

Physikpraktikum für Vorgerückte

Driftkammer

Christian Walther <cwalther@gmx.ch>

Dezember 2003

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	2
2	Versuchsaufbau	2
3	Gasverstärkung	2
4	Driftgeschwindigkeit	4
5	Teilchenspuren	7
5.1	Messung	7
5.2	Auswertung	8
5.3	Messgenauigkeit	12

1 Zusammenfassung

Die Driftkammer ist ein Detektor für teilchenphysikalische Experimente, in dem zur Bestimmung der Bahn eines ionisierenden Teilchens die Zeit gemessen wird, die vom Teilchendurchgang erzeugte freie Elektronen benötigen, um in einem elektrischen Feld zu einer positiven Elektrode zu driften. Im vorliegenden Versuch wurden an einer kleinen Driftkammer Messungen zur Gasverstärkung und zur Driftgeschwindigkeit gemacht und schliesslich die Bahnen von Myonen aus der kosmischen Strahlung beobachtet.

2 Versuchsaufbau

Die Driftkammer besteht im Wesentlichen aus einem mit einem Argon-Ethan-Gemisch gefüllten Plattenkondensator mit vertikalen Platten, vor dessen Anodenplatte 7 horizontale Drähte gespannt sind, die auf noch stärker positivem Potential liegen. Durchquert ein ionisierendes Teilchen von oben nach unten die Kammer, driften die erzeugten Elektronen zunächst mit konstanter Geschwindigkeit entlang des homogenen horizontalen Feldes. Sobald sie in die Nähe eines Drahtes kommen, wo die Feldstärke stark ansteigt, lösen sie durch Gasverstärkung eine Elektronenlawine aus, die schliesslich durch den Draht abfließt und detektiert werden kann. Die Stromsignale von den Drähten werden zuerst vorverstärkt und dann in einem Flash Analog-to-Digital Converter (FADC) fortwährend abgetastet, digitalisiert und zwischengespeichert. Oberhalb und unterhalb der Kammer liegen zwei Szintillatoren mit nachgeschalteten Photomultipliern, die als Trigger dienen: Sobald von beiden ungefähr gleichzeitig ein Signal kommt, was auf einen Teilchendurchgang durch die Kammer hindeutet, wird nach einer gewissen Zeit, die grösser als die maximale Driftzeit sein sollte, die Abtastung gestoppt und der Speicherinhalt des FADC auf einen Computer ausgelesen. Ist das Auslesen beendet, wird die Abtastung wieder eingeschaltet, und die Anordnung ist bereit für den nächsten Teilchendurchgang.

Die Details des Versuchsaufbaus und seiner Funktion sind in der Versuchsanleitung beschrieben und sollen hier nicht wiederholt werden.

3 Gasverstärkung

Um gut detektierbare Signale von den Drähten zu bekommen, sollte die Gasverstärkung möglichst gross sein. Andererseits dürfen die Pulse nicht so stark sein, dass die Vorverstärker gesättigt werden, und ausserdem darf die Feldstärke nicht so hoch sein, dass permanente Gasentladungen auftreten. Um die günstigste Anodenspannung (Spannung zwischen Anodenplatte und Anodendrähten) zu finden, wurden zunächst mit einem Oszillographen direkt die Signale von den Vorverstärkern beobachtet. Um die Zählrate zu erhöhen, wurde auf der Driftkammer ein Beta-Strahler ($^{90}_{38}\text{Sr}$) platziert. Die Idee war, mit einem möglichst tief eingestellten Triggerpegel des Oszillographen möglichst alle Pulse und möglichst kein Rauschen einzufangen, die Pulsform über viele Pulse zu mitteln und dann die Pulshöhe abzulesen.

Bei dieser Messung zeigte sich, dass am Ausgang der Vorverstärker drei deutlich verschiedene Arten von Pulsen auftreten (Abbildung 1), und zwar bei allen Drähten:

Weitaus am häufigsten kommen Pulse der Form A vor: relativ kurz und zeitlich unge-

