

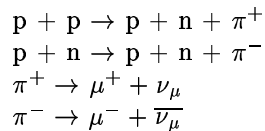
Versuch zur Höhenstrahlung

26. April 2002

1 Grundlagen

1.1 Höhenstrahlung

Die Höhenstrahlung wurde 1913 von V.F. Hess und W. Kohlhörster bei Ballonfahrten entdeckt. Sie ist eine hochenergetische Teilchenstrahlung die aus Supernovae und stellaren Nebeln, die als eine Art Beschleuniger dienen, hervorgeht. Man unterteilt die Höhenstrahlung in primäre kosmische Strahlung und Sekundärstrahlung. Die primäre kosmische Höhenstrahlung besteht hauptsächlich (87%) aus Protonen und einem Teil (12%) α -Teilchen sowie Kernen mit $Z \geq 3$ und einigen wenigen schwereren Kernen (1%), die man als Fragmente schwererer Kerne betrachtet und noch 2% Elektronen. Ihre Energie reicht bis zu 10^{21} eV, das ist ein Vielfaches der heute in Beschleunigern erreichten Energien. Die Wechselwirkung der primären Strahlung mit der Atmosphäre erzeugt die sekundäre Höhenstrahlung. Durch hochenergetische Proton-Proton oder Proton-Neutron Stöße entstehen Pionen, die wiederum in Myonen zerfallen, die 80% der Sekundärstrahlung ausmachen:



Die Lebensdauer der Myonen beträgt $2.2 \mu s$. Diese Lebensdauer wäre zu kurz um die Erde zu erreichen, die Myonen würden nach ca. 600 m wieder zerfallen. Aufgrund ihrer relativistischen Geschwindigkeit aber ergibt sich nach den Regeln der Speziellen Relativitätstheorie eine viel größere Reichweite von ungefähr 12 km. Myonen wechselwirken aufgrund ihrer hohen Masse und ihrer hohen Energie sehr wenig mit anderer Materie, man kann sie z.B. noch in mehr als 1000m Tiefe im Meer nachweisen.

1.2 Plastiksintillatoren

In diesem Versuch verwenden wir Plastiksintillatoren. Plastiksintillatoren gehören zu den Organischen Szintillatoren. Diese Szintillatoren zeichnen sich durch ihre extrem schnellen Signale und hohe Lichtausgangsleistung. Desweiteren sind sie in beliebigen Formen herstellbar und sehr wichtig: Sie haben einen größeren Wirkungsquerschnitt als Kristallsintillatoren, da in Kunststoffen viel Wasserstoff enthalten ist, bei dem der Impulsübertrag der Myonen relativ groß ist. Der Nachteil ist allerdings ihre niedrige Energieauflösung. Er funktioniert im Prinzip wie ein Kristallsintillator, da die großen Plastikmoleküle kristallähnliche Strukturen bilden. Die Myonen regen beim Durchgang durch den Szintillator die Moleküle an. Wenn sich die Moleküle abregen senden sie Photonen aus. Da jedoch die Anregungsenergie und die Energie der Photonen übereinstimmen, regen diese Photonen das nächste Molekül wieder an dieses geht wieder in seinen Grundzustand über, wobei wieder die

gleiche Energie abgestrahlt wird usw. Es würden also sehr wenige Photonen durch den Szintillator wandern. Man behilft sich einem Trick! Man bringt in das Plastik geringe Mengen Verunreinigungen, diese sorgen für Energieniveaus in der verbotenen Zone zwischen dem Leitungs- und Valenzband der Plastikmoleküle. Diese Energieniveaus werden auch Aktivatorzentren genannt. Wenn nun die Moleküle angeregt werden können auch solche Aktivatorzentren besetzt werden. Da die Aktivatorzentren nicht sehr häufig sind können die durch Abregung emmitierten Photonen nahezu ungehindert durch den Szintillator wandern. Mit einem Photomultiplier werden dann die Lichtsignale verstärkt und in elektrische Impulse verwandelt.

