

Das Messprogramm „Muonic“

Dokumentation & Anleitung zur Verwendung im CosMO-Experiment

Muonic Release 2.0, November 2013

Koordination Cosmic-Projekt DESY · Deutsches Elektronen-Synchrotron · Carolin Schwerdt
Platanenallee 6 · 15738 Zeuthen · Telefon 033762-7-7564 · E-Mail carolin.schwerdt@desy.de



Projektkoordination TU Dresden · Institut für Kern- und Teilchenphysik · Michael Rockstroh
01069 Dresden · Telefon 0351 463 - 33792 · Telefax 0351 463-37292 · E-Mail michael.rockstroh@tu-dresden.de



Inhalt

Inhalt.....	ii
1. Hinweise	1
2. Das Programm Muonic	3
2.1. Programmstart.....	3
2.2. Speicherung von Daten.....	3
2.2.1. Automatisch gespeicherte Dateien.....	4
2.2.2. Speicherung mit Save RAW File	5
2.3. Das Menü	5
2.3.1. File	5
2.3.2. Settings	5
2.3.2.1. Channel Configuration.....	6
2.3.2.2. Thresholds	6
2.3.2.3. Advanced Configurations	6
2.4. Help	6
2.5. Die einzelnen Reiter	7
2.5.1. Muon Rates.....	7
2.5.2. Pulse Analyzer	7
2.5.3. Muon Decay	7
2.5.4. Muon Velocity.....	8
2.5.6. DAQ Output.....	9
3. Messen mit Muonic.....	10
3.1. Kalibrierung der Ratenmessung	10
3.2. Myonen-Teleskop	10
3.3. Geschwindigkeit von Myonen	11
3.4. Lebensdauer von Myonen	12
3.5. Datenauswertung nach abgeschlossener Messung	13

1. Hinweise

Das Programm wurde vollständig in der Sprache `python` geschrieben und ist damit prinzipiell plattformunabhängig. Es wird die Anwendung unter LINUX empfohlen.

Das Programm wurde unter der GNU Public License (GPL) veröffentlicht, dementsprechend sind die Autoren nicht haftbar für jegliche Schäden, die durch die Verwendung der Software entstehen könnten. Der Anwender erklärt sich durch Installation der Software mit den Bedingungen der GPL einverstanden. Zur GPL siehe <http://www.gnu.org/licenses/>.

Die Entwicklerplattform von Muonic befindet sich unter <http://code.google.com/p/muonic>, mit einer ausführlichen Dokumentation zur Software, dem Quellcode und der Möglichkeit Programmfehler zu melden. Fragen können über `muonic-tech@desy.de` gestellt werden.

Sofern die grundlegenden Voraussetzungen erfüllt sind und `python-pip` bzw. `easy_install` installiert ist, lässt sich `muonic` per `easy_install` mit dem folgenden Kommando installieren (bestehende Internetverbindung ist dafür notwendig):

```
easy_install --user muonic
```

Dabei werden die Dateien für Muonic im Heimatverzeichnis des ausführenden Benutzers gespeichert. Muonic sollte sich nun wie in 2.1 Programmstart beschrieben starten lassen.

Sollte eine Fehlermeldung der Form

```
bash: /bin/muonic: Datei oder Verzeichnis nicht gefunden
```

auftreten, kann dies behoben werden, indem man

```
export PATH=$PATH:/home/<BENUTZER>/.local/bin
```

vor dem Programmstart in die shell eingibt.

Alternativ kann diese Zeile auch permanent in die Benutzerumgebung eingefügt werden, indem man diese zur Datei `/home/<BENUTZER>/.bashrc`

hinzufügt. Verwendet man eine andere shell als `bash`, so ist die entsprechende Konfigurationsdatei zu wählen.

Wenn Muonic für alle Benutzer installiert werden soll, muss die Option `--user` bei der Installation weggelassen werden:

```
easy_install muonic
```

Eine Deinstallation vom Muonic kann mit:

```
pip uninstall muonic
```

erfolgen.

2. Das Programm Muonic

2.1. Programmstart

Das Programm wird mit Eingabe des Befehls

```
muonic [-optionen] XY
```

in der Kommandozeile aufgerufen. Für `XY` sollten zwei Buchstaben, z.B. Initialen, eingegeben werden. Anhand dieser Eingabe ist es später möglich, die gespeicherten Daten zu identifizieren (siehe 2.2 Speicherung von Daten).

Folgende Startoptionen gibt es:

-s

Simulate Ermöglicht das Programm zum Testen und zur Demonstration ohne eine angesteckte DAQ-Karte zu starten. Die angezeigten Daten werden zufällig generiert.

-d

Debug Erzeugt mehr Ausgabe über die programminternen Abläufe im Terminal

-h

Help Zeigt die oben genannten Optionen an.

In den meisten Fällen wird das Programm also durch:

```
muonic XY
```

gestartet.

