Auswertung des Versuches
Lebensdauer von Positronen in Materie

Andreas Buhr, Matrikelnummer 1229903

23. Mai 2006

Inhaltsverzeichnis

1 Formales **3**

2 Überblick über den Versuch **4**

3 Grundlagen **4**
3.1 Das Positron 4
3.2 Erzeugung von Positronen 4
3.3 Das Schicksal von Positronen in Materie 4
3.4 Messung der Lebensdauer 5
3.4.1 Messprinzip 5
3.4.2 Szintillator und Photomultiplier 6
3.4.3 CFD - constant fraction discriminator 6
3.4.4 Delay 6
3.4.5 TAC - time to amplitude converter 6
3.5 ADC 6

4 Messungen **7**
4.1 vorbereitende Messungen 7
4.1.1 Einstellen der CFDs 7
4.2 Messung des Impulshöhenspektrums 7
4.3 Eichung der Zeitskala 7
4.4 Hauptmessungen 9
4.4.1 Messung der Lebensdauer in Aluminium 9
4.4.2 Messung der Lebensdauer in Teflon 10

1 Formales

Versuch: Lebensdauer von Positronen in Materie
Versuchsteilnehmer: Andreas Buhr und Markus Fasel
Datum: 06. 02. 2006
Betreuer: Inna Pysmenetska

2 Überblick über den Versuch

Ziel dieses Versuches ist es, die Lebensdauer von Positronen in Materie zu messen. Dabei machen wir uns mit den Effekten vertraut, die mit Positronen im Festkörper auftreten, und wir lernen die Messtechnik kennen, die notwendig ist, um Zeiten im ns-Bereich zu messen.

3 Grundlagen

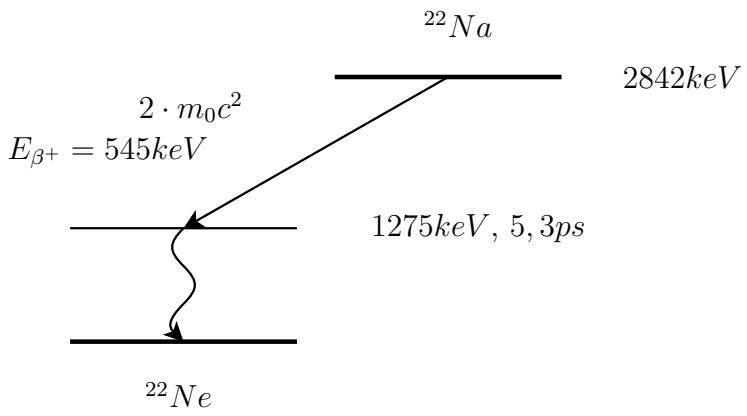
3.1 Das Positron

Das Positron ist das Antiteilchen zum Elektron. Es hat daher die gleiche Masse wie das Elektron von $511keV$, genau die entgegengesetzte Ladung von $-1e$ und einen Spin von $\frac{\hbar}{2}$.

3.2 Erzeugung von Positronen

Positronen entstehen beim β^+-Zerfall. Wir benutzen hier ^{22}Na (Natrium), welches zu $89,84\%$ über den β^+-Zerfall und zu $10,1\%$ über den Elektroneneinfach zu ^{22}Ne (Neon) zerfällt. Bei diesem Zerfall werden $2,842MeV$ frei. Es entsteht ein angeregter Neon-Kern. Dieser trägt noch $1,275MeV$, welche er nach wenigen ps (was mit unseren Messgeräten nicht auflösbar ist) in einem Gamma-Quant abgibt. Von den übrigen $1,567MeV$ werden $511keV$ zur erzeugung des Positrons gebraucht, weitere $511keV$ gehen in die Umwandlung von einem Proton in ein Neutron (das Neutron ist ja schwerer als das Proton, deshalb ist dort diese Energie notwendig). Es verbleiben $545keV$, welche das Positron als kinetische Energie bekommt.