1.3 Diskriminatoren

Mit dem Diskriminator kann man einstellen, welche Signale weitergegeben werden und welche nicht. Er dient sozusagen als Filter, mit dem man z.B. die schwachen Untergrundsignale herausfiltern kann. An einem Diskriminator stellt man die Spannung ein, die mindestens vorliegen muß um den Impuls weiter zu verarbeiten.

1.4 LGS (Linear-Gate-Stretcher)

Mit dem LGS läßt sich ein Fenster auf einen Bereich des Spektrums setzen, d.h. alle Signale ausserhalb des Gates werden nicht berücksichtigt. Der Vorteil eines LGS ist, dass er alle Kanäle des ADC in dieses Fenster setzt. Beim normalen Gate werden die Kanäle ausserhalb des Fensters einfach ausgeschnitten. Dadurch ist der LGS wesentlich genauer, man hat weiterhin alle Kanäle zur Verfügung.

1.5 TAC (Time-to-Amplitude-Converter)

Ein TAC konvertiert eine Zeitdifferenz zwischen zwei logischen Signalen in einen Impuls, dessen Höhe proportional zur Zeitdifferenz ist. Die Zeitmessung wird durch einen Start-Impuls getriggert und durch einen Stop-Impuls beendet.

1.6 ADC (Analog-to-Digital-Converter)

Der ADC konvertiert die Höhe eines Impulses in ein digitales Signal, welches z.B. vom Computer ausgelesen werden kann. Der hier verwendete ADC besitzt 1024 Kanäle (0-1023), denen Spannungen von 0V bis maximal 8V zugeordnet werden können. Die Impulse des Input sollten somit maximal 8V betragen, dies wird mit dem Verstärker geregelt.

1.7 Delay

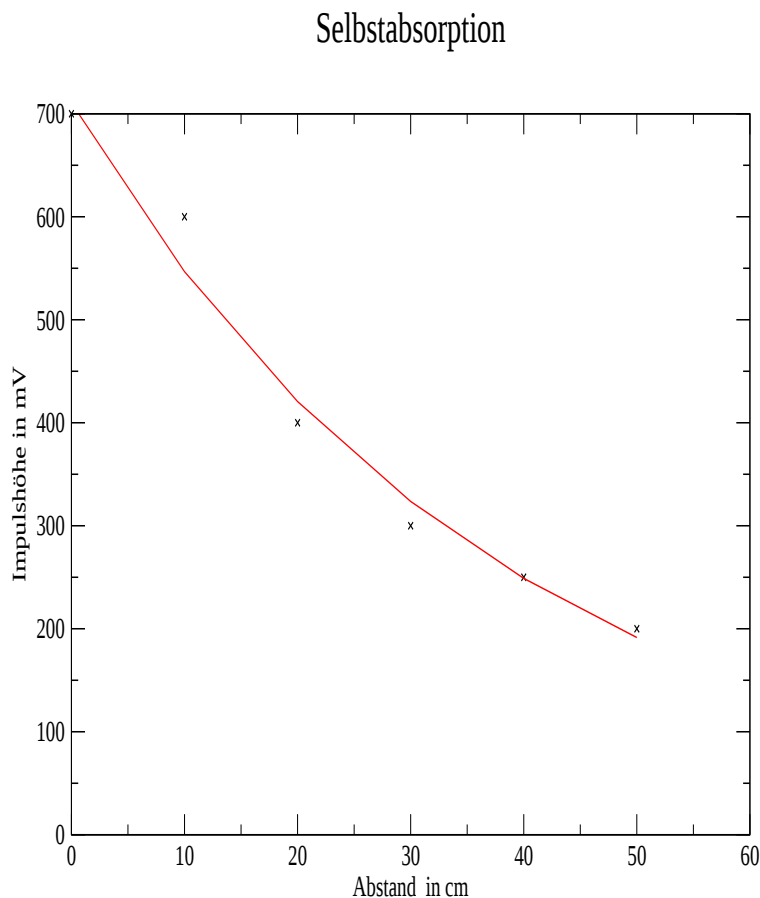
Ein Delay ist eigentlich nichts weiter als ein aufgerolltes Kabel. Es dient dazu Signale zu verzögern (wichtig z.B. bei Koinzidenzen).