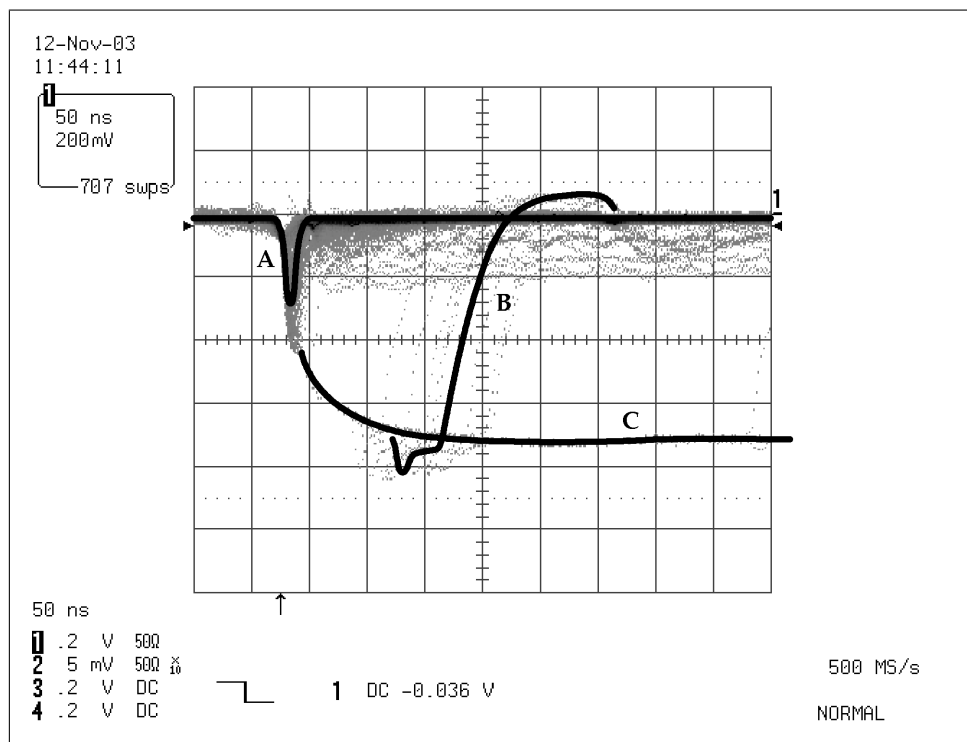


Abbildung 1: Pulsformen am Ausgang der Vorverstärker

fähr symmetrisch. Offenbar sind es diese, die wir eigentlich beobachten wollen. Daneben gab es aber auch Pulse der Form B (stark, von mittlerer Länge und mit eigentümlichen Überschwingungen) und der Form C (ca. $1.5 - 2 \mu s$ lang und während dieser Zeit scharf an der Sättigungsgrenze der Vorverstärker bei ca. 800 mV, so dass die ursprünglichen Pulse wohl noch viel stärker waren). Es scheint sich hier um so etwas wie temporäre Gasentladungen zu handeln, vielleicht zwischen den Signaldrähten und den Feldformungsdrähten, die durch besonders starke oder besonders ausgedehnte Elektronenlawinen ausgelöst werden könnten. Diese Pulse verfälschen natürlich die Mittelwertbildung, bei der idealerweise nur Pulse vom Typ A berücksichtigt werden sollten. Weil die Pulsformen B und C jedoch viel weniger häufig sind, ist der dadurch verursachte Fehler so klein, dass er den zusätzlichen Aufwand, den die Isolierung der A-Pulse erforderte, nicht rechtfertigt. B- und C-Pulse werden mit steigender Anodenspannung zwar häufiger, jedoch erreicht ihre Häufigkeit nie diejenige der A-Pulse.

Das Resultat dieser Messungen (zwei Messpunkte für jede Spannung, je 200 – 500 Pulse gemittelt) zeigt Abbildung 2. Unter 1.4 kV Anodenspannung sind die Pulse so schwach, dass sie schwer vom Rauschen zu trennen sind und keine zuverlässige Messung möglich ist. Über 1.8 kV werden die Schwankungen zwischen den einzelnen Messungen durch die höhere Häufigkeit von B- und C-Pulsen grösser. Theoretisch vorhergesagt (siehe Versuchsanleitung) wird in einem gewissen Bereich eine exponentielle Abhängigkeit der Gasverstärkung von der Anodenspannung. Dies scheint im be-

trachteten Bereich recht gut erfüllt zu sein, wie die gestrichelte exponentielle Fit-Kurve zeigt.

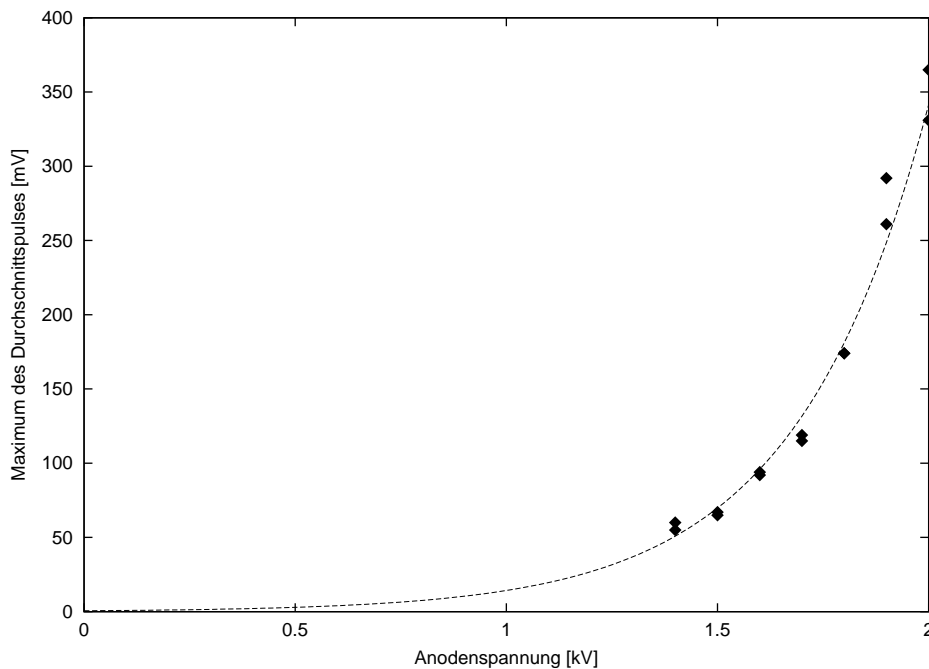


Abbildung 2: Gasverstärkung: Messwerte und exponentieller Fit

4 Driftgeschwindigkeit

Der FADC speichert für jeden Draht die letzten 256 Abtastwerte. Um die Abtastfrequenz so zu wählen, dass diese Speichertiefe möglichst gut ausgenutzt wird, muss man die maximale Driftzeit kennen. Die Driftgeschwindigkeit wird ausserdem benötigt, um für die Eichung der Teilchenspurenmessungen die gemessenen Zeiten in Längen umzurechnen. Der Zusammenhang zwischen diesen Grössen ist, dass die maximale Driftzeit zustandekommt für die maximale Driftstrecke, und diese ist gegeben durch die geometrischen Abmessungen der Kammer.