Das Zerfallsdiagram:



3.3 Das Schicksal von Positronen in Materie

Positronen (Antimaterie) können in unserer Umwelt aus Materie nicht lange leben. Sie zerstrahlen sehr schnell mit einem Elektron zu mehreren Gamma-Quanten.

Genauer: Es wird zunächst Positronium gebildet. Dies ist ein gebundener Zustand aus einem Positron und einem Elektron. Dabei sind je nach Spin-Konfiguration zwei

Varianten möglich: Beim Orthopositronium ist der Gesamtspin $1\hbar$, beim Parapositronium ist der Gesamtspin 0. Dieses Parapositronium zerfällt in zwei Gamma-Quanten mit jeweil $511keV$, die in genau entgegengesetzte Richtung fliegen.

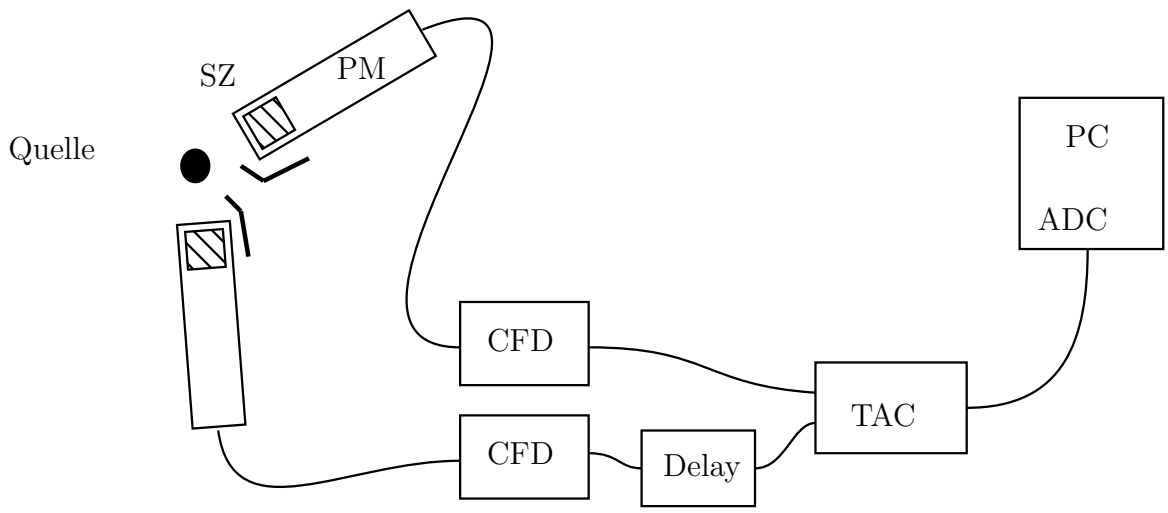
Dieser Zerfall ist beim Orthopositronium nicht möglich. Dieses kann nur in drei Gamma-Quanten zerfallen. Da dieser Zerfall wesentlich unwahrscheinlicher ist als der in zwei Gamma-Quanten, ist die Lebensauer von Orthopositronium 1115 mal so lang wie die des Parapositroniums. ($\tau_{3_\gamma} = 1,4 \cdot 10^{-7}s$, $\tau_{1_\gamma} = 1,26 \cdot 10^{-10}s$) Die Lebensdauer des Parapositroniums ist so kurz, dass wir sie mit unseren Messgeräten nicht messen können. In der Wahrnehmung mit diesen Geräten zerfällt es sofort. Wir messen also nur die Lebensdauer von Orthopositronium.

Wegen der Entartung der Zustände beim Orthopositronium entsteht zu 75% Orthopositronium und zu 25 % Parapositronium

In einem Material, in dem Elektronen vorhanden sind, kann das Elektron im Orthopositronium gegen ein anderes Elektron ausgetauscht werden. Dies senkt die Lebensdauer vom Orthopositronium in Materie. Diesen Effekt wollen wir später vermessen, indem wir die Lebensdauer vom Orthopositronium in verschiedenen Materialien messen.