1.8 Koinzidenzen

Koinzidenzen dienen dazu "Gleichzeitigkeiten" festzustellen. Sie geben nur dann ein Signal, wenn sich die beiden Eingangssignale überlappen. Man kann durch logische Verknüpfungen und Delays alle möglichen Bedingungen einstellen um ein bestimmtes Signal aus einer Vielzahl von Signalen herauszufiltern.

2 Versuchsdurchführung

Zunächst schaut man sich das unverstärkte Signal der Szintillatoren an, um sicherzugehen, dass alle Szintillatoren die gleiche Signalform geben. Da aufgrund der schnellen Signale im Koaxkabel Reflexionen entstehen muss man dieses mit einem 50Ω -Widerstand abschliessen. Die Signale haben bei allen drei Szintillatoren etwa 1.3V Impulshöhe und etwas mehr als 20 ns Länge. Um eine hohe Zeitaufösung gewährleisten zu können sollten die Signale gleich lang sein. Um eine Energieeichung durchzuführen verwendet man eine Na^{22} -Quelle. Das Problem hierbei ist, dass der Plastikszintillator eine Länge von ungefähr 60cm hat und man die Selbstabsorption der Szintillatorstrahlung nicht vernachlässigen darf.



Deshalb ist die Energieauflösung sehr schlecht, der Unterschied zwischen E_{min} und E_{max} beträgt mindestens etwa 70% der maximalen Energie die im Szintillator deponiert wird, weshalb der Fehler bis zu $\pm 35\%$ betragen kann. Wie man am Diagramm schön sieht, ist die Abschwächung exponentiell nach dem Gesetz $A = A_0 \exp^{-\lambda d}$ wobei man hier für λ den Wert:

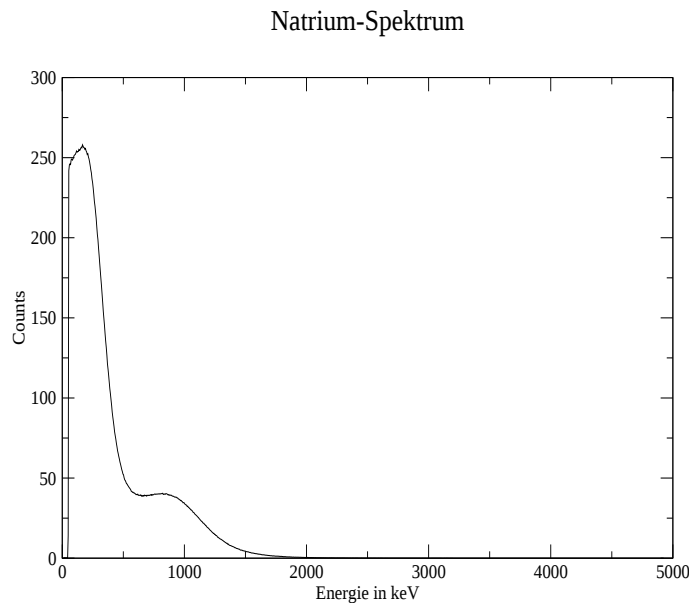
$$\lambda = \frac{-\lg \frac{A}{A_0}}{d} = 0.0262$$