Um die maximale Driftzeit für eine gegebene Driftspannung zu messen, wird die Triggerelektronik eingeschaltet und das Ausgangssignal der Koinzidenzeinheit als Triggersignal für den Oszillographen verwendet. Auf anderen Kanälen werden dann die Signale von einem oder mehreren (hier zwei) Drähten beobachtet, wobei der Oszillograph so eingestellt ist, dass die Kurven von allen gesammelten Ereignissen überlagert sichtbar bleiben. Für hohe Driftspannungen sieht man so nach einigen hundert Ereignissen, dass die Pulse in einem klar definierten Fenster auftreten (Abbildung 3 oben). Es beginnt eine kurze Zeit nach dem Triggersignal (hier gehen alle Reaktionszeiten der Elektronik ein) für Teilchen, die direkt bei den Drähten vorbeiflogen, und endet eine gewisse Zeit später für Ereignisse kurz vor der Kathodenplatte. Die Länge dieses Zeit-

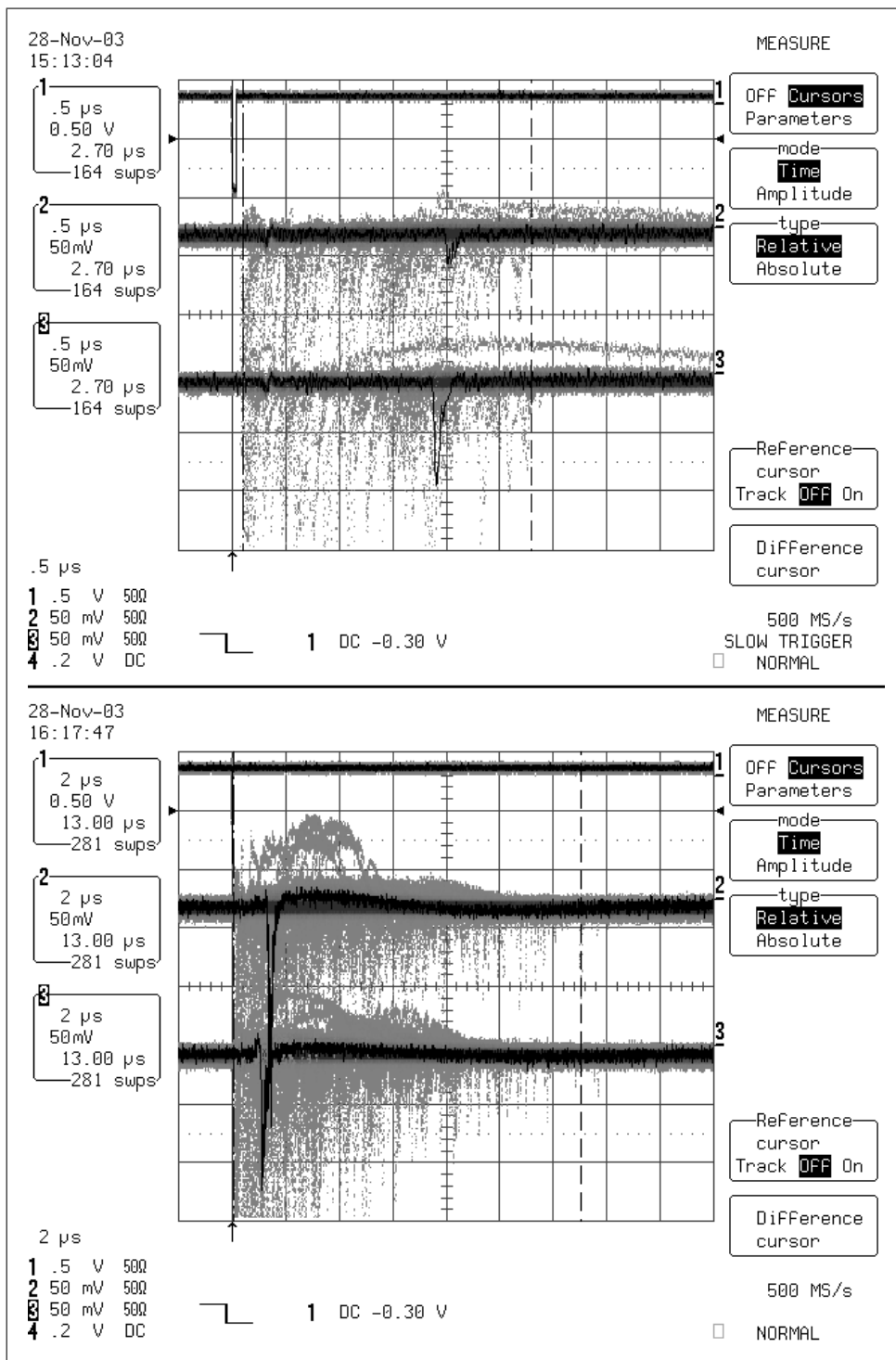


Abbildung 3: Driftzeitmessung. Oben: 3.3 kV, unten: 0.5 kV Driftspannung. Kanal 1: Triggersignal, Kanal 2: Draht 5, Kanal 3: Draht 3

fensters ist die gesuchte maximale Driftzeit. Für kleine Driftspannungen (Abbildung 3 unten) beobachtet man, dass frühe Pulse viel häufiger und stärker sind als spätere, für grössere Zeiten ist die Häufigkeit und die Pulsstärke so gering, dass kein klares Ende des Zeitfensters mehr auszumachen ist. Dies verursacht einen grossen Fehler in der Schätzung der maximalen Driftzeit. Offenbar kommt es hier vor, dass die Elektronenwolken auf einem langen Driftweg durch Verunreinigungen im Kammergas oder ähnliches abgeschwächt werden und häufig gänzlich versanden, bevor sie die Drähte erreichen.