2.2. Speicherung von Daten

Vom Programm erzeugte Dateien werden im Unterordner

```
~/muonic_data
```

gespeichert. Während das Programm bzw. die Messung läuft, können die Daten eingesehen werden. Dies beeinflusst nicht den Speichervorgang.

2.2.1. Automatisch gespeicherte Dateien

Mit der Eingabe von `XY` bei Programmstart wird eine ASCII-Datei mit dem Dateinamen

`JJJJ-MM-TT_HH-MM-SS_R_HOURS_XY`

erzeugt. In der Datei werden die Raten abgespeichert. Wenn eine Raten-, Lebensdauer- oder Geschwindigkeitsmessung durchgeführt wird, werden Daten in die Datei geschrieben. Als Information wird der Kommentar `#new rate/decay/velocity measurement from:JJJJ-MM-TT HH-MM-SS` in die Datei geschrieben. Wenn die Datennahme beendet wird, wird der Kommentar: `#stopped run on:JJJJ-MM-TT HH-MM-SS` (mit der Endzeit) in die Datei geschrieben.

<code>JJJJ-MM-TT</code>	Datum
<code>HH-MM-SS</code>	Startzeit
<code>R</code>	Kennzeichnung, dass in der ASCII-Datei die gemessenen Raten im Dezimal-Format gespeichert sind
<code>HOURS</code>	wenn die Messung beendet wird, wird <code>HOURS</code> durch die Messzeit in Stunden ersetzt.

Mit den in dieser Datei enthaltenen Informationen kann der Plot, welcher unter dem Reiter *Muon Rates* dargestellt wird, reproduziert werden (z.B. mit Excel oder Calc, siehe 3.5 Datenauswertung nach abgeschlossener Messung) und Histogramme über die Häufigkeitsverteilung erstellt werden.

Eine neue Datei der Form `JJJJ-MM-TT_HH-MM-SS_R_HOURS_XY` wird erst bei Neustart von Muonic angelegt.

Wenn eine Lebensdauermessung, Geschwindigkeitsmessung oder Pulsanalyse gestartet wurde, wird eine Datei mit dem Namen

`JJJJ-M-TT_HH-MM-SS_P_HOURS_XY`

erzeugt.

In dieser Datei werden die Pulse im Format:

```
(Triggerzeit, [Puls-Kanal0], [Puls-Kanal1], [Puls-Kanal2],  
[Puls-Kanal3])
```

gespeichert. Zu jedem Puls-Kanal i wird die Zeit zum Pulsanfang und -ende gespeichert:

```
[(Pulsanfangszeit_1, Pulsendzeit_1), (Pulsanfangszeit_2,  
Pulsendzeit_2), (Pulsanfangszeit_3, Pulsendzeit_3), ...,  
(Pulsanfangszeit_n, Pulsendzeit_n)]
```

2.2.2. Speicherung mit Save RAW File

Unter dem Reiter *DAQ Output* können die von der DAQ-Karte gelieferten Rohdaten mit *Save to File* gespeichert werden. Folgende Datei wird erzeugt:

```
JJJJ-MM-TT_HH-MM-SS_RAW_HOURS_XY
```

RAW Kennzeichnung, dass es sich um die ASCII-Datei handelt, in der die Rohdaten im Hexadezimal-Zahlenformat gespeichert sind. Die Rohdaten beinhalten jedes Event, das den unter Settings gesetzten Bedingungen entspricht.

2.3. Das Menü

2.3.1. File

Hier kann das Programm beendet werden.

2.3.2. Settings

Unter *Settings* kann die DAQ-Karte und das Programm für die Datennahme konfiguriert werden. Die Einstellungen müssen entsprechend der jeweiligen Untersuchungsaufgabe gewählt werden.

Bei Klick auf *OK* werden die Einstellungen an die DAQ-Karte gesendet bzw. vom Programm übernommen. Auf der DAQ-Karte werden die Einstellungen bis zum Ausschalten lokal im CPLD Register gespeichert.

Es wird empfohlen, vor jeder Messung die Konfigurationen der Schwellspannungen und Kanäle zu überprüfen.

2.3.2.1. Channel Configuration

Select Channel

Hier können die auszulesenden Kanäle aktiviert werden.

Coincidence

Die Koinzidenz-Einstellung, welche die Triggerbedingung definiert, muss hier gesetzt werden:

Singles Trigger, wenn mindestens ein Kanal ein Signal hat

Twofold Trigger, wenn mindestens zwei Kanäle ein Signal haben

Threefold Trigger, wenn mindestens drei Kanäle ein Signal haben

Fourfold Trigger, wenn alle vier Kanäle ein Signal haben

Veto

Einer der Kanäle kann als Veto definiert werden. Registriert dieser Kanal ein Signal, wird nicht getriggert. Das Setzen von Kanal 0 als Veto ist nicht möglich.