2.1 Eichung der Energieskala

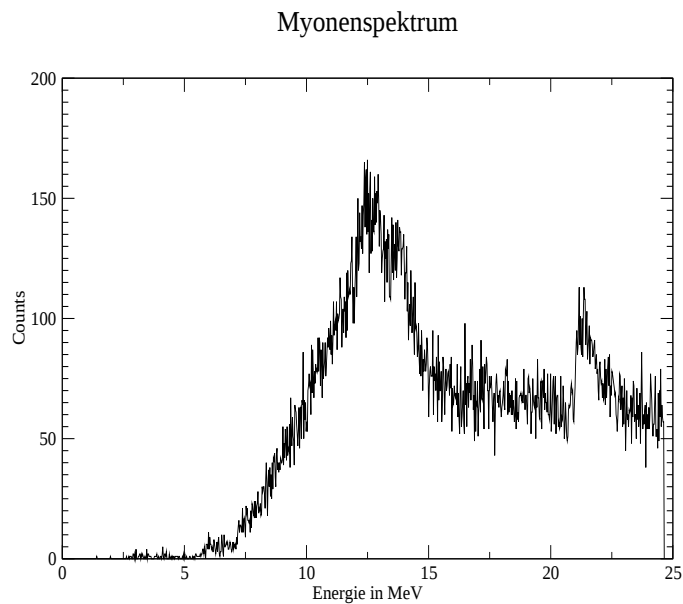
Zur Eichung der Energieskala werden nun die Energien der Na-Quelle den Kanälen zugeordnet. Diese Zuordnung macht man mit den bekannten Comptonkanten, da die Szintillatoren eine sehr schlechte Energieauflösung haben. Die Verstärkung wird am Amplifier so eingestellt, dass die Signale bis maximal 8 V verstärkt werden. Die Oszillatorsignale hatten eine maximale Impulshöhe von 200 mV, so dass wir eine Verstärkung von 500 wählten. Die zwei Comptonkanten haben die folgenden Energien und Lagen:

1.	Ch 82	341 keV
2.	Ch 231	1062 keV

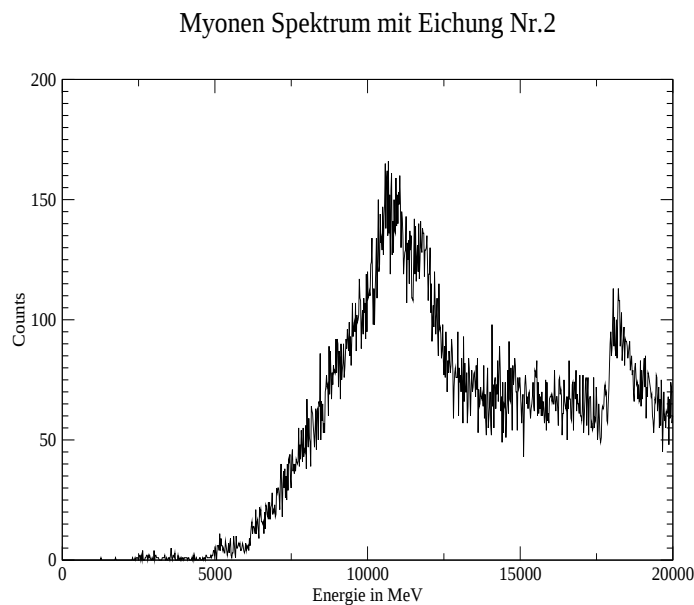
Das so erhaltene Spektrum reicht bis zu einer Energie von ungefähr 4.5 MeV, sie ist ja begrenzt durch die maximalen 8 V des ADC.



Diese Eichung wird nun mit der neuen Verstärkung (100fach) des Myonenspektrums skaliert, d.h. die Energie pro Kanal wird verfünffacht. Somit reicht die Energieskala bis ca. 25 MeV. Wir erwarten ein Maximum bei ungefähr 6 MeV.



Wir sehen zwei Peaks von denen der linke der erwartete ist. Der rechte Peak können wir uns nicht erklären. Man erkennt auch, daß die Energie der Myonen etwa um den Faktor 2 zu hoch ist! Das Maximum sollte zumindest unter 10MeV sein. Da wir noch eine zweite Eichkurve aufgenommen haben (Verstärkung 250, Messung bis ca. 8MeV möglich), deren Verstärkung näher an der des Myonenspektrums ist, erwartet man eine besser Eichung. Dies ist auch der Fall, der Peak verschiebt sich ein wenig nach links und zwar von 12,5MeV nach 10,7MeV, was aber immer noch weit von unserer erwarteten Energie entfernt:



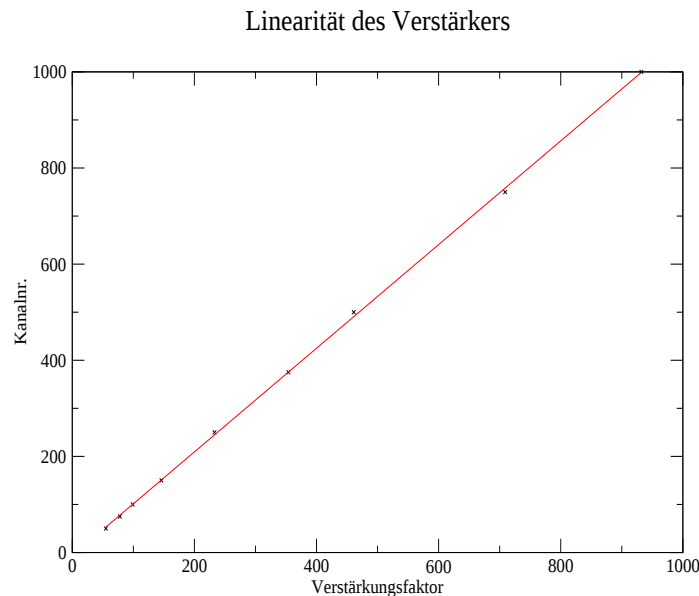
Für die verwendeten Werte siehe Protokoll.

Diese große Diskrepanz der Werte lässt darauf schliessen, dass das ADC/Verstärkermodul nicht linear verstärkt. Um dies zu untersuchen lieferten wir mir einem Signalgenerator Impulse gleicher Höhe in den Eingang des Verstärkers. Mit Hilfe des Programms WinTMCA wurde der ADC ausgelesen und die Kanäle im Vergleich zum Verstärkungsfaktor aufgetragen:

Verstärkungsfaktor	Kanalnr.
50	55
75	78
100	99
150	146
250	233
375	354
500	461
750	709
1000	932

Aus der nachfolgenden Grafik kann man ersehen, daß, der Verstärker zwar linear verstärkt, allerdings skaliert die Kanalnr. nicht 1:1 mit dem Verstärkungsfaktor, sondern man erhält durch lineare Regression die Kanalnr. in Abhängigkeit des Verstärkungsfaktors:

$$Kanalnr. = 0.93 \cdot Verstärkungsfaktor + 6.06 \text{ Kanäle}$$



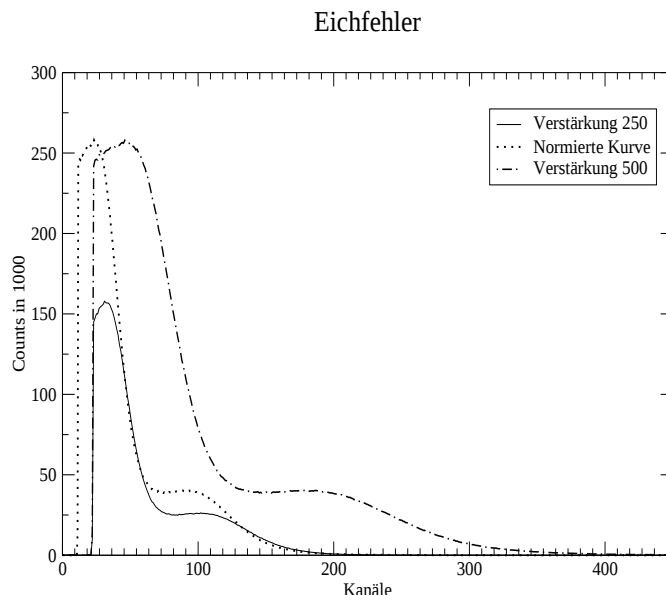
Daraus erhält man als tatsächlichen Skalierungsfaktor für das Myonenspektrum

$$f = \frac{0.93 \cdot 250 + 6.06}{0.93 \cdot 100 + 6.06} = 2.41$$

bzw. für die Umskalierung von Eichspektrum 1 zu Eichspektrum 2:

$$f = \frac{0.93 \cdot 500 + 6.06}{0.93 \cdot 250 + 6.06} = 1.97$$

Damit sollten die beiden Peaks der beiden Eichspektren übereinander liegen, also die gleich Energie haben. Dies ist leider nicht der Fall. Es scheint, als daß wir irgendwo bei der Messung der Natriumspektren einen Fehler gemacht haben, oder unsere Eichfunktion stimmt nicht:



Die Aufnahme eines Energiespektrums mit plastiksintillatoren ist nicht zu empfehlen, da die Energieauflösung einfach zu schlecht ist. Wenn man bedenkt, daß der mögliche Fehler im Bereich von 30% liegt sind unsere Werte noch innerhalb der Toleranz.

3 Messung der Lichtgeschwindigkeit

Um die Lichtgeschwindigkeit zu bestimmen verwenden wir einen TAC und die zwei äusseren Plastiksintillatoren sowie verschiedene Delays. Wir nehmen an, daß das Myon von "oben" kommt. also erst durch Detektor 1 dann durch Detektor 2 fliegt (Fall a). Falls nun kein Delay zugeschaltet ist streut das Signal um einen bestimmten Wert t_0 , das ändert sich auch nicht wenn man Start und Stop miteinander vertauscht (Fall b). Nun versehen wir das Stop-Signal mit einem Delay von 20ns, d.h. t_0 verschiebt sich im Fall a nach $t_0 + \tau$, wobei τ der Flugzeit des Myons und $t_0 = 20ns$ entspricht. Ohne Delay kann man also τ nicht ohne weiteres bestimmen. Vertauscht man nun das Start mit dem Stop-Signal dann ist der Peak bei $t_0 - \tau$ (Fall b), also links von t_0 . Käme die Strahlung von unten, so würde man zuerst den linken Peak und danach den Rechten messen, d.h. a und b wären vertauscht.

Um nun Zeitspektren aufnehmen zu können müssen wir eine Zeiteichung machen. Dafür verwenden wir eine ^{22}Na -Quelle, die wir in die Mitte der beiden Szintillatoren platzieren. Im Prinzip messen wir koinzidente Signale, die mit einem Delay versehen sind. Mit verschiedenen Delays wird nun die Skala geeicht. Bei unserer ersten Messung erhielten wir vierfach Peaks weshalb wir die Bleikollimatoren verwendeten, da es sich wahrscheinlich um mehrfach Koinzidenzen handelte. Um den Einfluss der Kollimatorabstände zu bestimmen machten wir drei Messungen und

bestimmen das FWHM und den Schwerpunkt:

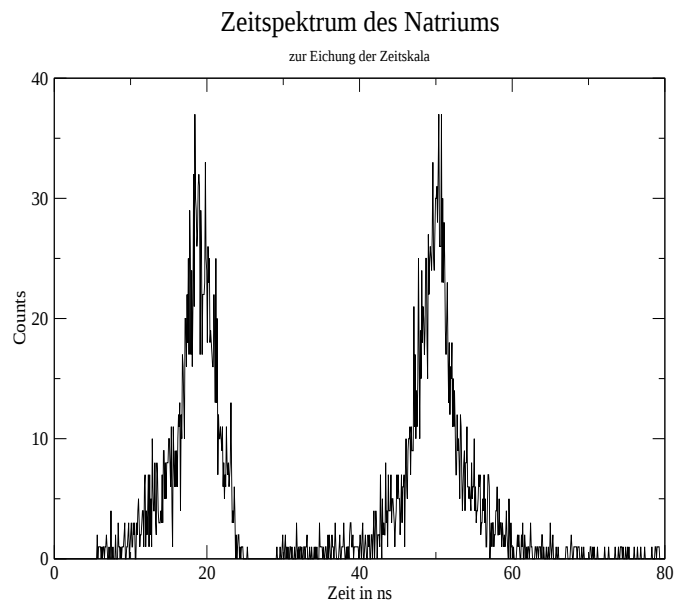
Abstand	FWHM	SP	COUNTS
2,1 cm	60,78	612,88	9143
1 cm	50,19	609,98	5459
0,3 cm	26,72	615,61	2100

Die Messungen dauerten jeweils 180s, bei 0,3 cm aufgrund der Statistik 250s.