Als Anodenspannung wurde für diese Messungen 1.8 kV gewählt, um eine genügend grosse Gasverstärkung zu haben, aber noch nicht zu viele von den störenden Pulsen der Typen B und C. Dies funktionierte gut für hohe Driftspannungen, für 2.0 kV und darunter wurde die Anodenspannung auf 1.9 kV erhöht und für 0.5 kV schliesslich auf 2.0 kV, um von den schwachen Pulsen langer Driftzeit noch möglichst viele aufzufangen.

Das Resultat der Messungen zeigt Abbildung 4. Mit Hilfe der bekannten maximalen

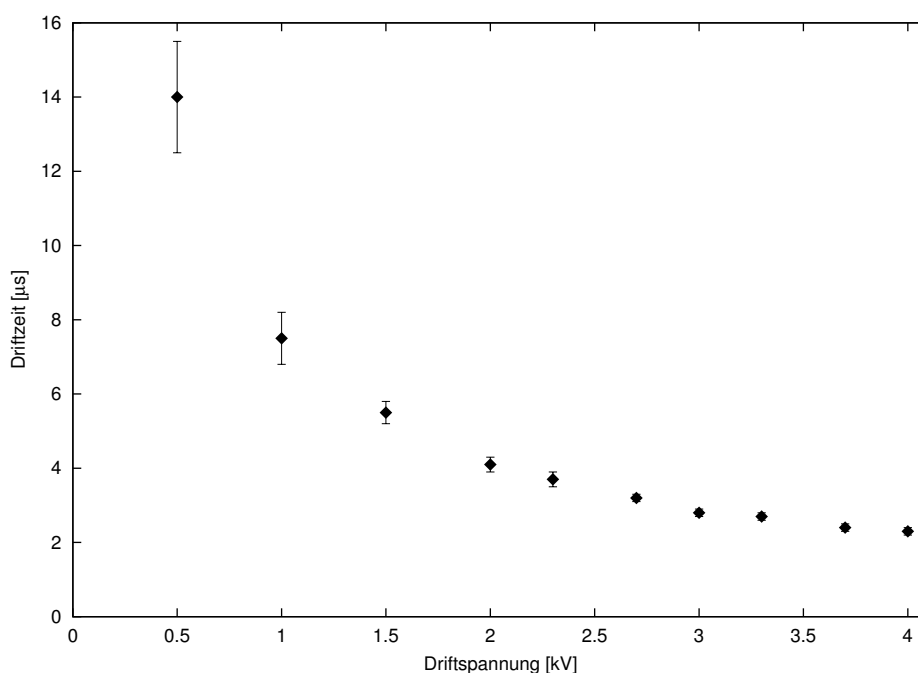


Abbildung 4: Driftzeiten

Driftlänge von 8.9 cm wurden die gemessenen Zeiten dann in Driftgeschwindigkeiten umgerechnet: Abbildung 5. Man sieht, dass die theoretisch vorhergesagte Proportionalität der Driftgeschwindigkeit zum elektrischen Feld (Drude-Modell) für tiefe Driftspannungen gut erfüllt ist, während für Spannungen über 3 kV eine gewisse Sättigung zu erkennen ist. Dass die Punkte für 0.5 und 1.0 kV über der Regressionsgeraden liegen, könnte daher kommen, dass wegen der Seltenheit der späten Pulse die Driftzeit zu kurz eingeschätzt worden ist. Aus der Steigung der Regressionsgeraden errechnet sich die Mobilität der Elektronen zu $(1.00 \pm 0.05) \text{ m}^2/\text{Vs}$, entsprechend einem mittlere