2.3.2.2. Thresholds

Die Schwellspannungen der einzelnen Kanäle können hierüber in Millivolt eingestellt werden (Eingabe der Einheit nicht notwendig). Wenn möglich, wird die aktuelle Schwellspannung über dem Eingabefenster angezeigt.

2.3.2.3. Advanced Configurations

Das Auslese-Zeitfenster, welches von der Triggerbedingung geöffnet wird, kann unter *gateway width timewindow* in Nanosekunden eingestellt werden. Ebenso kann das Auslese-Zeitfenster für die Ratenmessung unter *Readout Interval* in Sekunden eingestellt werden. Mit *Write DAQ status lines to RAW file* kann das Schreiben von Statuszeilen durch die DAQ-Karte in die Rohdaten-Datei deaktiviert werden.

2.4. Help

Unter *DAQ Commands* findet sich ein Auszug aus einem Manual¹ vom Fermilab, in dem Kommandos zu finden sind, die sich an die DAQ-Karte schicken lassen (mehr dazu unter 2.5.6 DAQ Output). Eine umfangreiche technische Dokumentation des Programms kann mit *Technical Documentation* aufgerufen werden. Diese öffnet sich im Webbrowser. Das CosMO-Handbuch kann unter *Manual* aufgerufen werden.

¹ QuarkNet/Walta/CROP - Cosmic Ray Detectors - User's Manual von Jeff Rylander/Tom Jordan/R. J. Wilkes/ Hans-Gerd Berns/Richard Gran abrufbar unter "QNet Manual" auf der Webseite http://physik-begreifen-zeuthen.desy.de/angebote/kosmische_teilchen/schuelerexperimente/cosmo_experiment

2.5. Die einzelnen Reiter

2.5.1. Muon Rates

Start Run

Startet eine Ratenmessung: Die Raten werden im Diagramm angezeigt und in der Raten-Datei (siehe 2.2.1) gespeichert. Die durchschnittlichen Raten und totale Anzahl von Events werden angezeigt.

Stop Run

Beendet die Ratenmessung. Ein Kommentar über den Abschluss der Messung wird in die Raten-Datei geschrieben.

Im Diagramm, wird die gemessene Rate in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Das Diagramm wird alle 5 Sekunden (sofern kein anderes Zeitfenster gewählt wurde, siehe 2.3.2.3) aktualisiert.

Daneben werden die durchschnittlichen Raten seit Beginn der Messung und die Anzahl der total gesehenen Ereignisse für alle Kanäle anzeigt. Weiter unten finden sich der Startzeitpunkt der Messung sowie die verstrichene Zeit in Sekunden und die maximal gemessene Rate.

Unter dem Diagramm befinden sich die Steuerungselemente für das Diagramm.

2.5.2. Pulse Analyzer

Im Reiter Pulse Analyzer können die Pulsbreite und ein Oszilloskop für die Messkanäle angezeigt werden. Das Oszilloskop zeigt die gemessenen Pulsbreiten an. Die Anzeige muss mit `Show Oscilloscope and Pulse Width Distribution` aktiviert werden. Wenn der Pulse Analyzer aktiviert ist, werden die Pulse, wie in 2.2.1 beschrieben, in die Pulsdatei geschrieben.

2.5.3. Muon Decay

Der Reiter *Muon Decay* bietet die Möglichkeit den Myonenzerfall zu messen. Dabei wird die Zerfallszeit gemessen, wobei drei Detektoren benötigt werden. Die Detektoren werden dabei direkt übereinander gestapelt. Eine geeignete Schwellspannung muss gewählt werden (siehe 3.1). Die Messung wird mit *Check for decayed muons* gestartet. Dabei werden die Koinzidenz und Veto Kriterien neu gesetzt.

Beim Aktivieren der Messung wird die Koinzidenzzeit automatisch von 100 ns auf 10 μ s geändert. Diese Einstellung wird auch bis zum Ausschalten der DAQ-Karte (durch Trennung vom Stromnetz) oder durch deaktivieren der Messung (deaktivieren des Häkchens *Check for decayed muons*) lokal im CPLD Register gespeichert.

Im sich automatisch öffnenden Fenster müssen die Kanäle für den Einzelpuls des Myons, den Doppelpuls nach dem Myonzerfall und ein Kanal für ein Veto ausgewählt werden. Damit werden die Koinzidenzbedingungen, die auf der DAQ-Karte gespeichert sind, neu gesetzt. Dieses Veto wird dabei durch die Software, und nicht durch die DAQ-Karte vorgenommen (die Rohdaten-Datei enthält auch Ereignisse, die dieser Bedingung widersprechen). Zudem muss eine minimale Zeit zwischen den Pulsen eingestellt werden. Zusätzliche Einstellungen mit Bedingungen an die Pulsbreiten können mit *Set conditions on pulsewidth* aktiviert werden.