3.1 Eichung der Zeitskala

Um die Zeitskala zu Eichen verwenden wir den vorherigen Aufbau, und messen mit zwei Delays: 18ns und 50ns. Der Abstand beider Delays ist bekannt:

$$\Delta t = 50ns - 18ns = 32ns$$



Die Schwerpunkte der Peaks wurden mit WinTMCA betimmt:

Peak 1	18ns	240,73
Peak 2	50ns	612,92

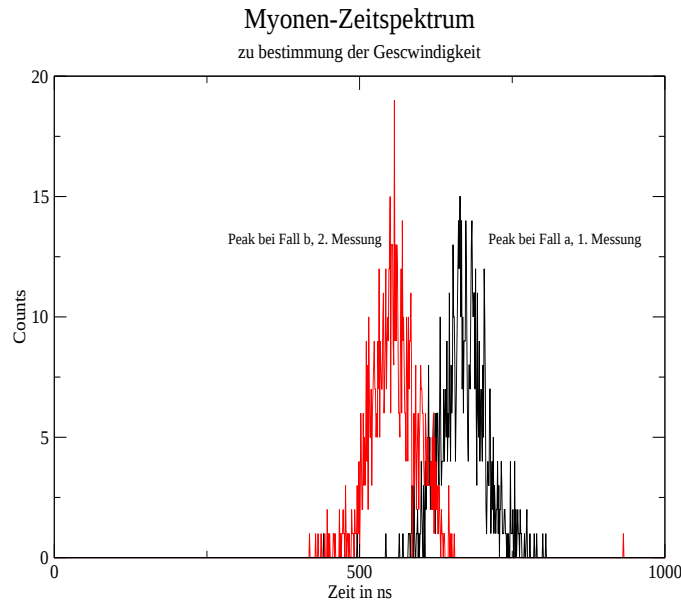
Wobei bei Peak 2 der Mittelwerte der vorherigen Werte verwendet wurde. Damit erhält man für die Zeitskala die Eichfunktion:

$$\tau(K) = 0,0859 \frac{ns}{K} * K - 2,618ns$$

3.2 Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit

Um die Geschwindigkeit der Myonen zu bestimmen, bzw. die Lichtgeschwindigkeit, wenn man annimmt daß die Myonen ungefähr Lichtgwschwindigkeit besitzten, wurden zwei Messungen mit einer Messdauer von 60min unternommen. Eine Messung mit Verkabelung wie in Fall y, und eine Messung wie in Fall b. Wir erwarteten eine

theoretische Verschiebung von etwa 7,3ns ($\Delta t = 2 \cdot \tau = 2 \cdot \frac{d}{c} = 2 \cdot \frac{110cm}{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}} = 7,3ns$) bis 9,13ns (bei längster Flugstrecke, 137cm).



WinTMCA lieferte für die beiden Peaks die Schwerpunkte 54ns und 44,7ns. Die Flugzeit beträgt somit $\Delta t = (54,3 - 44,7)ns = 9,6ns$ was in etwa mit dem erwarteten Ergebnis übereinstimmt. Man erhält für die maximale Geschwindigkeit der Myonen:

$$v_{\mu} = \frac{137cm}{9,6ns} = 2,97 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

was etwa 99,3% der Lichtgeschwindigkeit entspricht. Wenn man annimmt, daß die Myonen den kürzestenweg (110cm) nehmen, dann erhält man nur noch 80% der Lichtgeschwindigkeit.

Wir können aus der Messung zudem schliessen, daß die Myonen von “oben” kommen, da der Peak der ersten Messung weiter rechts ist.