3.4 Messung der Lebensdauer

3.4.1 Messprinzip



Man kann die Positronen bzw. das Positronium nicht direkt beobachten. Was man aber außerhalb der Probe messen kann, sind die Gamma-Quanten, die entstehen. Beim β^+-Zerfall von ^{22}Na wird ein Gamma-Quant mit ca. $1,3MeV$ abgestrahlt (das ist die Geburtsstunde des Positrons), beim Zerstrahlen des Positroniums werden Gamma-Quanten mit $511keV$ bzw. $340keV$ abgestrahlt. Wir können die Zeit zwischen den Quanten messen und darüber die Lebensdauer bestimmen.

3.4.2 Szintillator und Photomultiplier

In unserem Detektor ist ein Szintillationskristall. In diesem erzeugen einfallende Gamma-Quanten einen kleinen Lichtblitz über den Comptoneffekt. Dieser wird in einem Photomultiplier so lange verstärkt, bis das Signal stark genug ist, um in den Vorverstärker geleitet werden zu können.

3.4.3 CFD - constant fraction discriminator

Die Signale aus dem Vorverstärker gelangen in den CFD.

Der Zeitpunkt der Signale muss sehr genau vermessen werden. Die einfachste Methode, den Zeitpunkt festzulegen ist, die, zu warten, bis das Signal ein bestimmtes Level überschritten hat. Haben die Signale unterschiedliche Höhen, fürt dies zu Fehlern, dem sogenannten „walk“. Kleinen Signalen wird eine zu späte Zeit zugeordnet, da sie erst am Ende ihrer rise time detektiert werden.

Diesen Fehler verhindert der CFD. In ihm wird das Signal einmal abgeschwächt und invertiert und einmal verzögert. Die beiden so erhaltenen Signale werden überlagert. Das resultierende Signal hat einen Nulldurchgang, dessen Zeitpunkt unabhängig von der Pulshöhe ist.

Die CFD haben zusätzlich noch die Eigenschaft, dass man eine minimale Pulshöhe einstellen kann. So selektieren wir einmal nur die Signale, die vom β^+-Zerfall kommen (als Startsignale), beim andere CFD setzen wir eine untere Schwelle, so dass wir zuverlässig kein Rauschen bekommen.

3.4.4 Delay

Das Stoppsignal muss zuverlässig immer nach dem Startsignal gemessen werden. Deshalb versehen wir das Stoppsignal mit einem zusätzlichen Delay, den wir später wieder herausrechnen.

3.4.5 TAC - time to amplitude converter

Die direkte Messung im ns-Bereich ist nur schwer möglich. Die Zeit zwischen dem Startsignal und dem Stoppsignal messen wir daher mit dem TAC. Dieser generiert ein Ausgangsignal, dessen Höhe proportional zu der Zeit zwischen den beiden Eingangsimpulsen ist.

3.5 ADC

Das analoge Signal aus dem TAC führen wir in einen Analog-Digital-Wandler. Dieser misst die Höhe des Signals und führt den Messwert digital dem PC zu.

Der PC zählt dann, welche Pulshöhe wie oft vorgekommen ist.