Das Messergebnis wird als Histogramm dargestellt. Mit einem Fit, durch klicken auf *Fit!*, kann eine Exponentialfunktion, wie sie von einem Zerfallsgesetz erwartet wird, an das Histogramm angepasst werden. Über dem Histogramm wird die absolute Anzahl an gemessenen Zerfällen dargestellt.

Die Zerfälle werden in einer Datei `JJJJ-M-TT_HH-MM-SS_L_HOURS_XY` gespeichert. Diese Datei kann dann zur weiteren Analyse und zur Bestimmung der Zerfallszeit verwendet werden.

Der Fehler auf den Fit könnte ggf. derzeit noch nicht korrekt dargestellt werden.

2.5.4. Muon Velocity

In diesem Reiter kann die Myonengeschwindigkeit gemessen werden. Die Messung benötigt zwei Detektoren in einem ausreichend großem Abstand. Eine geeignete Schwellspannung muss gewählt werden. Wenn das Häkchen *Measure muon velocity* gesetzt wird, werden die Koinzidenz und Veto Kriterien neu gesetzt, und die Messung wird gestartet.

Die Messung der Myonengeschwindigkeit erfordert die Berücksichtigung des Zeit-Auflösungsvermögens der DAQ-Karte. Durch die begrenzte Auflösung müssen die Detektorplatten mindestens einen Abstand von 3 m haben. Bevor die Messung gestartet wird, muss ausgewählt werden auf welchem Kanal der obere Detektor (Upper Channel) und auf welchem Kanal der untere Detektor (Lower Channel) liegt. Das Messergebnis wird dann als Histogramm dargestellt. Mit dem Button *Fit* kann das Histogramm mit einer Gaußfunktion approximiert werden.

Der Fehler auf den Fit wird derzeit noch nicht korrekt dargestellt.

2.5.5. Status

Im Reiter *Status* werden verschiedene Statusinformationen vom Programm Muonic selbst und von der DAQ-Karte angezeigt. Die Anzeige kann mit dem *Refresh* Button aktualisiert werden. Im oberen Teil werden Informationen über die DAQ-Karte

angezeigt. Diese Informationen werden von der DAQ-Karte so lange gespeichert, bis diese durch das Trennen von der Stromversorgung oder durch einen Befehl zurückgesetzt wird. Im unteren Teil werden Informationen und Einstellungen vom Messprogramm Muonic selbst angezeigt.

2.5.6. DAQ Output

Im Textfenster werden alle Informationen aufgelistet, die über die Schnittstelle weitergegeben werden: Befehle an die DAQ-Karte und Informationen, die die DAQ-Karte sendet. Eine Dokumentation zu den DAQ-Rohdaten findet sich auf http://neutrino.phys.washington.edu/~walta/qnet_daq/.

Mit der Eingabezeile `Command` kann ein Textkommando an die DAQ-Karte gesendet werden, für eine Übersicht über die Kommandos kann die Hilfe herangezogen werden (siehe 2.4 Help).

Mit `Save RAW File` lassen sich die Rohdaten in eine Datei speichern (siehe 2.2.2).

Der Button `Periodic Call` ermöglicht das wiederholte Senden eines Kommandos (das Intervall lässt sich einstellen), sollte aber, sofern nicht ausdrücklich erwünscht, nicht verwendet werden. Wenn er verwendet wird, zeigt die Statuszeile die versendeten Kommandos an.

2.5.7. GPS Output

In diesem Reiter können die GPS Informationen angezeigt werden. Dazu muss ein GPS Empfänger und eine GPS Antenne an der DAQ-Karte angeschlossen sein. Es werden die geographische Breite (Latitude), Länge (Longitude), sowie die Höhe (Altitude) und weitere GPS spezifische Informationen angezeigt. Diese Informationen werden zusätzlich in einer Textbox unter der Anzeige der GPS Informationen gesammelt dargestellt.

3. Messen mit Muonic

3.1. Kalibrierung der Ratenmessung

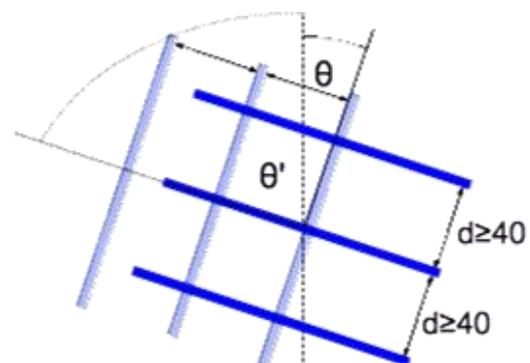
Vor einer Untersuchung muss zu jedem Detektor je nach Untersuchungsaufgabe eine Kalibrierung der Schwellspannung durchgeführt werden. Die Kalibration erfolgt auf Basis der gemessenen Myonraten im Reiter *Muon Rates*. Die gemessene Rate ist abhängig von der gewählten Schwellspannung, welche im Menü unter *Settings* unter *Threshold* festgelegt werden kann. Optimale Schwellspannungen müssen für jeden Kanal, bzw. für jeden Detektor, individuell bestimmt werden.

