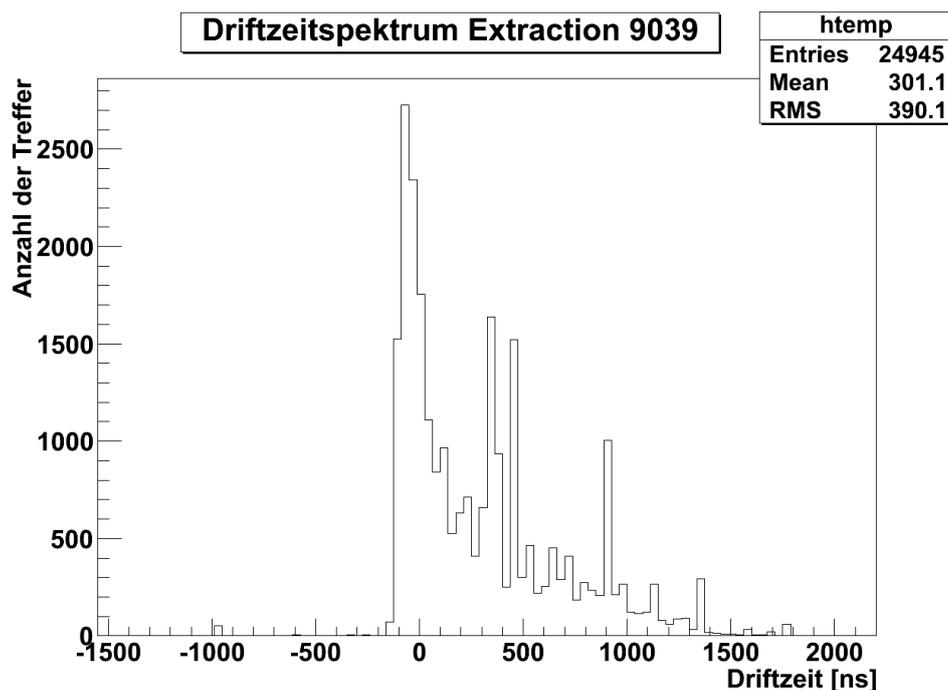


Abbildung 3.19: Die Abbildung zeigt das Driftzeitspektrum der Extraction 9039 des ersten Supermoduls

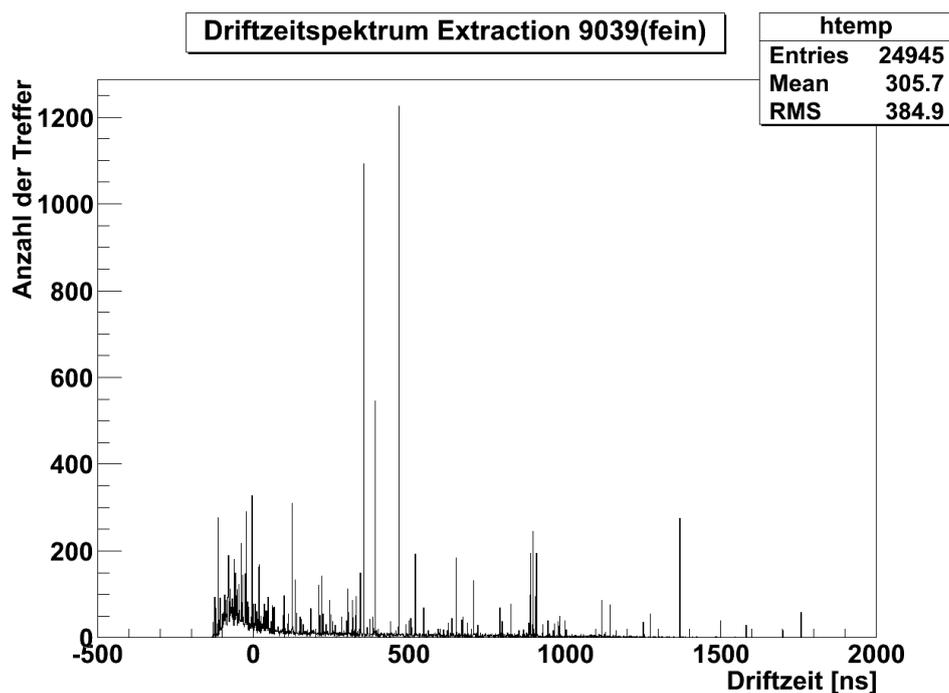


Abbildung 3.20: Die Abbildung zeigt das Driftzeitspektrum der Extraction 9039 des ersten Supermoduls