4 Messungen

4.1 vorbereitende Messungen

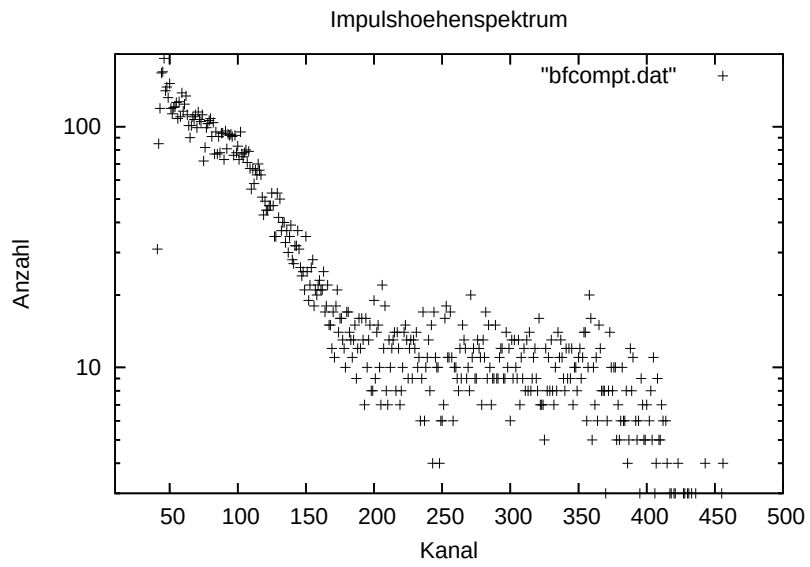
4.1.1 Einstellen der CFDs

Wir haben zwei Detektoren, an jedem ist ein CFD. In einem Detektor wollen wir nur die Startpulse haben, im anderen die Stopppulse. Die Startpulse haben eine Energie von ca. $1,3MeV$. Die Stopppulse haben eine Energie von unter $500keV$. Wir schauen uns die Pulse auf dem Oszilloskop an. Wir gehen davon aus, dass die höchsten die Pulse mit $1,3MeV$ sind. Um von diesen möglichst viele zu kriegen und gleichzeitig keine von den Stopppulsen versehentlich als Startpulse zu verwenden, legen wir die Schwelle so, dass alle Pulse aus diesem CFD größer sind als etwas weniger als$\frac{2}{3}$ der Maximalhöhe (ca. $700 - 800keV$).

Am anderen CFD stellen wir die Schwelle so ein, dass alle Pulse die größer sind als ca. $200 - 300keV$ durchkommen.

4.2 Messung des Impulshöhenspektrums

Wir schließen einen CFD direkt an den ADC an (nicht an den TAC), um die Verteilung der Impulshöhen zu beobachten.



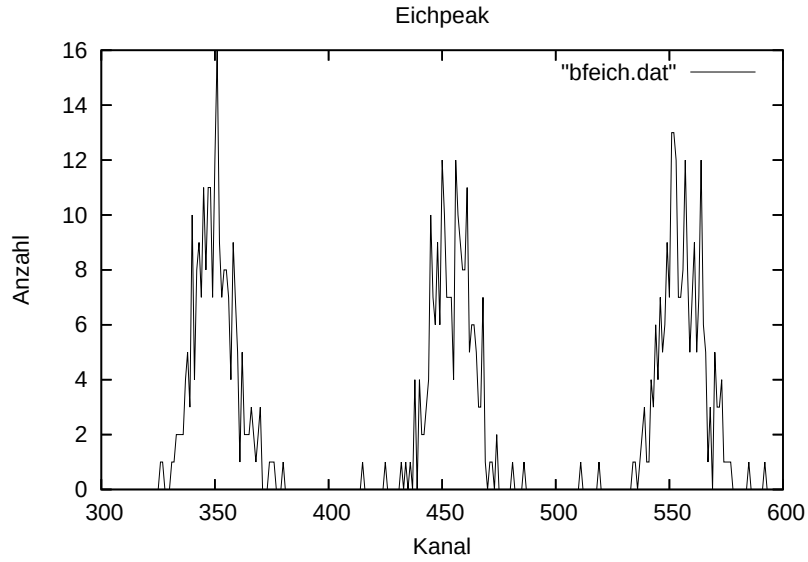
Deutlich sind die zwei Comptonkanten zu sehen. Die eine von der Strahlung mit $1,275MeV$, die andere von der Strahlung mit $511keV$.

4.3 Eichung der Zeitskala

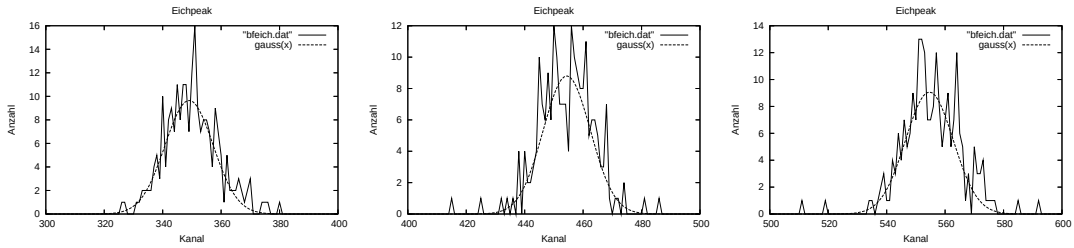
Der PC liefert uns die Ausgabe nur in Kanalnummern. Um von der Kanalnummer auf die Zeit umrechnen zu können, führen wir eine Eichmessung durch. Wir führen das gleiche Signal dreimal in den TAC: Einmal mit 32ns Verzögerung, einmal mit