Die Detektoren müssen dafür übereinander gestapelt werden. Wir empfehlen, die einzelnen Kanäle (Detektoren, die Kalibriert werden sollen) und die gemeinsame Triggerrate auszulesen. Eine systematische Messung im Bereich von 100–500 mV bietet sich für die Kalibration an.

Die Schwellspannung ist so zu wählen, dass bei einer Ratenmessung alle Kanäle etwa die gleiche Rate anzeigen und die Schwankungen sich in etwa entsprechen. Die erwartete Rate an Myonen beträgt etwa 6-7 Hz für die im CosMO Experiment verbaute Grundfläche der Szintillatorplatten. Ist die Schwellspannung zu hoch eingestellt, werden nicht mehr alle Myonen, die die Szintillatorplatten durchqueren, gezählt. Bei zu niedrig eingestellter Schwellspannung wird vor allem Rauschen beobachtet.

3.2. Myonen-Teleskop

Myonen können die Szintillatorplatten durchqueren, ohne absorbiert zu werden. Mit mehreren Detektoren in Koinzidenz zueinander wird es möglich, Eigenschaften der kosmischen Strahlung zu untersuchen. Je nach Koinzidenzbedingung kann nach der Kalibrierung mit mindestens zwei Detektoren die Winkelabhängigkeit der Intensität der kosmischen Strahlung gemessen werden.



Die Detektoren werden dafür in einem festen Abstand von ungefähr 40 cm aufgebaut. Wenn als Triggerbedingung nun eine Zweifachkoinzidenz, bzw. Dreifachkoinzidenz, gewählt wird (einzustellen im Menü unter *Settings/Channel Configuration*), ist die Triggerrate ein Maß für die Rate der Myonen, die die Detektoren durchquert haben. Die Winkelabhängigkeit kann durch Variation des Zenitwinkels θ des Detektoraufbaus ermittelt werden. Es wird eine \cos^2 Abhängigkeit

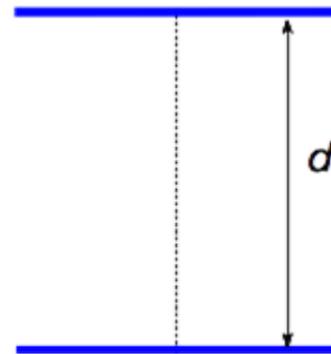
erwartet². Die Anzahl der Messpunkte und die Dauer der jeweiligen Ratenmessung pro Zenitwinkel sind entscheidend für den Messfehler dieser Messung.

Mit demselben Detektoraufbau kann, bei einem Zenitwinkel θ von 0° , zudem die Abhängigkeit der Myonenrate vom Ort, der Abschirmung der Detektoren (z.B. durch Blei, Beton, ...) und der Wetterbedingungen (z.B. Temperatur, Luftdruck, ...) gemessen werden.

3.3. Geschwindigkeit von Myonen

Mit Hilfe von zwei Detektoren kann mit Muonic die Geschwindigkeit von Myonen gemessen werden. Die Messung mit Muonic kann im Reiter *Muon Velocity* aktiviert werden.

Aufgrund des Zeit-Auflösungsvermögens der DAQ-Karte muss der Abstand zwischen beiden Detektoren ausreichend groß gewählt werden ($d > 3$ m). Die Kabel zwischen der DAQ-Karte und den Detektoren müssen wegen des großen Abstandes verlängert werden. Aufgrund der Signallaufzeit in den Kabeln müssen beide Mess-Kanäle über gleich lange Kabel angeschlossen werden.



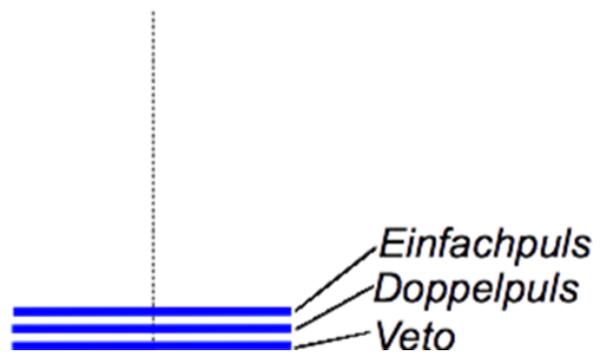
Muonic berechnet bei dieser Messung die Puls-Abstände in beiden Detektoren. Aufgrund der niedrigen Rate an Myonen, die durch beide Detektoren fliegen, benötigt eine Messung mit ausreichender Statistik mindestens mehrere Tage Messzeit. Die Messergebnisse können im Programm mit einer Gauss-Kurve approximiert werden. Aus der zeitlichen Differenz zwischen beiden Szintillatorplatten kann, zusammen mit dem Abstand der Detektoren die Myonen-Geschwindigkeit berechnet werden. Es wird eine Geschwindigkeit von $0.9 c$ erwartet.