Man muss berücksichtigen, dass es zu Effekten kommen kann, die erst durch diese feine Auflösung entstehen. Trotzdem lässt sich feststellen, dass die Peaks dieser Extraction sehr schmal erscheinen. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass diese Auffälligkeit ihren Ursprung innerhalb der Elektronik hat. Es scheint jedenfalls unwahrscheinlich, dass es tatsächlich eine so hohe Anzahl an Treffern mit extrem ähnlicher Driftzeit gegeben hat. Um genauere Aussagen über dieses Verhalten zu treffen sind allerdings weitere Analysen notwendig, welche im Ausblick des vierten Kapitels aufgezeigt werden.

Unauffällig Extractions

Im Vergleich dazu wird hier ein Beispiel für ein relativ unauffälliges Driftzeitspektrum, die Extraction 9022 in Abbildung 3.17 und 3.18 dargestellt.

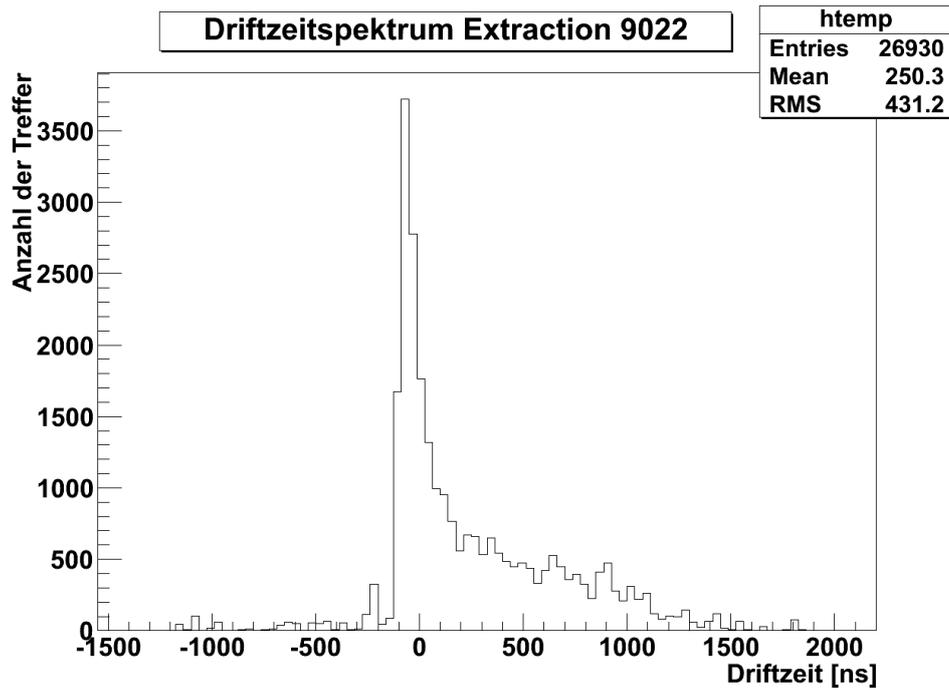


Abbildung 3.21: Die Abbildung zeigt das Driftzeitspektrum der Extraction 9022 des ersten Supermoduls

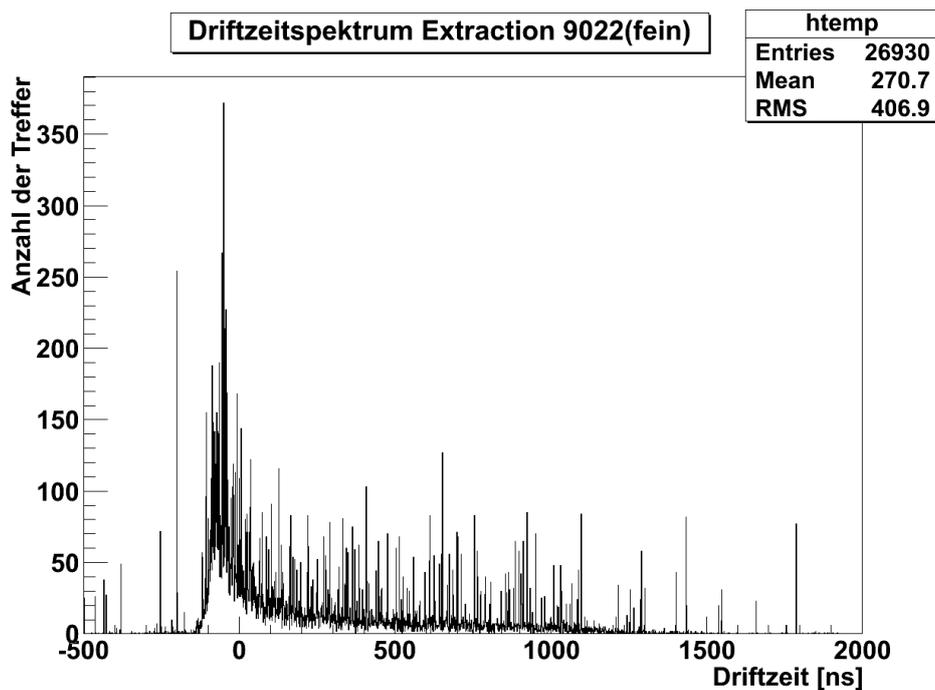


Abbildung 3.22: Die Abbildung zeigt das Driftzeitspektrum der Extraction 9022 des ersten Supermoduls

Extraction 9167-9185

Als letzter Punkt dieser Arbeit wurden die Extractions 9167 bis 9185, die extrem hohe Trefferanzahlen aufwiesen, separat betrachtet. Dabei fiel auf, dass sich die Driftzeitspektren für beide Supermodule sehr unterschiedlich verhielten. Im ersten Supermodul beschränkt sich die hohe Anzahl der Treffer insbesondere auf die Signalweite 1 und teilweise auf die Signalweite 2. Die Trefferverteilung ist dabei auf einen breiten Peak um 0 ns konzentriert. Im zweiten Supermodul gibt es hingegen bei allen Signalweiten viele Treffer. Die Driftzeitspektren der Signalweite 2,1 und 0 bestehen häufig aus wenigen hohen Peaks. Dies könnte wiederum auf eine Ursache innerhalb der Elektronik hinweisen. In Abbildung 3.19 und 3.20 ist die Extraction 9174, die relativ charakteristisch für diesen Zeitraum ist, dargestellt.

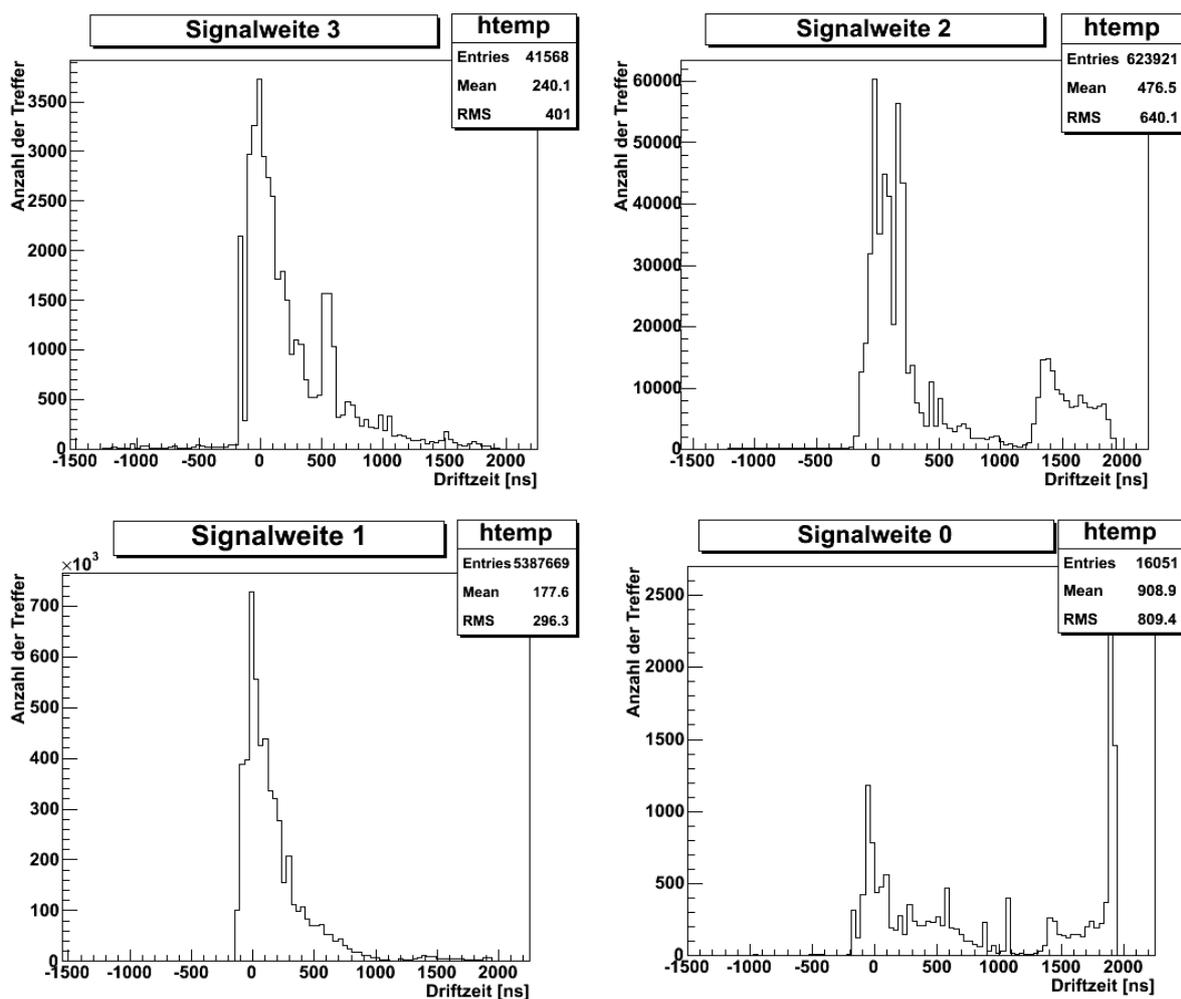


Abbildung 3.23: Die Abbildung zeigt das Driftzeitspektrum der Extraction 9174 des ersten Supermoduls

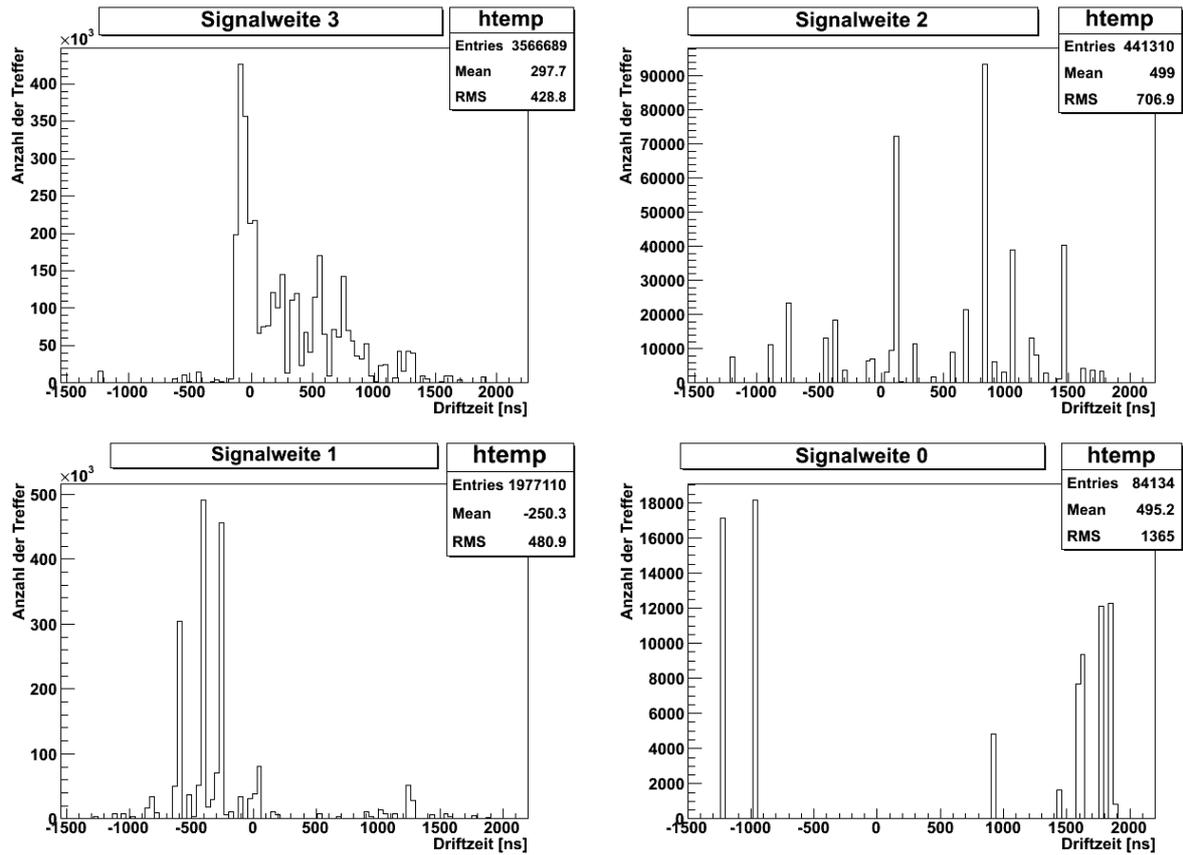


Abbildung 3.24: Die Abbildung zeigt das Driftzeitspektrum der Extraction 9174 des zweiten Supermoduls

Kapitel 4

Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde die Qualität der Driftröhrendaten auf verschiedene Weise analysiert. Eine Herangehensweise war es, die Daten auf Auffälligkeiten über einen längeren Zeitraum hin zu betrachten. Es konnte dabei auffälliges Verhalten bei unterschiedlichen Signalweiten festgestellt werden. Dieses Verhalten wiederum konnte auf einzelne Precision Tracker Wände oder Röhren zurückgeführt werden. Es konnten weiterhin einige Röhren mit überdurchschnittlich vielen Events identifiziert werden. Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit besteht in der Analyse verschiedener Qualitätsparameter für das Driftzeitspektrum bei Signalweite 3 für die einzelnen Extractions. Es hat sich bisher kein Parameter als besonders wertvoll herausgestellt. Auffälligkeiten in den Fitparametern können gut auf einen unregelmäßigen Verlauf des Driftzeitspektrums hinweisen. Allerdings schlagen sich einige Unregelmäßigkeiten nicht in Fitparametern nieder. Zusätzlich sind diese Fitparameter nur in dem Bereich des Driftzeitspektrums sensibel auf den Fit angewendet wird. Einzelne hohe Peaks können oft nicht anhand dieser Parameter identifiziert werden.

Die folgenden Tabellen(4.1 für Supermodul 1 und 4.2 für Supermodul 2) bieten einen zusammenfassenden Überblick auf die Extractions mit auffälligen Parametern. Es ist jeweils angegeben durch welche Parameter die Extractions auffällig geworden sind. Zusätzlich ist vermerkt, ob die jeweilige Extraction auffällige Peaks aufweist. Extractions mit besonders hohen oder niedrigen Trefferanzahlen sind bereits vorher aussortiert worden. Viele auffällige Mean-Werte und RMS-Werte waren beispielsweise durch sehr niedrige Trefferanzahlen zu erklären. Darüberhinaus sind die RMS- und Mean-Werte bei besonders großer Abweichung der Form eines Driftzeitspektrums sensibel. Im zweiten Supermodul weisen wesentlich weniger Extractions einen auffälligen Parameter auf. Dies ließ bereits sich in den schmaleren Verteilungen der Parameter ablesen.

Extraction	Mean	RMS	Fitparameter 1	Fitparameter 2	Peaks
9008			×	×	
9012		×			
9034		×			
9035				×	
9041		×	×	×	
9049			×	×	
9054			×	×	
9079			×	×	×
9101				×	
9103			×	×	
9115			×	×	
9119			×	×	
9126			×	×	
9132			×	×	
9136		×			×
9159			×	×	
9161		×			
9165			×	×	
9195			×	×	
9206			×	×	
9209		×			
9222			×	×	×
9229			×	×	
9230		×			
9236			×	×	
9241			×	×	
9243			×	×	
9247			×	×	
9250			×	×	
9254			×	×	
9262			×	×	
9277		×			×
9292			×	×	
9296			×	×	
9298			×	×	
9303			×	×	
9327			×	×	
9331			×	×	×
9335			×	×	
9336			×	×	
9342			×	×	
9344		×			
9349				×	
9350			×	×	

Tabelle 4.1: In der ersten Spalte ist die Extraction Nummer aufgelistet. In der zweiten bzw. dritten Spalte ist angegeben, ob der Mean-Wert bzw. RMS-Wert außerhalb des definierten Bereiches liegt. Die vierte Spalte gibt an, ob der Fitparameter p1 größer als 400 ist. Die fünfte Spalte gibt an, ob der Fitparameter p2 kleiner als -1,3 ist. Die letzte Spalte beschreibt, ob das Driftzeitspektrum auffällige Peaks aufweist.

Extraction	Mean	RMS	Fitparameter 1	Fitparameter 2	Peaks
9029	×	×			×
9032		×			
9033		×		×	×
9035	×		×	×	
9036	×		×	×	
9037	×	×	×		×
9038			×	×	×
9039			×	×	×
9044			×	×	
9052			×	×	
9097			×	×	
9153			×	×	
9235				×	
9269				×	×
9324			×	×	
9330			×	×	

Tabelle 4.2: In der ersten Spalte ist die Extraction Nummer aufgelistet. In der zweiten bzw. dritten Spalte ist angegeben, ob der Mean-Wert bzw. RMS-Wert außerhalb des definierten Bereiches liegt. Die vierte Spalte gibt an, ob der Fitparameter p1 größer als 300 ist. Die fünfte Spalte gibt an, ob der Fitparameter p2 kleiner als -1,3 ist. Die letzte Spalte beschreibt, ob das Driftzeitspektrum auffällige Peaks aufweist.

Im Rahmen der Datenanalyse der Driftröhren ergeben sich weiterhin vielerlei Ansatzpunkte zu anknüpfenden Studien. So wäre es zunächst einmal sicherlich sinnvoll Röhren mit auffällig vielen Treffern aus den Analysen auszuschließen. Ein Ansatzpunkt für weitere Analysen könnte sein, nur Events zu betrachten die zu einer rekonstruierten Spur geführt haben und sie mit Ergebnissen dieser Arbeit zu vergleichen. Dies könnte klären, ob die Signalweite 2 eventuell nicht mehr zur Rekonstruktion von Spuren herangezogen werden sollte. Die auffälligen Extractions könnten ebenfalls in weiteren Analysen bearbeitet werden. Es wurde bereits versucht zu einigen Extractions auffällige Logbucheinträge zu finden, die einen Hinweis auf erkannte Probleme in diesem Zeitraum geben. Diese Recherche könnte auf einen längeren Zeitraum ausgedehnt werden. Desweiteren könnte mit Hilfe der Software „Opera-Display“ eine Analyse der auffälligen Extractions weitere Erkenntnisse bringen. Mit dieser Software lassen sich zu Driftröhren-Treffer auch die zugehörigen Daten anderer Detektorkomponenten kompakt betrachten. In den letzten Tagen dieser Arbeit wurde versucht, die bisherigen Ergebnisse mit Monte-Carlo-Daten zu vergleichen. Es stellte sich leider heraus, dass die verwendeten Daten nicht geeignet waren, da hier keine Events mit Signalweite 3 vorhanden waren. Zukünftige Arbeiten könnten versuchen diese Probleme zu lösen.

Die Analyse der Daten war mit einem ständigen Lernprozess verbunden. So ergaben sich immer wieder neue Sachverhalte, die eine neue Betrachtung der vorherigen Analysen erforderte. Die Vorgehensweise in dieser Arbeit lässt sich teilweise im Zwiebelschalenmodell beschreiben. Mit jedem Analyse-Schritt konnte eine tiefere Ebene für die Ursache einer Auffälligkeit erforscht werden. Dieser Lernprozess führt auch dazu, dass wenn man auf Grundlage des neu erworbenen Wissens diese Analyse von vorne beginnen würde, man sicherlich vielerlei Dinge gleich anders angehen würde. Diese Arbeit kann also als Bearbeitung der ersten Schalen in der Analyse der Datenqualität der Driftröhren verstanden werden. So können die Ergebnisse dieser Arbeit als Grundlage für zukünftige Analysen benutzt werden, sich an tieferliegende Schalen vorzuarbeiten.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Schematische Flugbahn der Neutrinos vom CERN zum LNGS	7
2.2	Schematischer Aufbau des Opera Detektors	8
2.3	Schematischer Aufbau eines Bricks	10
2.4	Schematischer Aufbau des Spektrometers ohne Driftröhren	12
2.5	Prinzip der Driftröhre	13
2.6	Typisches Driftzeitspektrum	16
2.7	Driftröhrenmodul des Precision Trackers	17
2.8	Schematische Seitenansicht Spektrometer	17
3.1	Driftzeitspektrum Supermodul 1	19
3.2	Driftzeitspektrum Supermodul 2	20
3.3	Driftzeitspektrum der unterschiedlichen Signalweiten Supermodul 1	22
3.4	Driftzeitspektrum der unterschiedlichen Signalweiten Supermodul 2	22
3.5	Driftzeitspektrum der PT-Wände bei Signalweite 3 in Supermodul 1	23
3.6	Driftzeitspektrum der PT-Wände bei Signalweite 2 in Supermodul 1	24
3.7	Driftzeitspektrum der PT-Wände bei Signalweite 1 in Supermodul 2	25
3.8	Driftzeitspektren einer Auffälligen Röhre	26
3.9	Mean Verteilung Supermodul 1	28
3.10	Mean Verteilung Supermodul 2	28
3.11	RMS Verteilung Supermodul 1	29
3.12	RMS Verteilung Supermodul 2	29
3.13	Fit des Driftzeitspektrums Supermodul 1	30
3.14	Fit des Driftzeitspektrums Supermodul 2	31
3.15	Verteilung des Fitparameters p2 Supermodul 1	32
3.16	Verteilung des Fitparameters p2 Supermodul 2	32
3.17	Verteilung des Fitparameters p1 Supermodul 1	33

3.18	Verteilung des Fitparameters p1 Supermodul 2	33
3.19	Driftzeitspektrum Extraction 9039	34
3.20	Driftzeitspektrum Extraction 9039(fein)	35
3.21	Driftzeitspektrum Extraction 9022	36
3.22	Driftzeitspektrum Extraction 9022(fein)	36
3.23	Driftzeitspektrum Extraction 9174 Supermodul 1	37
3.24	Driftzeitspektrum Extraction 9174 Supermodul 2	38

Literaturverzeichnis

- [1] <http://proj-cngs.web.cern.ch/proj-cngs/>.
- [2] <http://www-opera.desy.de>.
- [3] The OPERA Collaboration. An appearance experiment to search for $\nu_\mu \leftrightarrow \nu_\tau$ oscillations in the CNGS beam, Experiment Proposal, 2000.
- [4] T. Ferber. Messung der Gaseigenschaften unter Einfluss von molekularem Sauerstoff und Aufbau eines Gassystem für das Driftröhren-Myon-Spektrometer des OPERA-Detektors. Master's thesis, Universität Hamburg, 2009.
- [5] B. Janutta. *Inbetriebnahme und Funktionsnachweis des OPERA Precision Trackers insbesondere des Zeitmesssystems*. PhD thesis, Universität Hamburg, 2008.
- [6] J. Lenkeit. Kalibrationsmessungen für das Driftröhren-Myon-Spektrometer des OPERA-Detektors. Master's thesis, Universität Hamburg, 2007.
- [7] C. Oldorf. Studien zu den Nachweiseigenschaften des OPERA-Driftröhrenspektrometers. Master's thesis, Universität Hamburg, 2009.
- [8] B. Wonsak. *Die Spurrekonstruktion für das Driftröhren-Myon-Spektrometer des Neutrino-Experiments OPERA*. PhD thesis, Universität Hamburg, 2007.

Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig verfasst wurde und ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel - insbesondere keine im Quellenverzeichnis nicht benannten Internet-Quellen - benutzt habe und die Arbeit von mir vorher nicht in einem Prüfungsverfahren eingereicht wurde. Die eingereichte schriftliche Fassung entspricht der auf dem elektronischen Speichermedium. Ich bin damit einverstanden, dass die Bachelorarbeit veröffentlicht wird.

20.09.2010, Hamburg