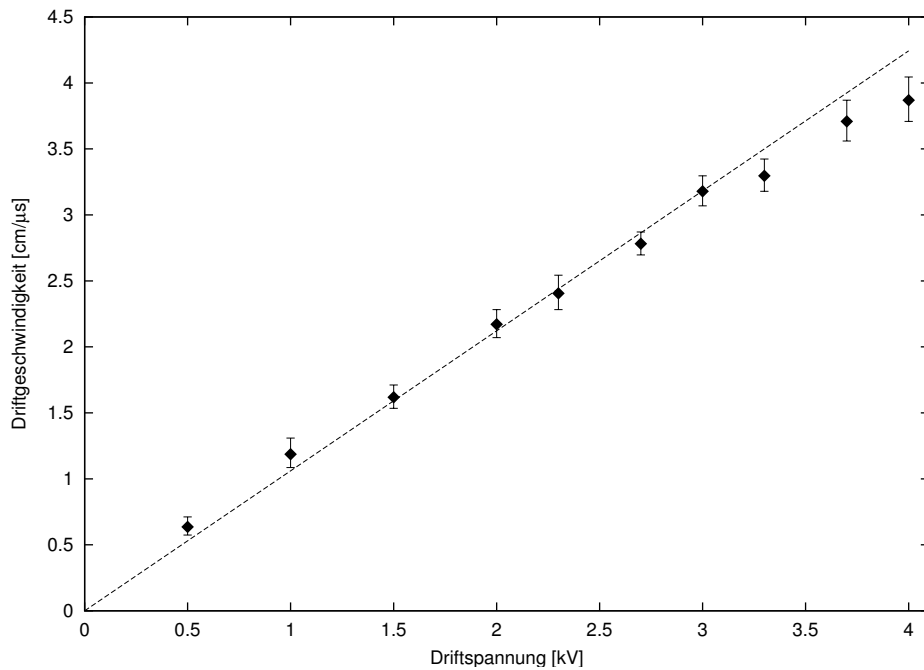


Abbildung 5: Driftgeschwindigkeiten

ren Stossabstand von $(5.7 \pm 0.3) \cdot 10^{-12}$ s.

5 Teilchenspuren

5.1 Messung

Das Zeitfenster, in dem Pulse auftreten können, beginnt kurz nach dem Triggersignal, und seine Länge kann durch die Driftspannung eingestellt werden. Das Zeitfenster, über welches der FADC seine Abtastwerte speichert, endet $3.35 \mu\text{s}$ nach dem Triggersignal (dann kommt das Auslesesignal) und beginnt 256 Taktperioden früher, sein Beginn kann also durch die Frequenz des taktgebenden Oszillators eingestellt werden. Um keine Pulse zu verlieren, muss das Pulsfenster ganz innerhalb des Speicherfensters liegen, und um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erzielen, sollte es das Speicherfenster möglichst gerade ausfüllen. Um dies zu erreichen, muss das Ende des Pulsfensters ungefähr bei $3.35 \mu\text{s}$ nach dem Triggersignal (aber nicht später) liegen und der Beginn des Speicherfensters ungefähr beim Triggersignal (aber nicht später als der Beginn des Pulsfensters). Ersteres erreicht man nach den Resultaten der Driftzeitmessung für eine Driftspannung von ungefähr 2.7 kV ; unter Berücksichtigung der Tatsache, dass das Pulsfenster ca. $0.1 \mu\text{s}$ nach dem Triggersignal liegt, und mit etwas Sicherheitsabstand wurden hier 2.8 kV gewählt. Letzteres würde erreicht durch eine Oszillatorperiode von $3.35 \mu\text{s} / 256 = 13.09 \text{ ns}$. Die minimale Periode des Oszillators liegt jedoch gerade bei 13.55 ns , so dass diese verwendet wurde, was eine Speicherfensterlänge von $3.47 \mu\text{s}$

ergibt. Als Anodenspannung wurde wie schon vorher 1.8 kV benützt.

Nach einigen kurzen Testläufen zur Überprüfung der Parameter wurde die Datennahme zur Beobachtung der Spuren von Myonen aus der kosmischen Strahlung gestartet. Als sie eineinhalb Stunden später gestoppt wurde, hatte der Computer 2680 Ereignisse gezählt und davon 1655 für gut befunden und gespeichert. Den Bildschirm des zur Überwachung ebenfalls mitlaufenden Oszillographen zeigt Abbildung 6 (aus unerfindlichen Gründen zählte der Oszillograph nur 2662 Ereignisse).

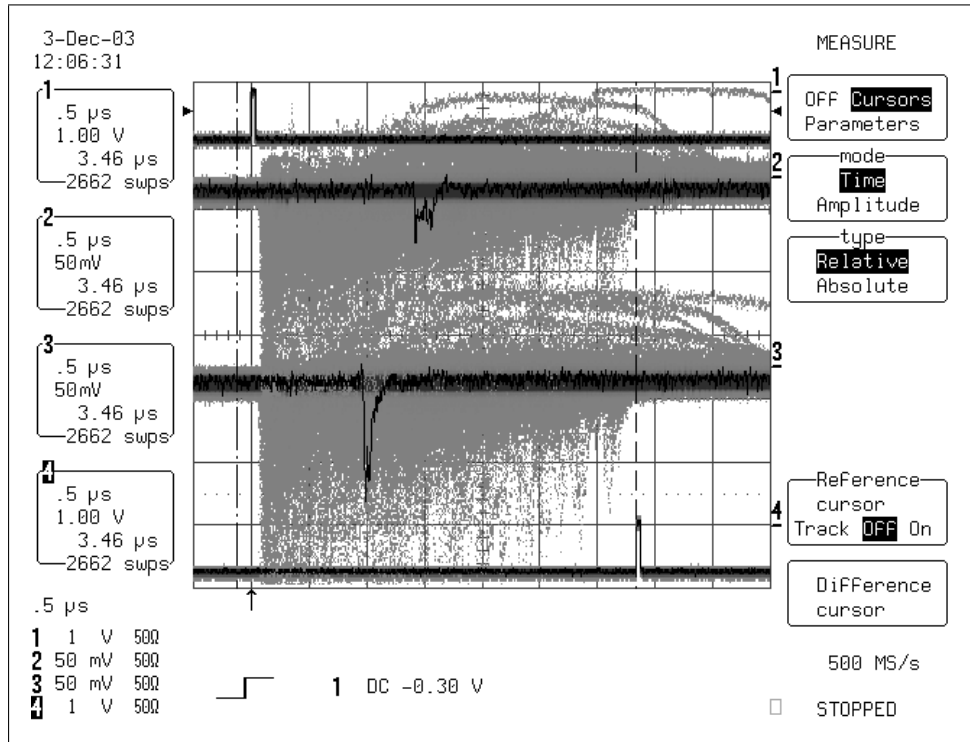


Abbildung 6: Oszillographenbildschirm nach der Teilchenspuren-Datennahme. Kanal 1: Trigger-signal, Kanal 2: Draht 6, Kanal 3: Draht 2, Kanal 4: Auslesesignal. Zwischen den gestrichelten Linien das Speicherfenster.