² J. Beringer, J.-F. Arguin, R.M. Barnett et al., Phys. Rev. D 86 (2012) 010001
doi:10.1103/PhysRevD.86.010001.

3.4. Lebensdauer von Myonen

Mit drei Detektoren kann über Muonic die Lebensdauer von Myonen gemessen werden. Die Detektoren sollten dabei direkt aufeinander gestellt werden. Die Qualität des Ergebnisses wird maßgeblich davon bestimmt, ob die Statistik ausreichend ist. Deshalb sollten für eine Messung mindestens mehrere Tage eingeplant werden.

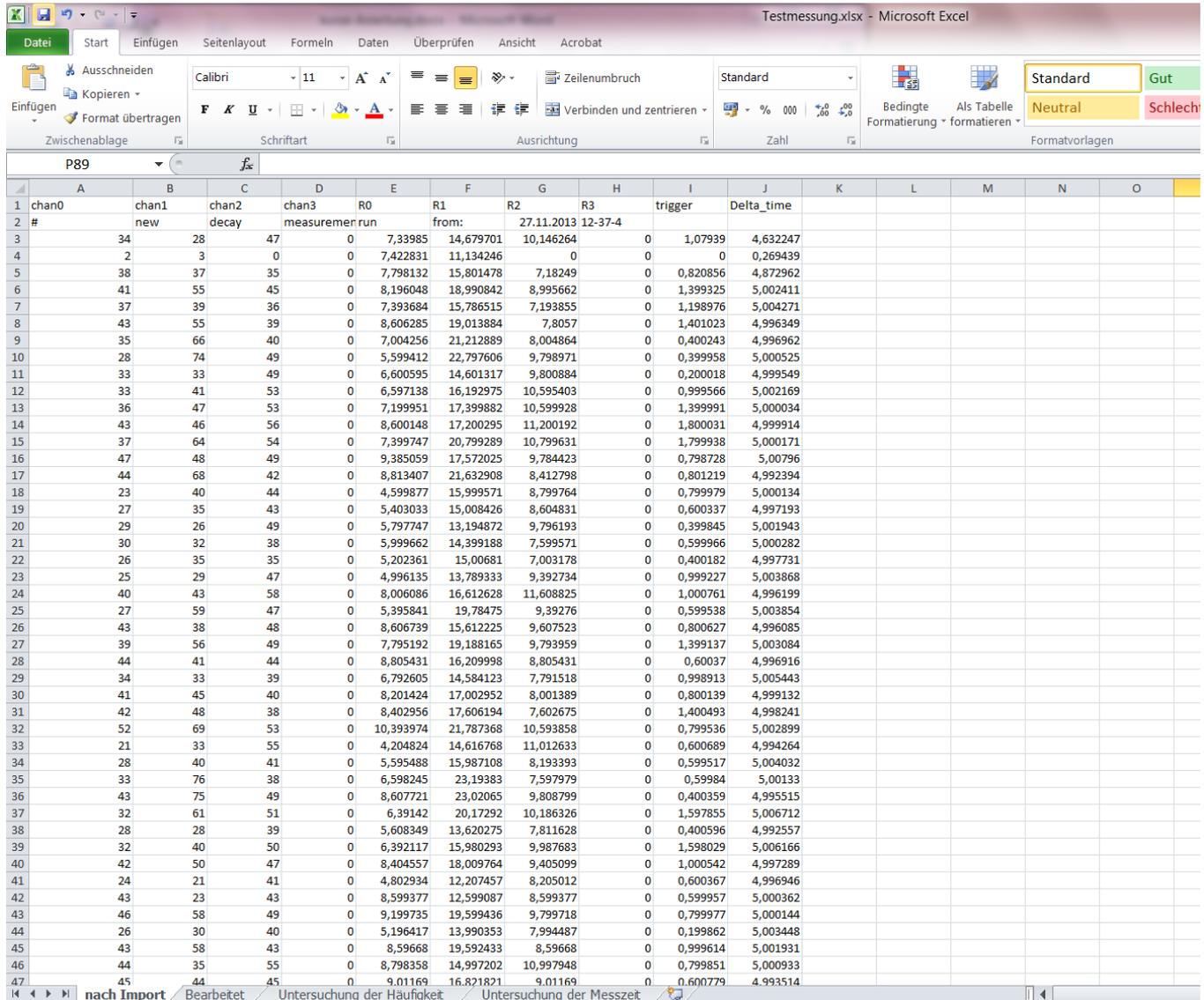
Bei dieser Messung werden Signale von dem mittleren Detektor auf Zerfallssignaturen untersucht. Die Zerfallssignatur besteht aus einem Doppelpuls: das Myon selbst und als Zerfallsprodukt ein Elektron (die Neutrinos des Zerfalls erzeugen kein messbares Signal). Im obersten Detektor sollte ein Myon einen einfachen Puls erzeugen. Wenn das Myon im zweiten Detektor zerfallen ist, sollte im untersten Detektor kein Puls messbar sein, d.h. sie wird als Veto benutzt. Die Zerfallszeit wird von Muonic aus der Differenz zwischen dem Myonenpuls und dem Elektronenpuls im mittleren Detektor errechnet. Wenn die Zerfallszeiten in einem Histogramm aufgetragen werden, kann dieses durch ein Zerfallsgesetz angenähert werden. Die Ergebnisse des Fits geben dabei unter anderem die mittlere Lebensdauer von Myonen wieder ($\sim 2.2 \mu\text{s}$).