40ns Verzögerung und einmal mit 48ns Verzögerung. Aus der Differenz der gemssenen Kanalnummer kann man eine Rechenvorschrift von der Kanalnummer zur Zeit ableiten.

Der PC liefert uns das Bild mit den drei Peaks:



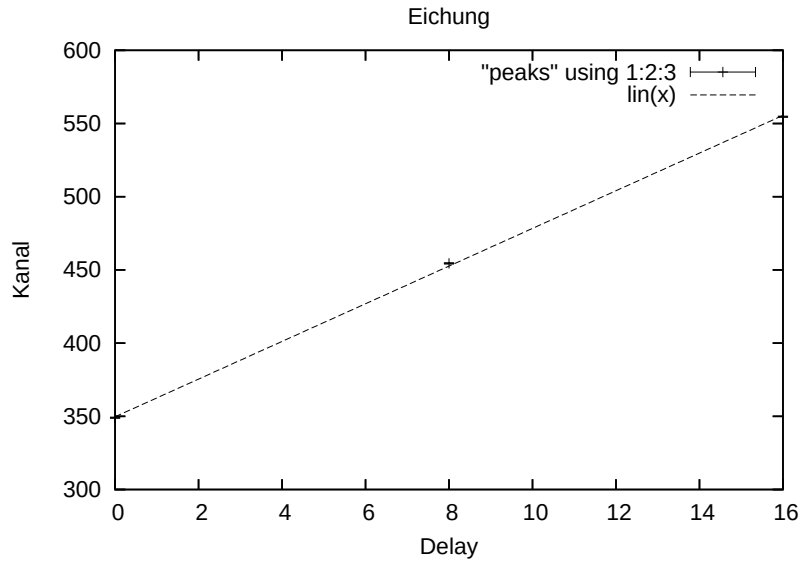
An diese drei habe ich drei Gaussfunktionen angefittet:



Diese sind an den Stellen:

delay/ns	Kanal	Fehler
0	349,0	0,4
8	454,5	0,4
16	554,6	0,4

Daraus ergibt sich:



Eine Steigung a von

$$a = 12,87 \pm 0,18 \frac{\text{Kanäle}}{ns}$$

Somit können wir die Kanalnummern in Zeiten umrechnen.

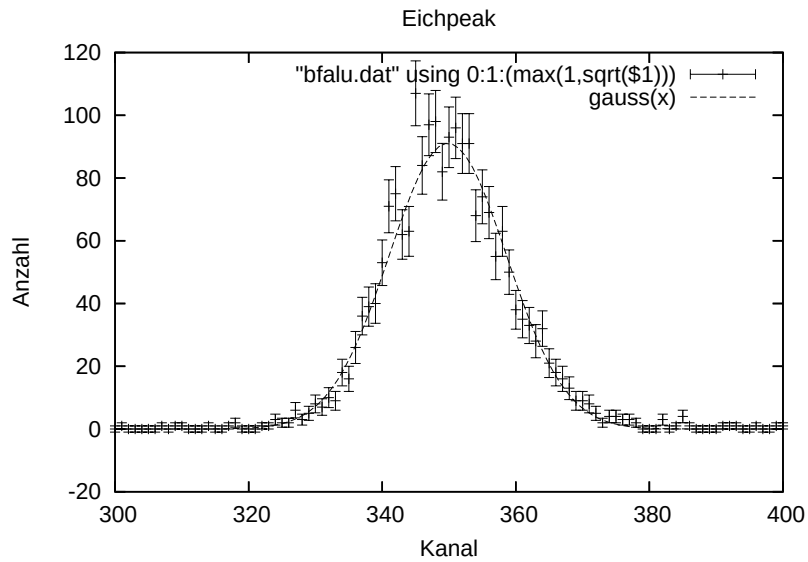
4.4 Hauptmessungen

Damit haben wir die notwendigen Daten um unsere eigentliche Messung auszuwerten.