5.2 Auswertung

Was vom Computer gespeichert wird, ist für jedes Ereignis und für jeden Draht die zeitliche Position des Pulses in Einheiten der Taktperiode, oder -1 , falls kein Puls gefunden wurde. Eine erste manuelle Analyse der Daten, zusammen mit einer Überprüfung mit dem Oszillographen, ergab, dass mit dem Draht 1 oder seinem Vorverstärker etwas nicht in Ordnung war. Er lieferte nur sehr schwache Impulse, die vom Labview-Programm auf dem Computer meistens gar nicht erkannt wurden. Der Rest der Daten schien jedoch brauchbar zu sein.

Die detaillierte Analyse der Daten wurde mit Matlab durchgeführt. Von den 1655 aufgezeichneten Ereignissen hatten 357 Signale von 5 Drähten, 776 von 6 und 18 von

7 (nur so wenige wegen des defekten Drahtes 1). Diese 1151 Ereignisse sind genug für eine aufschlussreiche Statistik, deshalb wurden nur sie betrachtet und die anderen, die weniger zuverlässige Ergebnisse liefern würden, weggelassen. Durch Identifikation der minimalen Driftzeit mit Strecke 0 und der maximalen Driftzeit mit der maximalen Strecke 8.9 cm wurden die gemessenen Zeiten in Längen umgerechnet. Dann wurde für jedes Ereignis die Ausgleichsgerade durch die Messpunkte gelegt, um die Teilchenbahn zu bestimmen. Eine besondere Behandlung benötigen hier die Bahnen, die in der Nähe der Drähte verlaufen: Hier kommt es vor, dass eine Teilchenbahn die Drahtebene schneidet, d.h. die Driftstrecke ist für die ersten Drähte grösser, für die mittleren klein, für die letzten wieder grösser (in die andere Richtung, aber das ist aus unseren Messdaten nicht ersichtlich). Für diese Fälle wurde ein Messpunkt nach dem anderen an der Drahtebene gespiegelt und dazwischen immer die Regressionsgerade berechnet. Diejenige Regressionsgerade mit dem kleinsten Residuum wurde schliesslich als Bahn genommen. Aus den Daten ist nicht ersichtlich, in welcher Richtung solche Bahnen die Drahtebene schneiden (die gefundene Bahn könnte ebensogut an der Drahtebene gespiegelt sein). Das beschriebene Verfahren findet immer die Richtung mit positiver Steigung. Ebenso werden Bahnen, die ganz hinter der Drahtebene verlaufen, nicht erkannt und als vor der Drahtebene liegend behandelt. Dies ist der Grund, weshalb Bahnen in den ersten 5 mm nach den Drähten etwa doppelt so häufig vorzukommen scheinen wie weiter entfernte.

Nach dieser Analyse wurden die grössten Ausreisser, die offensichtlich durch gleichzeitigen Durchlauf mehrerer Teilchen oder durch Fehleinschätzungen des Puls-Finders im Labview-Programm zustandekamen, von Hand entfernt. Von den übrigen Bahnen sind die ersten 100 in [Abbildung 7](#) gezeichnet, zusammen mit Drähten, Platten und Gehäuse der Driftkammer sowie den Trigger-Szintillatoren. In dieser Darstellung fällt folgendes auf:

- Die Driftkammer scheint in der linken Hälfte wesentlich empfindlicher zu sein als in der rechten. Dies erklärt sich durch die schon bei der Driftgeschwindigkeitsmessung beobachtete Tatsache, dass auf langen Driftwegen viele Elektronenwolken verlorengehen. Was man auf dem Oszillographen durch die Überlagerung von vielen Kurven erst bei noch geringeren Driftspannungen erkennen konnte, tritt hier schon bei 2.8 kV deutlich zutage.
- Es werden viele Bahnen beobachtet, die links neben den Szintillatoren vorbei gehen. (Man beachte, dass ein Teil der unten links vorbeigehenden Bahnen solche sind, die die Drahtebene schneiden, und also genausogut links oben vorbeigegangen sein könnten.) Entweder gehen die Szintillatoren weiter nach links als das in der Versuchsanleitung angegeben wird (das ist von aussen wegen der lichtdichten Verpackung nicht ersichtlich), oder dann wirken die zu den Photomultipliern laufenden Lichtleiter selber auch als Detektoren.
- Ausserdem scheint es eine beachtliche Anzahl von Bahnen zu geben, die so weit von den Triggern entfernt verlaufen, dass sie per Zufall durch irgendein Rauschen getriggert worden sein müssen.

Alle 1151 Ereignisse sind ausgewertet in den Histogrammen in [Abbildung 8](#). Es ist ersichtlich, dass die meisten Bahnen die Ebene des oberen Triggers auch tatsächlich im Triggerbereich vom -5 bis 89 mm durchlaufen, aber auch, dass es welche ausserhalb

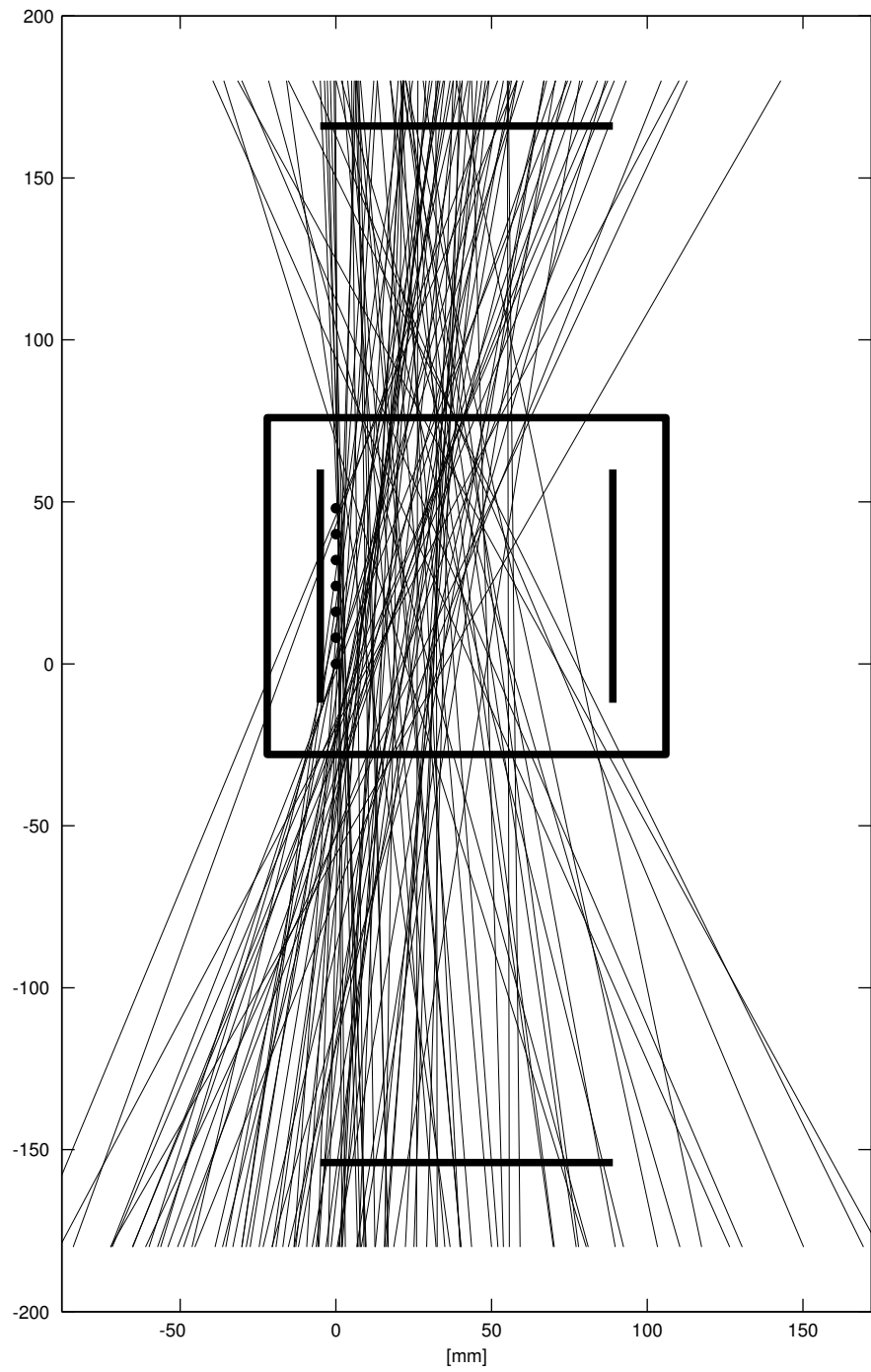


Abbildung 7: 100 Teilchenspuren

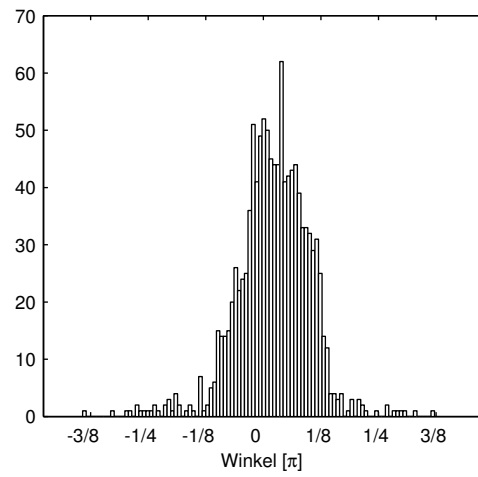
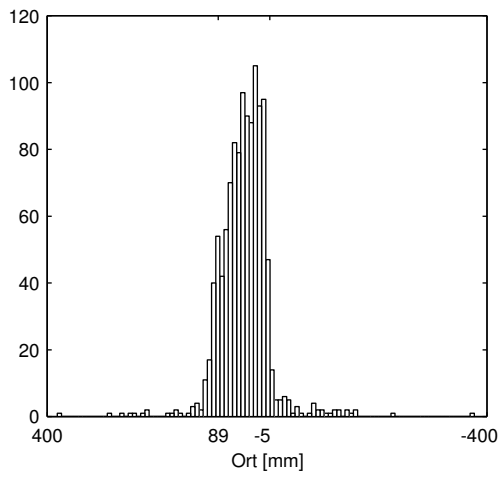
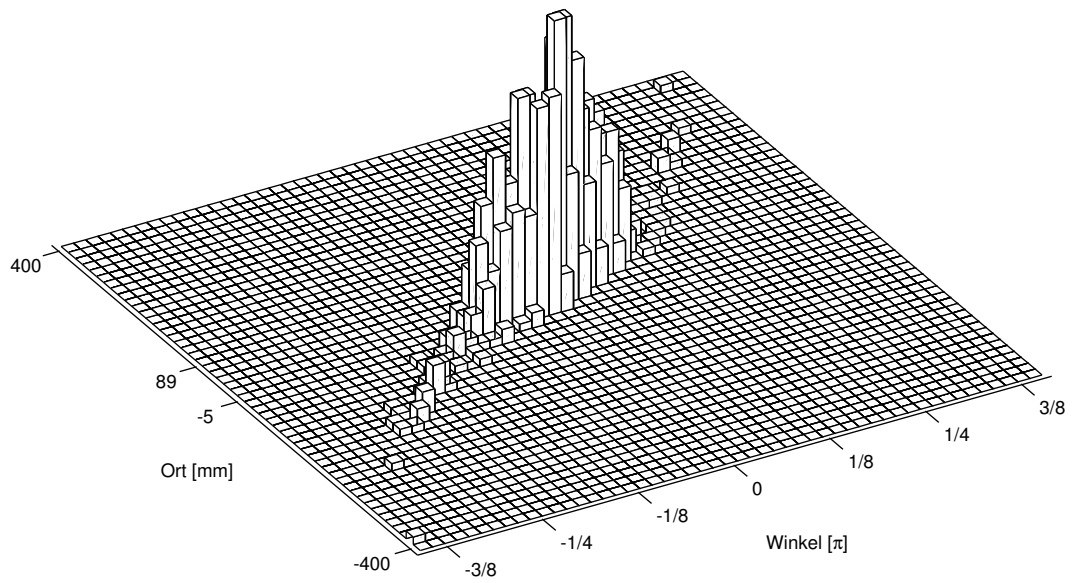


Abbildung 8: Histogramme von Durchstosspunkt durch den oberen Trigger und Winkel zur Vertikalen, kombiniert und einzeln

gibt, insbesondere in negativer Richtung (hier nach rechts, entspricht links in Abbildung 7). Der Winkel zur Vertikalen (genauer, der Winkel zwischen der Projektion der Bahn auf die Normalebene zu den Drähten und der Vertikalen) ist überraschenderweise ziemlich asymmetrisch verteilt, es gibt deutlich mehr positive als negative Winkel. Dies kann wohl nicht allein durch die Drahtebene-schneidenden Bahnen erklärt werden, da diese nur kleine Winkel haben sollten. Über die wahre Ursache lässt sich nur spekulieren. Sie wird jedoch höchstwahrscheinlich in der Messanordnung liegen, denn es gibt keinen Grund, eine asymmetrische Richtungsverteilung der kosmischen Strahlung anzunehmen

5.3 Messgenauigkeit

Eine Aussage über die Ortsauflösung der Driftkammer lässt sich gewinnen aus den Residuen der Geradenanpassungen. Deren Verteilung ist in Abbildung 9 dargestellt (Histogramm mit 0.1-mm-Intervallen). Der Wert grösster Häufigkeit ist 0.4 mm, der Mittelwert 1.4 mm.

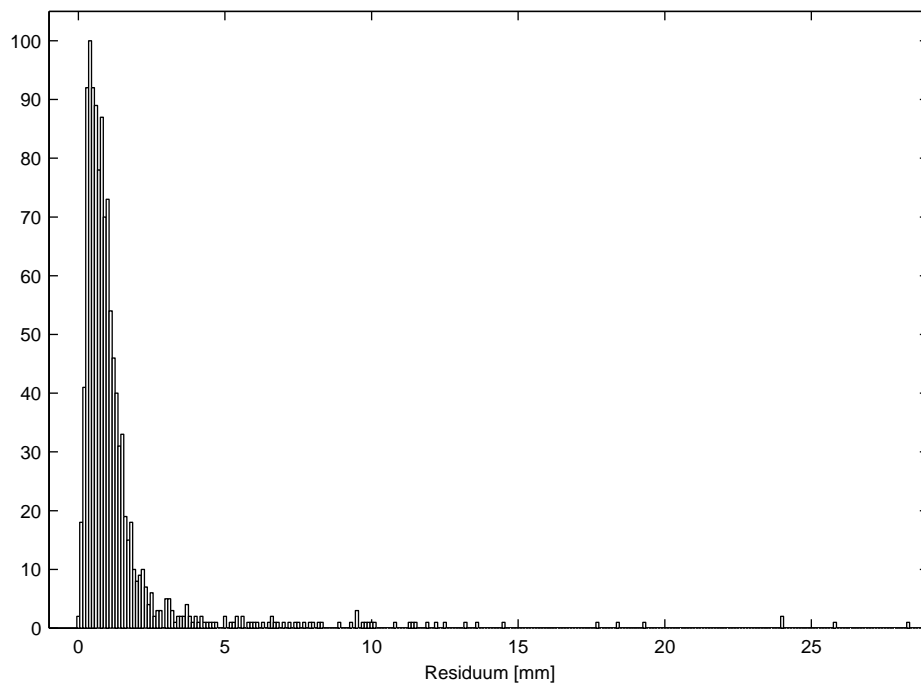


Abbildung 9: Histogramm der Residuen