3.5. Datenauswertung nach abgeschlossener Messung

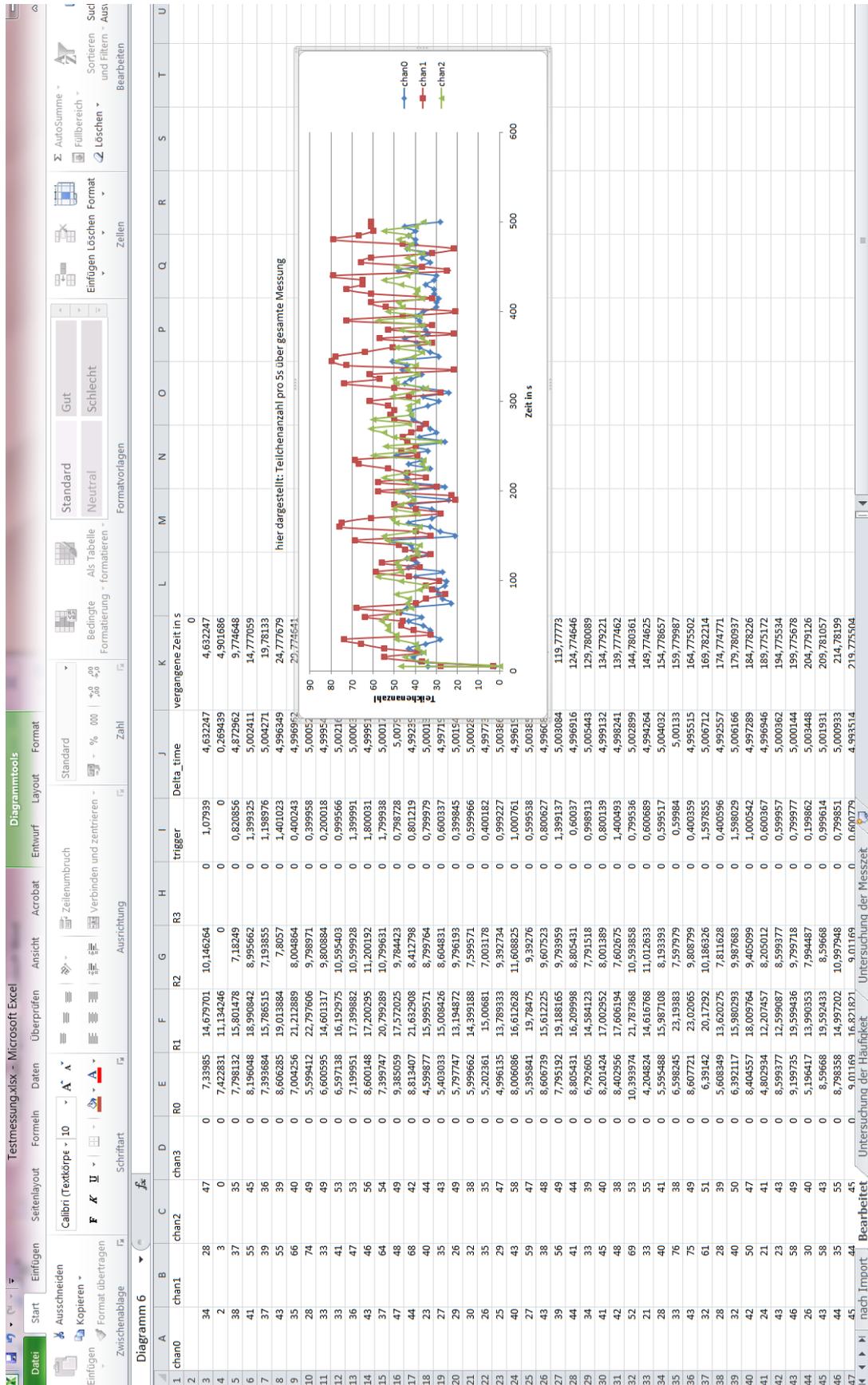
Auf die Messdaten einer Untersuchung kann nach abgeschlossener Messung zurückgegriffen und mit einem Tabellenkalkulationsprogramm ausgewertet werden, dazu siehe 2.2.1 Automatisch gespeicherte Dateien. Im Folgenden werden Ausschnitte einer möglichen Analyse mit Excel gezeigt.