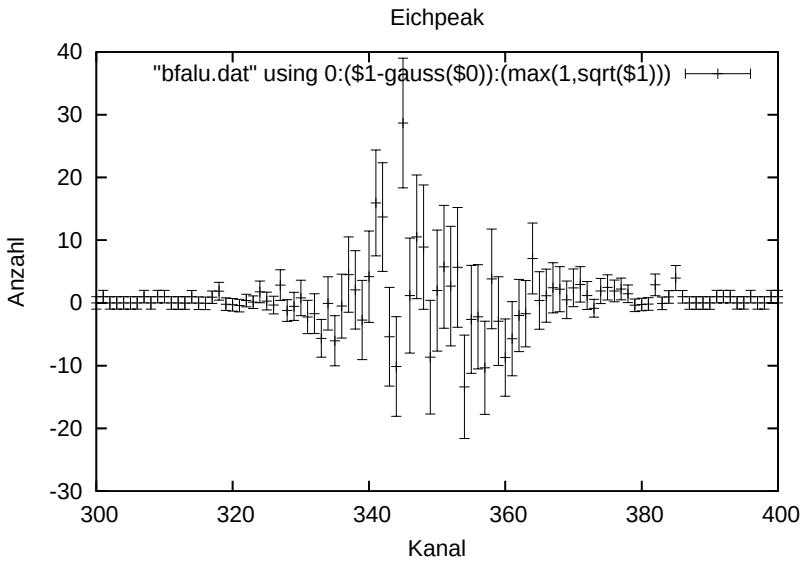
4.4.1 Messung der Lebensdauer in Aluminium

Aluminium ist ein Material mit hoher Elektronendichte. Wir erwarten daher eine sehr kurze Lebensdauer.

Die erhaltene Verteilung der Zeiten sieht so aus:



auf den ersten Blick ist keine Abweichung von der Gausskurve zu erkennen. Um das zu bestätigen plotte ich die Differenz der Messwerte von der Gausskurve:

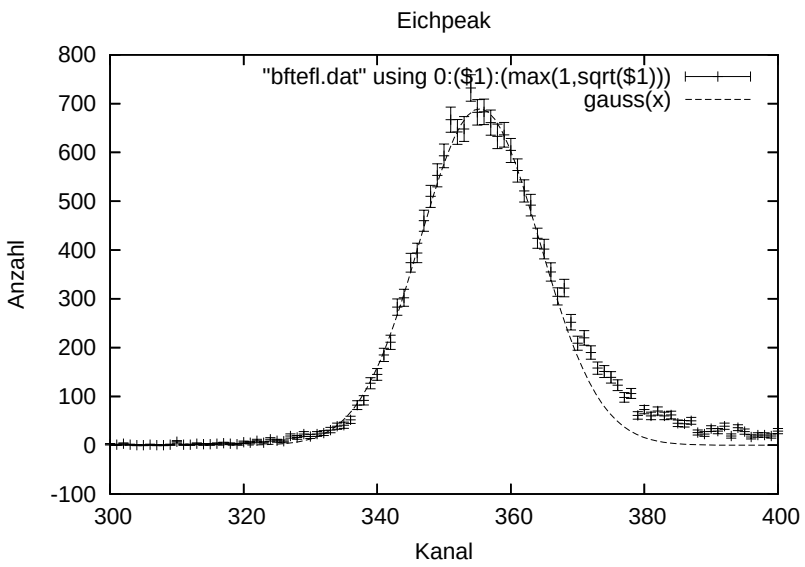


Es ist tatsächlich kein exponentieller Abfall zu sehen. Die Lebensdauer von Positronen bzw. Positronium in Aluminium muss kleiner als die Auflösung der Messapparatur sein.

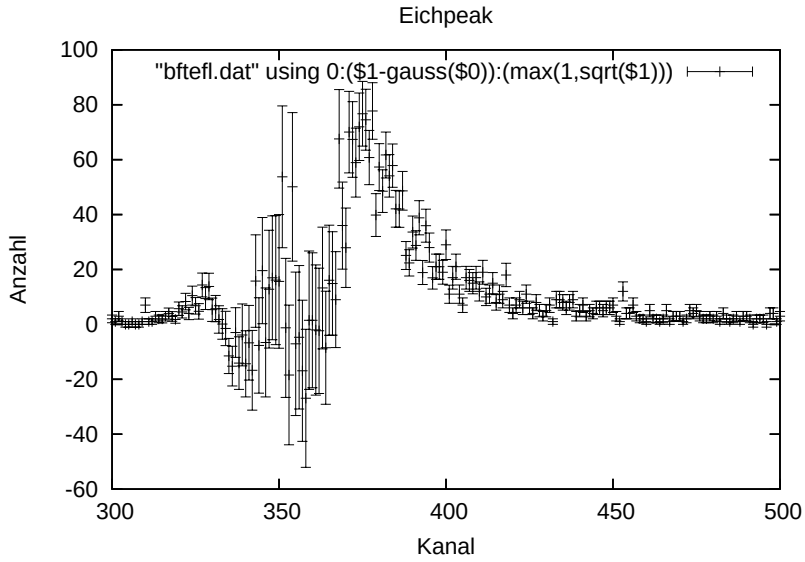
Die Gausskurve hat $\sigma \approx 0,6ns$, die Lebensdauer liegt also unterhalb davon.

4.4.2 Messung der Lebensdauer in Teflon

Wir schicken die Positronen in Teflon und lassen die Messung über Nacht laufen. Die Zeitverteilung, die wir am nächsten Tag erhalten, weicht deutlich von der Gaussverteilung ab:



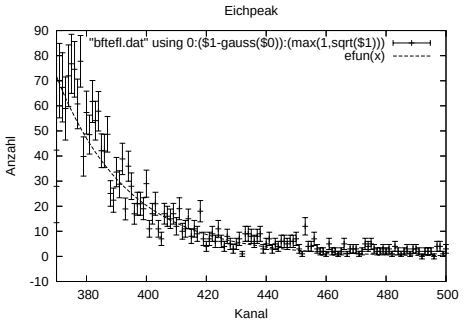
Um die Abweichung auszuwerten plotte ich zunächst die Differenz zwischen der Gausskurve und den Messwerten:

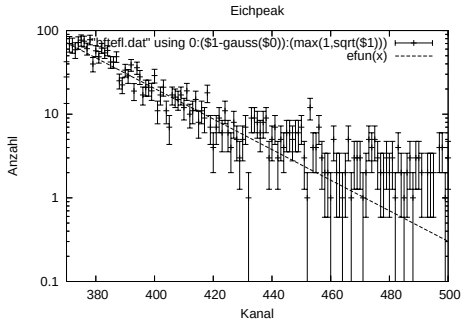


Deutlich ist ein exponentieller Abfall zu erkennen.
An diese Daten fitte ich

$$f(x) = a \cdot e^{-b \cdot x}$$

an. $1/b$ ist dann die Zeitkonstante des Zerfalles:





Ich erhalte

$$(b = 0,0420 \pm 0,0018) Kanäle$$

Daraus folgt

$$(\tau = 1,85 \pm 0,08) ns$$

Die so aus den fits erhaltene Genauigkeit trügt jedoch. Abhängig davon, von wo bis wo man gnuplot die Daten fitten lässt, weicht das Ergebnis ab. Bis zu $2,4ns$ erhält man so als Ergebnis (wobei dann die Kurve nach Augenmass nicht mehr auf die Messdaten passt). $0,6ns$ als Fehler anzunehmen ist daher sinnvoller.

Impressum	
Autor:	Andreas Buhr, Karlstraße 18, D-63225 Langen
Satz:	LaTeX
E-Mail	andreas at andreasbuhr.de
Web	www.andreasbuhr.de