Zunächst müssen die Daten importiert werden:



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	chan0	chan1	chan2	chan3	R0	R1	R2	R3	trigger	Delta_time					
2	#	new	decay	measurement	run	from:	27.11.2013	12-37-4							
3		34	28	47	0	7,33985	14,679701	10,146264	0	1,07939	4,632247				
4		2	3	0	0	7,422831	11,134246	0	0	0	0,269439				
5		38	37	35	0	7,798132	15,801478	7,18249	0	0,820856	4,872962				
6		41	55	45	0	8,196048	18,990842	8,995662	0	1,399325	5,002411				
7		37	39	36	0	7,393684	15,786515	7,193855	0	1,198976	5,004271				
8		43	55	39	0	8,606285	19,013884	7,8057	0	1,401023	4,996349				
9		35	66	40	0	7,004256	21,212889	8,004864	0	0,400243	4,996962				
10		28	74	49	0	5,599412	22,797606	9,798971	0	0,399958	5,000525				
11		33	33	49	0	6,600595	14,601317	9,800884	0	0,200018	4,999549				
12		33	41	53	0	6,597138	16,192975	10,595403	0	0,999566	5,002169				
13		36	47	53	0	7,199951	17,399882	10,599928	0	1,399991	5,000034				
14		43	46	56	0	8,600148	17,200295	11,200192	0	1,800031	4,999914				
15		37	64	54	0	7,399747	20,799289	10,799631	0	1,799938	5,000171				
16		47	48	49	0	9,385059	17,572025	9,784423	0	0,798728	5,00796				
17		44	68	42	0	8,813407	21,632908	8,412798	0	0,801219	4,992394				
18		23	40	44	0	4,599877	15,999571	8,799764	0	0,799979	5,000134				
19		27	35	43	0	5,403033	15,008426	8,604831	0	0,600337	4,997193				
20		29	26	49	0	5,797747	13,194872	9,796193	0	0,399845	5,001943				
21		30	32	38	0	5,999662	14,399188	7,599571	0	0,599966	5,000282				
22		26	35	35	0	5,202361	15,00681	7,003178	0	0,400182	4,997731				
23		25	29	47	0	4,996135	13,789333	9,392734	0	0,999227	5,003868				
24		40	43	58	0	8,006086	16,612628	11,608825	0	1,000761	4,996199				
25		27	59	47	0	5,395841	19,78475	9,39276	0	0,599538	5,003854				
26		43	38	48	0	8,606739	15,612225	9,607523	0	0,800627	4,996085				
27		39	56	49	0	7,795192	19,188165	9,793959	0	1,399137	5,003084				
28		44	41	44	0	8,805431	16,209998	8,805431	0	0,60037	4,996916				
29		34	33	39	0	6,792605	14,584123	7,791518	0	0,998913	5,005443				
30		41	45	40	0	8,201424	17,002952	8,001389	0	0,800139	4,999132				
31		42	48	38	0	8,402956	17,606194	7,602675	0	1,400493	4,998241				
32		52	69	53	0	10,393974	21,787368	10,593858	0	0,799536	5,002899				
33		21	33	55	0	4,204824	14,616768	11,012633	0	0,600689	4,994264				
34		28	40	41	0	5,595488	15,987108	8,193393	0	0,599517	5,004032				
35		33	76	38	0	6,598245	23,19383	7,597979	0	0,59984	5,00133				
36		43	75	49	0	8,607721	23,02065	9,808799	0	0,400359	4,995515				
37		32	61	51	0	6,39142	20,17292	10,186326	0	1,597855	5,006712				
38		28	28	39	0	5,608349	13,620275	7,811628	0	0,400596	4,992557				
39		32	40	50	0	6,392117	15,980293	9,987683	0	1,598029	5,006166				
40		42	50	47	0	8,404557	18,009764	9,405099	0	1,000542	4,997289				
41		24	21	41	0	4,802934	12,207457	8,205012	0	0,600367	4,996946				
42		43	23	43	0	8,599377	12,599087	8,599377	0	0,599957	5,000362				
43		46	58	49	0	9,199735	19,599436	9,799718	0	0,799977	5,000144				
44		26	30	40	0	5,196417	13,990353	7,994487	0	0,199862	5,003448				
45		43	58	43	0	8,59668	19,592433	8,59668	0	0,999614	5,001931				
46		44	35	55	0	8,798358	14,997202	10,997948	0	0,799851	5,000933				
47		45	44	45	0	9,01169	16,821821	9,01169	0	0,600779	4,993514				

Es kann der Plot, der unter Muon Rates in Muonic dargestellt ist, komplett reproduziert werden:



Auch kann zum Beispiel untersucht werden, wie lang gemessen werden muss, damit die gemessene Rate möglichst unabhängig vom gewählten Zeitfenster ist:

