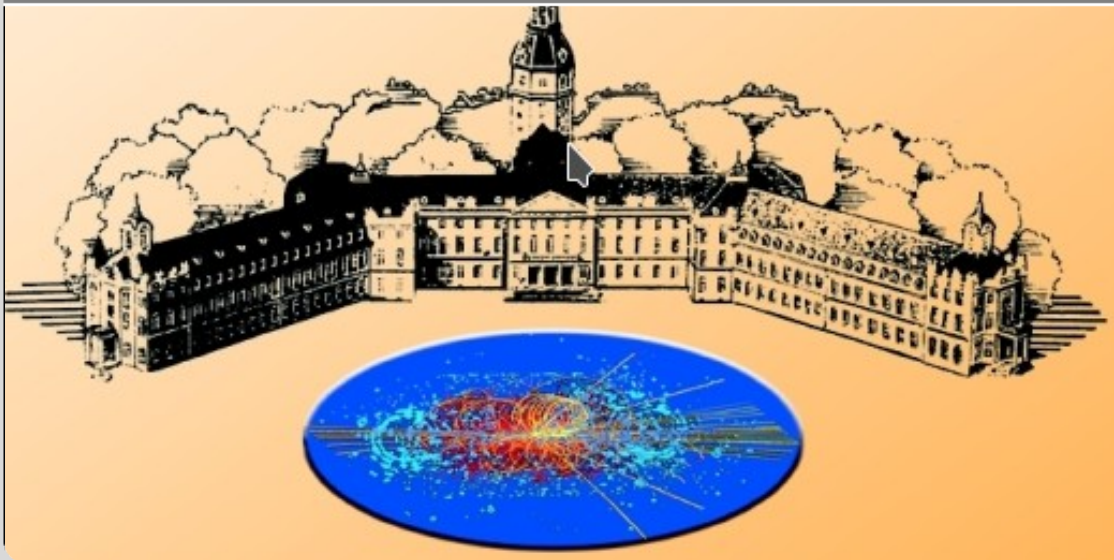


Kurzvorstellung des Standorts Karlsruhe

Günter Quast

Fakultät für Physik
Institut für Experimentelle Kernphysik

Standorttreffen 2019, Karlsruhe



Aktivitäten am Standort Karlsruhe

- **Experimente** CMS, Belle II, Katrin, Auger, IceCube
- **Öffentlichkeitsarbeit** für alle Experimente b. Tagen der offen Tür am KIT (CS & CN) und bei Wissenschaftsveranstaltungen in Karlsruhe
- regelmäßige **Masterclasses** für CMS, Auger, Katrin in Vorb. (→ Vortrag Simon Martin)
- **Weiterentwicklung von Experimenten**
 - KamioKanne mit SiPM-Auslese
 - Ersatz der veralteten QuarkNet - Karte durch Oszilloskop + Software
 - einheitliche Behandlung aller Detektoren (Kanne + CosMo-Panels), Beispiele für python-basierte statistische Auswertung mit Rohdaten oder vorprozessierten Datenformaten
 - mobile Version der Experimente (auch mit Raspberry Pi) für Ausstellungen
- regelmäßige **Lehrerfortbildungen** Karlsruhe, Speyer, Bad Wildbad, Esslingen
- Angebot von **Schülerpraktika**
- KamioKanne im Angebot des **Schülerlabors** und Teil der **Lehramtsausbildung**
- Nutzung der Experimente auch für **Studienbotschafterinnen-Programm**
- Thematik Teilchenphysik im **Schülerprojekt „Simulierte Welten“**
- **Partnergymnasium** in Blankenloch mit Kooperationsvereinbarung
- neues Vorhaben: **Netzwerk „Jugend forscht“**
- **CMS Open Data** im Fortgeschrittenenpraktikum (Basis python – keine spezifische CERN-Software; Schwierigkeitsgrad in weiten Grenzen anpassbar).

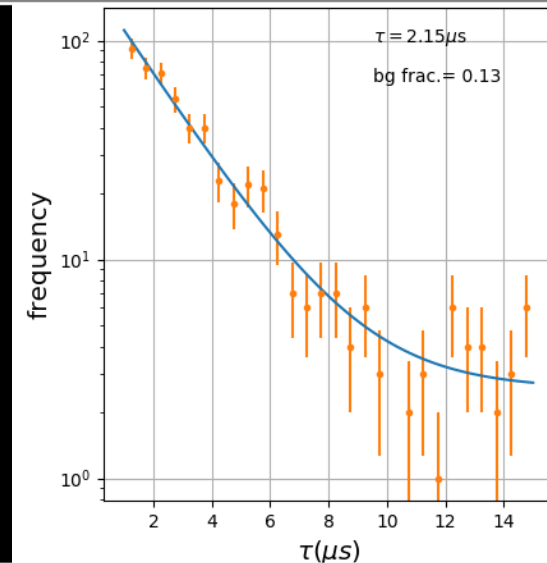
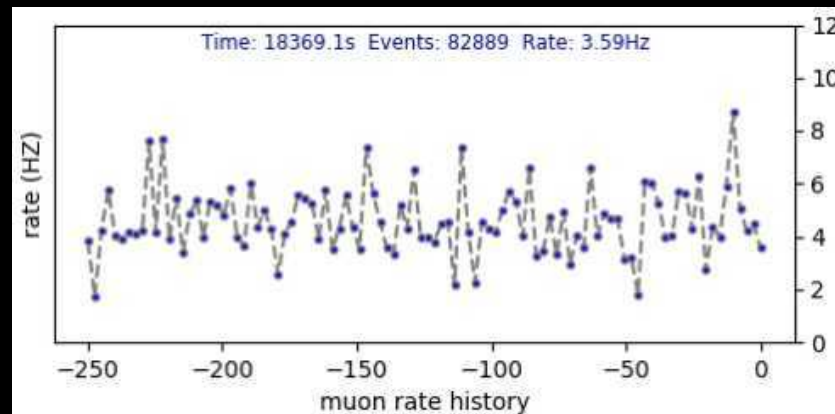
Auslese mit PicoScope für Experimente des Netzwerks Teilchenwelt

Günter Quast

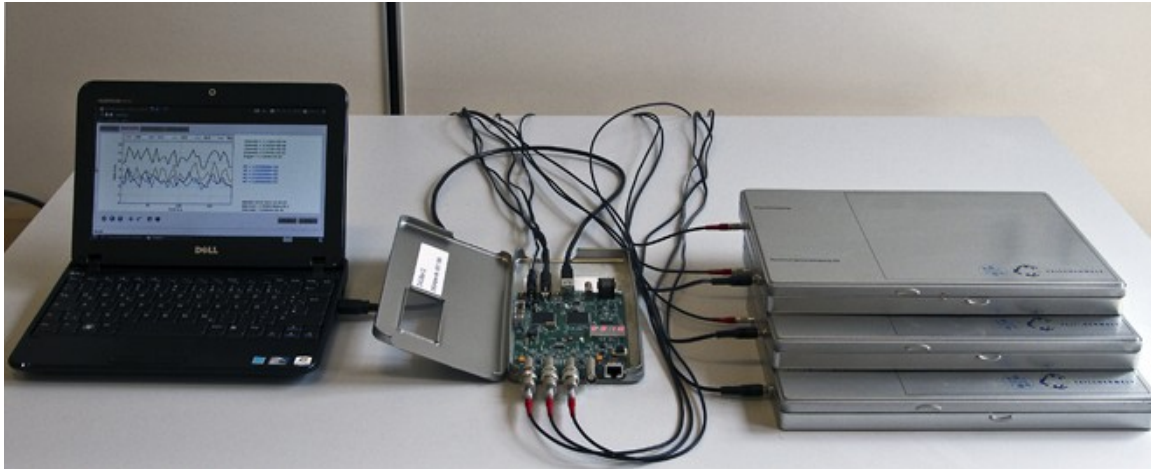
Fakultät für Physik
Institut für Experimentelle Teilchenphysik

Standorttreffen 2019, Karlsruhe

30. September 2019



(alte) Experimente des Netzwerks Teilchenwelt



CosMO-Experiment, Netzwerk Teilchenwelt und DESY Zeuthen

- Szintillator-Panels,
Auslese mit dedizierter
DAQ-Karte (QuarkNet)
- vier Kanäle
 - individuell einstellbare
Diskriminatorschwellen
 - präzise (\sim ns) Zeimessung
 - GPS-Unterstützung

gute Software-Unterstützung
muonic 3.0



„Kamiokanne“, Netzwerk Teilchenwelt, Gerät von PHYWE

Kaffee-Kanne mit Wasser
und Photomultiplier

Hochspannungsversorgung
und Betriebsgerät
der Fa. PHYWE

Datenspeicherung auf USB-Stick

Möglichkeiten der Experimente

Beide Experimente ermöglichen Schülern erste Einsichten in die **Eigenschaften der kosmischen Strahlung**

- Rate,
- Einfallsrichtung,
- Durchdringungsvermögen,
- Geschwindigkeit und
- Lebensdauer der Myonen

sowie der **Detektoreigenschaften**

- Rauschen, Untergrund und Signaleffizienz

Wegen der klareren Geometrie sind **Messungen mit den Panels einfacher**

Wichtige Kontrollmessung in Kanne ohne Wasser: nur Rauschanteil
– weiterer **Vorteil der Kanne: Einfachheit des Messprinzips**

⇒ beide experimentellen Aufbauten sind wichtig

Vorgeschlagene Modifikation: „Moderne“ Auslese



Ersatz der DAQ-Karte durch **USB-Oszilloskop**

- + transparenteres Messverfahren
- + Schülern aus der Akustik bekannt, Analogie zur Aufzeichnung eines „Knalls“
- + Beobachtung des „Rohsignals“; digitale Signalverarbeitung analog zum (modernen) Umgang mit akustischen Signalen

Unsere Wahl fiel auf die Einsteiger-Varianten der Firma **PicoScope** mit

- 10 – 100 MHz Bandbreite
- hohe Abtastraten (0.1 – 1 GHz)
- 2 oder 4 Kanälen
- gut dokumentierter API (Application Programming Interface) mit **python**-Schnittstelle
- lauffähig auf Raspberry Pi
 - die volle grafische Oberfläche läuft [leider noch] nicht ...
- werden auch vielfältig in Praktika und Laboren eingesetzt



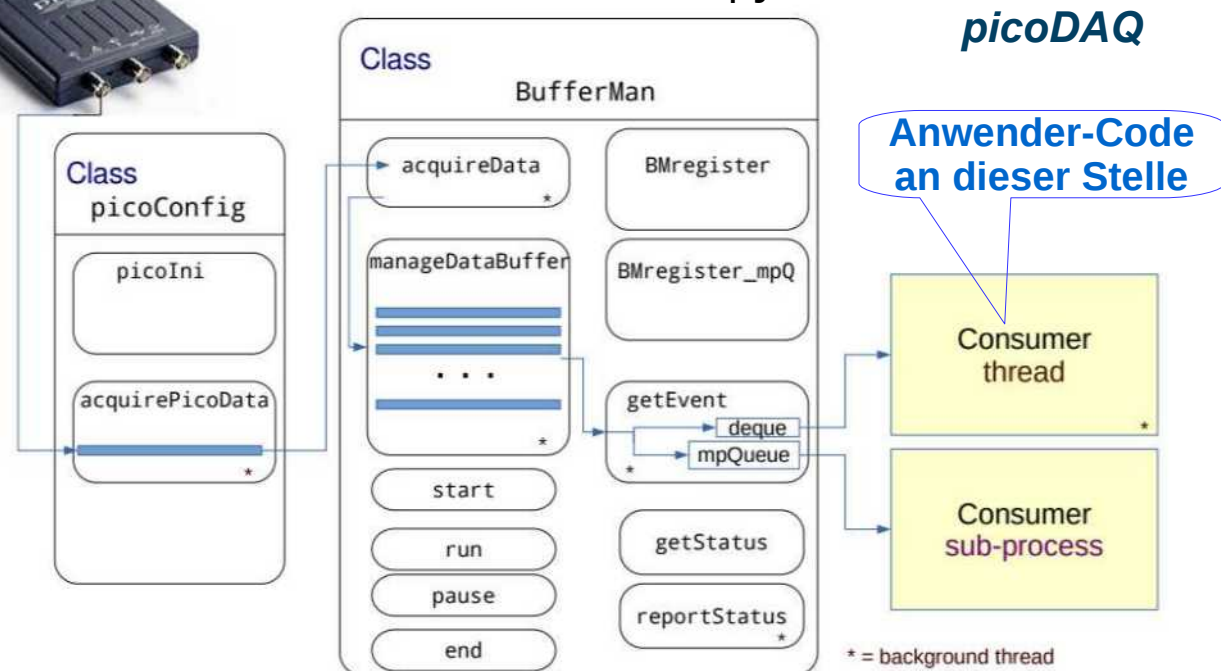
Auslese der Myon-Detektoren mit USB-Oszilloskop

Modernes Konzept zur Datennahme: Trigger und frühe Digitalisierung

- **Buffermanager** zur Datenaufnahme der zufälligen Trigger-Ereignisse und Verteilung an andere Prozesse zur Überwachung, Echtzeit-Darstellung, Analyse oder Datenspeicherung
- Validierung des Triggerpulses durch Korrelationsfilter mit Referenzpuls
- Suche nach weiteren Pulsen mit der gleichen Methode
 - in anderen Kanälen (Koinzidenz)
 - oder zu späteren Zeitpunkten (Doppelpuls-Suche)



Struktur des python-Codes



Vorteile:

- „nur“ Rechner als „black Box“
- Oszilloskop anschaulich und bekannt
- einfache Funktionserweiterungen durch Software-Updates

picoCosmo: Pulsanalyse

Die Analyse

der vom Oszilloskop getriggerten Ereignisse in drei Schritten:

1. Validierung des Trigger-Pulses

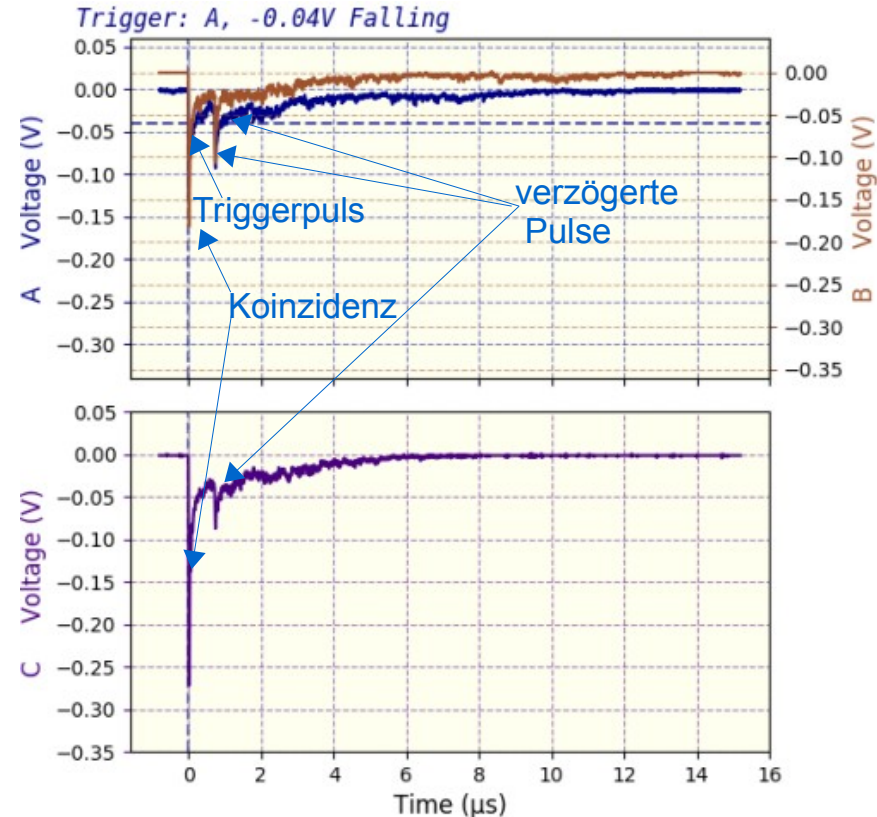
Vergleich des Signalverlaufs auf dem Triggerkanal mit einem Musterpuls; Ereignis wird verworfen, wenn die Form nicht übereinstimmt oder die Pulshöhe zu gering ist

2. Suche nach Koinzidenzen

Alle aktiven Kanäle werden auf Pulse in der Nähe des Triggerzeitpunkts untersucht; wenn mindestens ein weiterer Puls gefunden wird, wird das Ereignis als „echtes“ Myonsignal gezählt

3. Suche nach verzögerten Pulsen (optional)

Alle aktiven Kanäle werden nach verzögerten Pulsen durchsucht

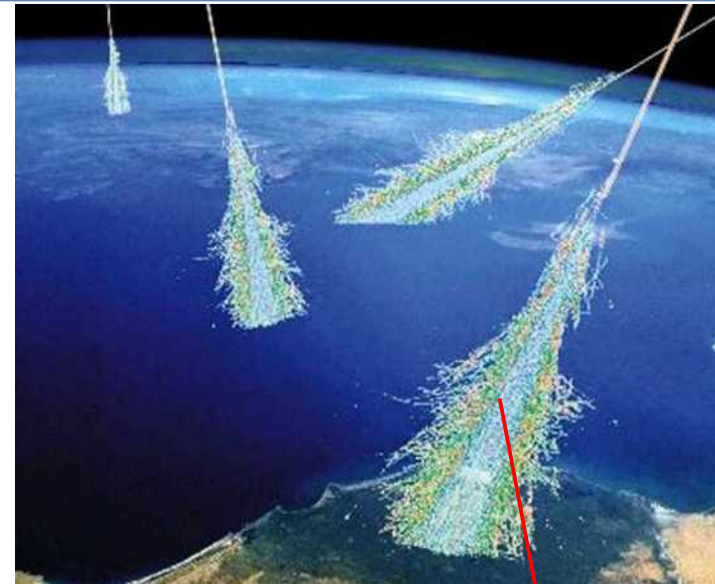


Realisierung des experimentellen Set-ups

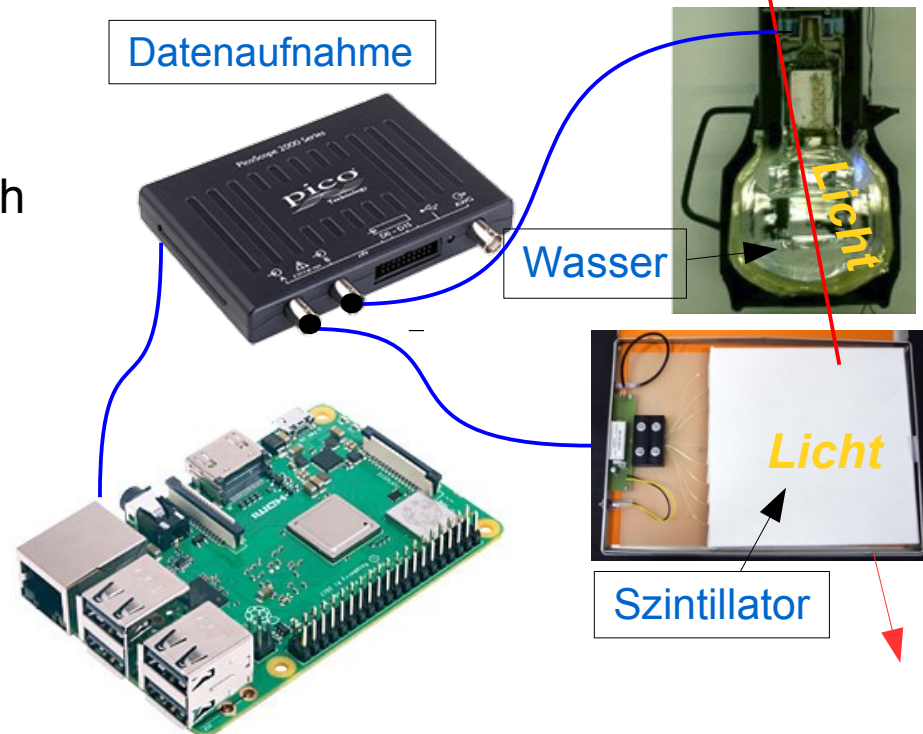
- Kanne mit HV-Basis oder
- ≥ 2 Szintillator-Panels
- USB-Oszilloskop
evtl. mit 4 Kanälen
- RaspberryPi mit Auslesesoftware
läuft natürlich auch auf PC /Notebook

Experimente:

- Signal / Rauschen in Kanne m / o Wasser
- Effizienzbestimmung der Panels
- Poisson-Statistik
- Ratenmessung, incl. Durchdringungsvermögen durch Vergleich Keller / Dach
- Richtungsmessung
- Myon-Geschwindigkeit (Oszilloskop mit 1 GS/s)
- Myon-Lebensdauer mit den Panels
- Gute Erfahrungen auch mit Software-Projekten für Schüler zur Datenanalyse



Datenaufnahme



Wasser

Licht

Szintillator

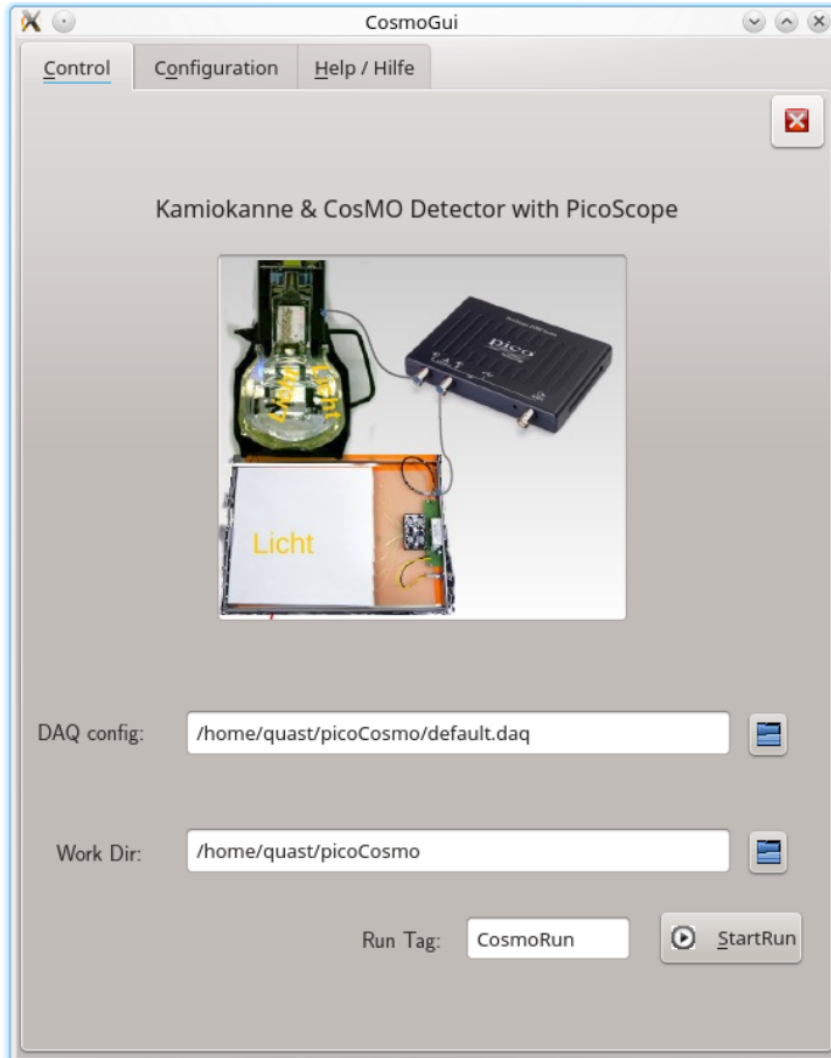
Aufbau am Raspberry Pi

- Einheitliche Auslese mit Oszilloskop von
 - Kamiokande u.
 - CosMO-Panels
- hohe Transparenz des Messverfahrens
- gleiche Art der Datenauswertung
- Einfache Bereitstellung von Software



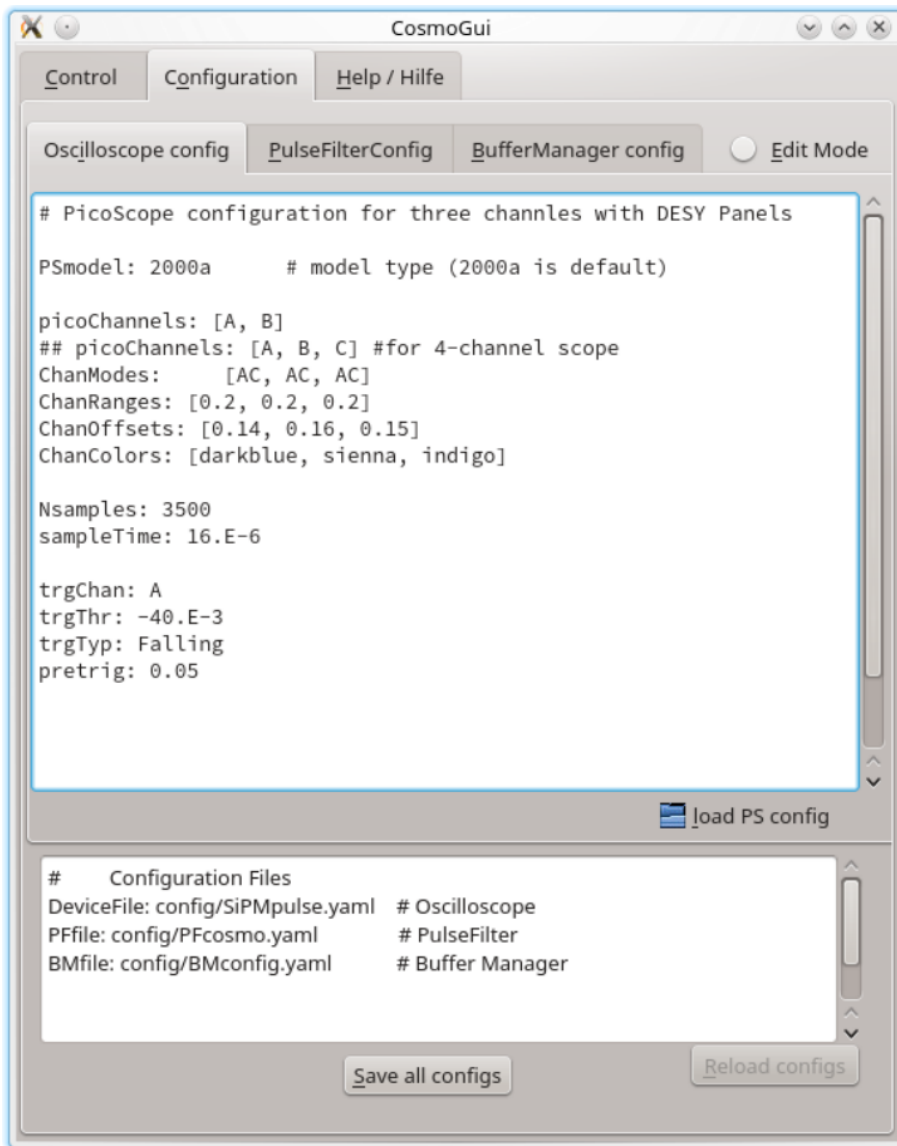
picoCosmo

CosmoGUI.py : die grafische Oberfläche



- Auswahl der Konfigurationsdateien für
 - Oszilloskop u.
 - digitalen Pulsfilter
- Anpassen der Konfiguration
- Abspeichern
- Start der Datennahme

picoCosmo



The screenshot shows the CosmoGui application window with the 'Oscilloscope config' tab selected. The window title is 'CosmoGui'. The top menu bar includes 'Control', 'Configuration', and 'Help / Hilfe'. Below the menu bar, there are sub-tabs: 'Oscilloscope config', 'PulseFilterConfig', and 'BufferManager config', along with an 'Edit Mode' radio button. The main text area contains the following configuration text:

```
# PicoScope configuration for three channles with DESY Panels
PSmodel: 2000a      # model type (2000a is default)

picoChannels: [A, B]
## picoChannels: [A, B, C] #for 4-channel scope
ChanModes:      [AC, AC, AC]
ChanRanges: [0.2, 0.2, 0.2]
ChanOffsets: [0.14, 0.16, 0.15]
ChanColors: [darkblue, sienna, indigo]

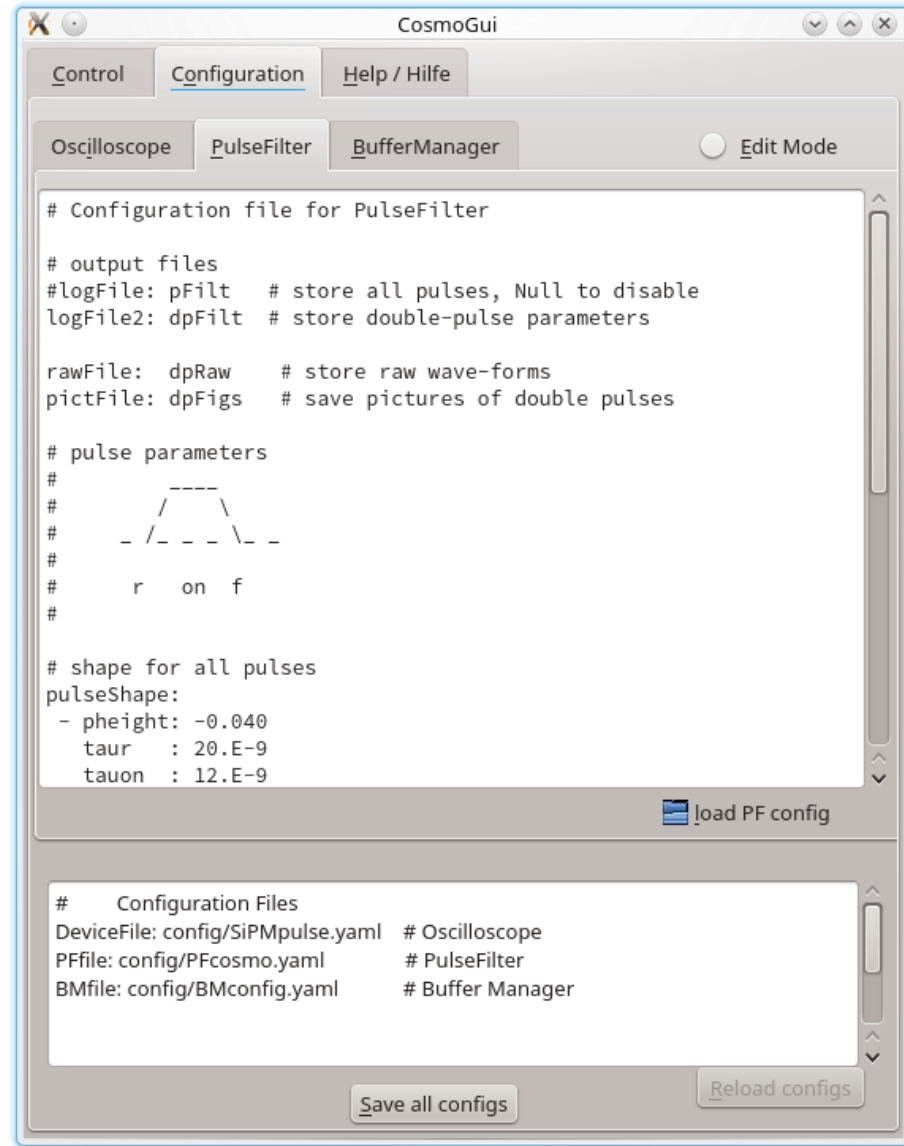
Nsamples: 3500
sampleTime: 16.E-6

trgChan: A
trgThr: -40.E-3
trgTyp: Falling
pretrig: 0.05
```

At the bottom of the window, there is a 'load PS config' button and a section for 'Configuration Files' with the following text:

```
# Configuration Files
DeviceFile: config/SiPMpulse.yaml # Oscilloscope
PFfile: config/PFcosmo.yaml # PulseFilter
BMfile: config/BMconfig.yaml # Buffer Manager
```

Buttons for 'Save all configs' and 'Reload configs' are located at the bottom right of the window.



The screenshot shows the CosmoGui application window with the 'PulseFilter' tab selected. The window title is 'CosmoGui'. The top menu bar includes 'Control', 'Configuration', and 'Help / Hilfe'. Below the menu bar, there are sub-tabs: 'Oscilloscope', 'PulseFilter', and 'BufferManager', along with an 'Edit Mode' radio button. The main text area contains the following configuration text:

```
# Configuration file for PulseFilter

# output files
#logFile: pFilt # store all pulses, Null to disable
logFile2: dpFilt # store double-pulse parameters

rawFile: dpRaw # store raw wave-forms
pictFile: dpFigs # save pictures of double pulses

# pulse parameters
#
#      /-----\
#     /         \
#    /           \
#   /             \
#  /               \
# /                 \
# r   o   n   f
#

# shape for all pulses
pulseShape:
- pheight: -0.040
  taur : 20.E-9
  tauon : 12.E-9
```

At the bottom of the window, there is a 'load PF config' button and a section for 'Configuration Files' with the following text:

```
# Configuration Files
DeviceFile: config/SiPMpulse.yaml # Oscilloscope
PFfile: config/PFcosmo.yaml # PulseFilter
BMfile: config/BMconfig.yaml # Buffer Manager
```

Buttons for 'Save all configs' and 'Reload configs' are located at the bottom right of the window.

Datennahme

StartRun



+



+



Typische Rate 3 Hz

Doppelpulsrate ca. 2 -3 / h; Messzeit für Lebensdaueranalyse 5 – 10 Tage

wichtig: genügend hohe Schwelle für das triggernde Myon

Datennahme mit Raspberry Pi auch über längere Zeit sehr stabil



+



+



Typische Rate der Zweierkoinzidenzen: 4 Hz

Doppelpulsrate ca. 20 / h; Messzeit für Lebensdaueranalyse ca. 1 Tag

Bildschirmansicht der laufenden Datennahme

Primäre kosmische Strahlung

PhyPi Cosmo

Myon aus Luftschauer

Wasser

Licht Szintillator

Datenaufnahme

Buffer Manager Information

TRun: 10792.7s Triggers: 146031 Lifetime: 9321.6s (86.4%)
current rate: 21.5Hz life: 79.0% buffer: 0%

DAO rate (Hz)

rate history

10792.19 ext 146000 rate 12Hz ms 0.12176
10761.14 "==" double pulse: Nacc, Ndbie, dT 39827, 81, 1.156
10792.23 "==" PF: evt 146000, Nval, Nacc: 56790, 39945

Pause Resume Stop started 18/11/04 12:04 T=10791s EndRun

Panel_signals

Quit

Rate Display

Time: 10789.3s Events: 39942 Rate: 3.92Hz

rate (Hz)

muon rate history

Quit

Oscilloscope Display

Trigger: A, -0.027V Falling

event rate: 12.8 Hz

A Voltage (V)

B Voltage (V)

Time (μs)

Quit

Filter Histograms

frequency

noise Trg. Pulse (V) Entries: 89190

valid Trg. Pulse (V) Entries: 56776

frequency

Tau (μs) Entries: 81

frequency

Pulse Height (V) Entries: 39936

x=0.144391 y=0.286061

BufferManager Info

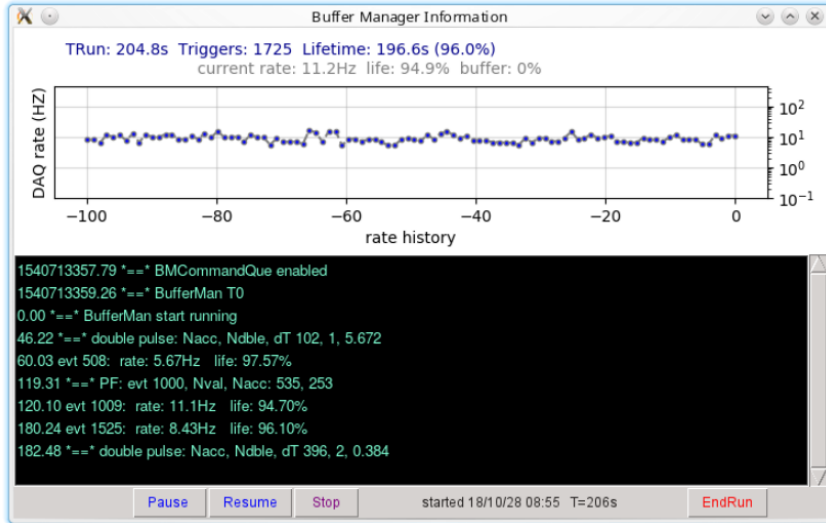
Event-Display

Oszillogramm

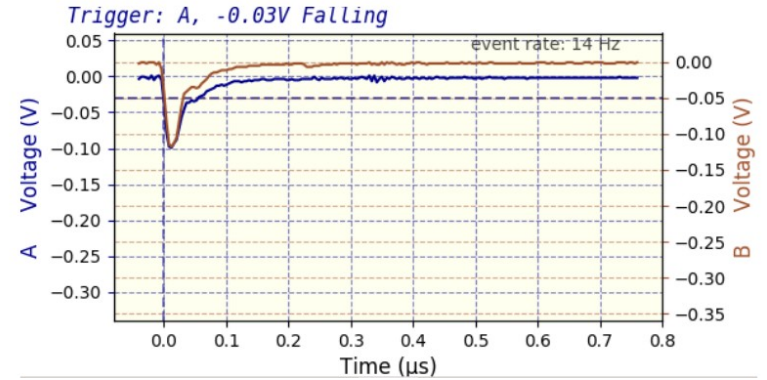
Pulshöhen- & Lebensdauervertellungen

Echtzeitanzeigen

Verlauf der Datennahme

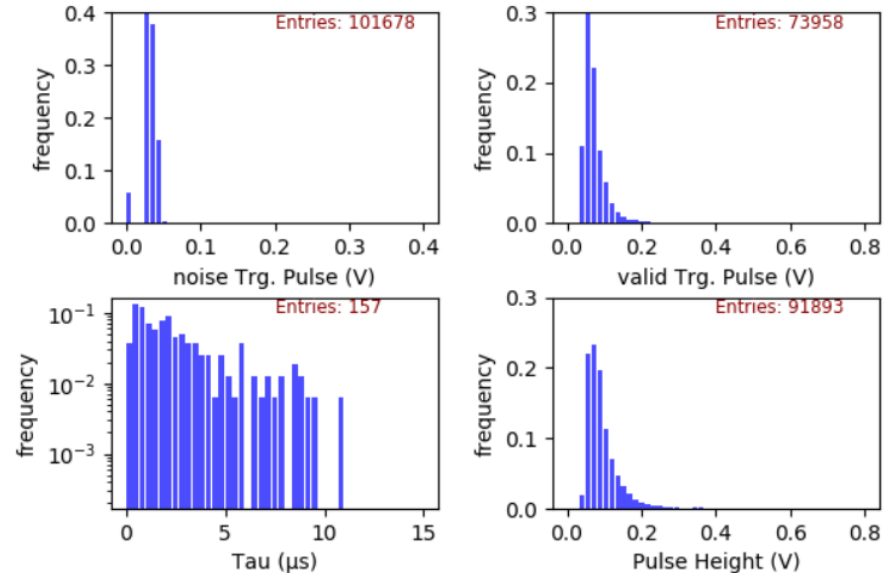
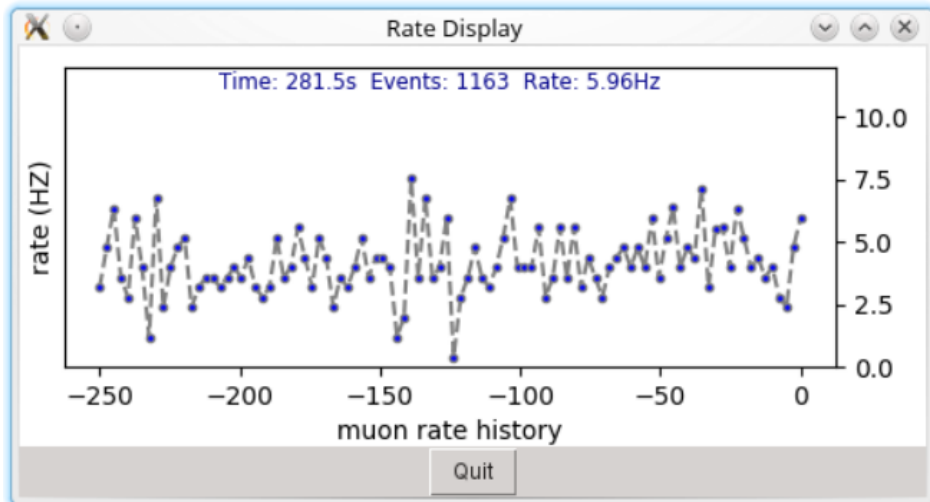


Oszilloskop-Anzeige



Häufigkeitsverteilungen: Pulshöhen u. Myon-Lebensdauern

Rate der akzeptierten Myonen (Zweierkoinzidenz)



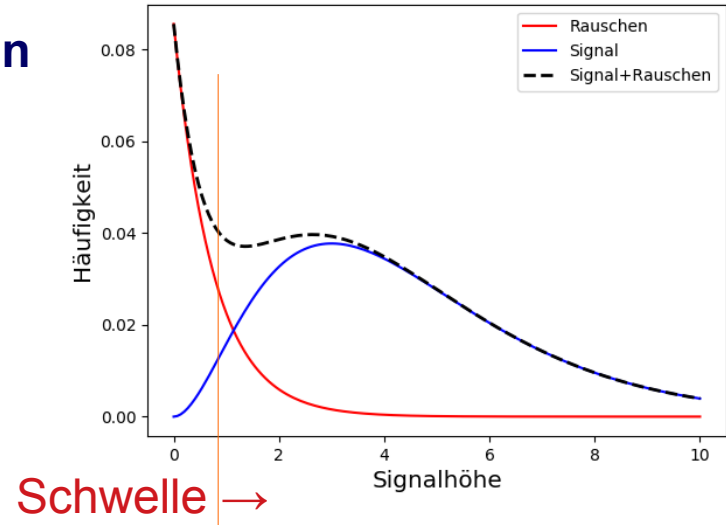
Experimentieren mit picoCosmo

Myon-Rate

Signal-zu-Rauschverhältnis der Detektoren

Detektoren erzeugen Pulse auch ohne echtes Signal („Rauschen“)

- Rauschpulse sind typischerweise kleiner als Signale
- Rausch- und Signalanteil hängen von der eingestellten Schwelle ab



- Nutzt man zwei Detektoren in Koinzidenz, so verschwindet der Rauschanteil
- mit drei Detektoren kann man den Anteil an Signal (Signaleffizienz) messen
 - zwei Detektoren in Koinzidenz definieren ein Signal
 - Effizienz ε ist die Häufigkeit, mit der auch der dritte Detektor anspricht

Mit dieser Information kann nun die Zweier-Koinzidenzrate auf die Effizienz korrigiert werden: $R' = R / \varepsilon^2$

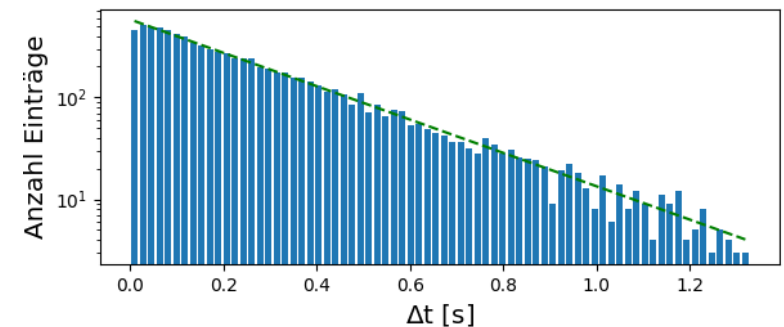
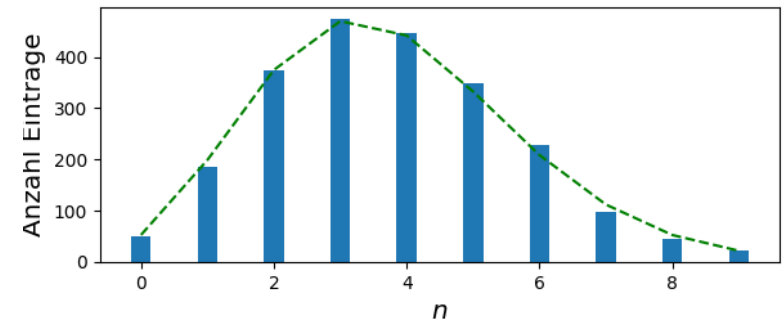
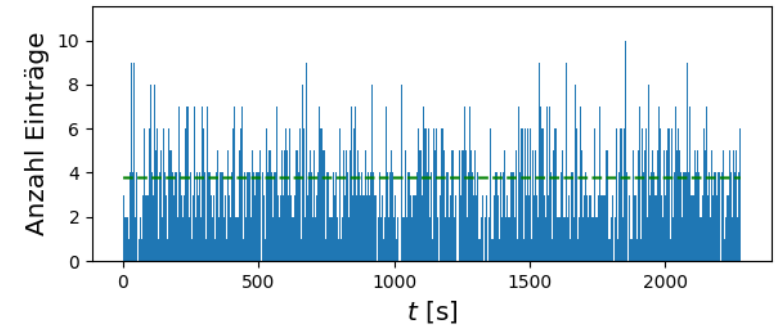
Aus der gemessenen Rate der Zweierkoinzidenzen ergibt sich die **Myon-Rate** nach Effizienz-Korrektur

- weitere Messungen:
- Richtungsabhängigkeit
 - Durchdringungsvermögen (Vgl. Keller / Dachgeschoss)

Myon-Rate: Untersuchung als Poisson-Prozess

Da die **Wahrscheinlichkeit**, ein Myon in einem (infinitesimal kurzen) Zeitintervall ΔT zu registrieren, **konstant** ist, gilt (wie eben schon besprochen):

- die Anzahl k der in Zeitintervallen ΔT registrierten, mit der mittleren Rate R eintreffenden Myonen folgt einer Poisson-Verteilung mit Erwartungswert $R \cdot \Delta T$
- Die Zeit t_w zwischen zwei aufeinanderfolgenden Myonen folgt einer Exponentialverteilung



Diese **statistischen Zusammenhänge**

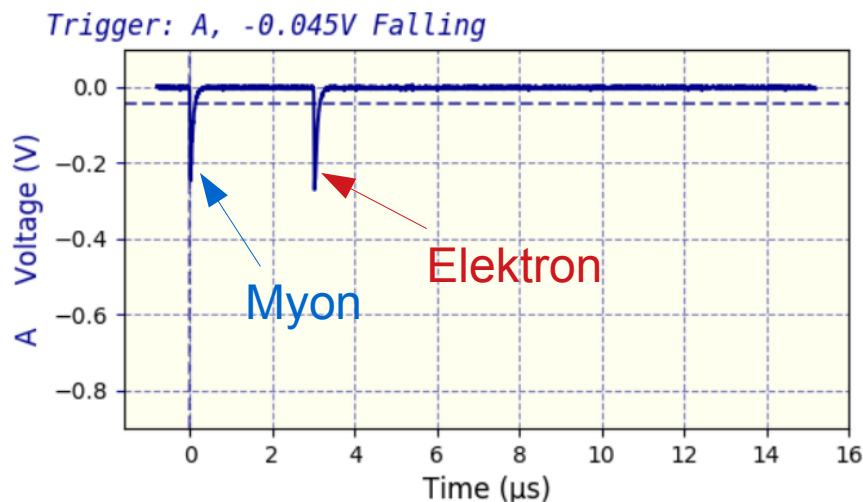
lassen sich mit den aufgezeichneten Daten verifizieren

Beispielscript `RateAnalysis.py`

Experimentieren mit picoCosmo (2)

Myon-Lebensdauer

- Myonen aus der kosmischen Strahlung erreichen die Erde mit verschiedenen Energien
- solche mit kleiner Energie werden im oder unter dem Detektor gestoppt
 - diese werden entweder von Kernen eingefangen (negative Myonen)
 - oder zerfallen als freie Myonen mit ihrer „mittleren Lebensdauer“
 - wenn die beim Zerfall entstehenden Elektronen einen Detektor erreichen, beobachtet man einen „Doppelpuls“:



- die individuellen Lebensdauern (zeitl. Abstand zwischen Muon- und Elektron-Puls) folgen einer Exponentialverteilung:

$$f(t) = \frac{1}{\tau} \exp(t/\tau)$$

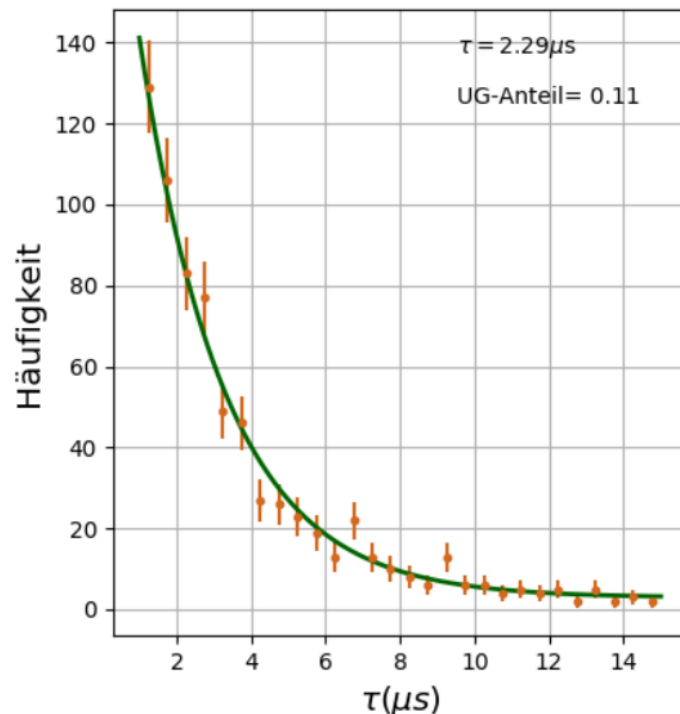
Experimentieren mit picoCosmo (3)

Myon-Lebensdauer (2)

Zusätzliche Pulse können auch zufällig entstehen, wenn ein zweites Myon oder ein Rauschpuls kurz nach dem ersten Myon eintrifft.

Die Wahrscheinlichkeit dafür hängt von der Pulserate R_p der Detektoren und dem Zeitfenster ΔT ab, in dem nach Doppelpulsen gesucht wird: $W_z = R_p \cdot \Delta T$;

Die gesamte Anzahl zufälliger Doppelpulse in einem Datensatz mit N_μ Myonen ist also: $N_z = \Delta T \cdot R_p \cdot N_\mu \cdot N_{Panels}$



Häufigkeitsverteilung der gemessenen Lebensdauern

angepasst ist eine Exponentialverteilung über einem flachen Untergrund aus Zufallskoinzidenzen

Datenausgabe

picoCosmo speichert Datensätze (im CSV-Format) mit verschiedenen Detailtiefen:

1. Parameter aller Pulse in Ereignissen mit einem akzeptiertem Myon

```
EvNr, EvT, V(1), T(1), ... , V(NC), T(NC)
```

Datenformat ist „Excel-kompatibel“; Bestimmung der mittleren Rate, Verteilung der Wartezeiten, Poisson-Verteilung der Ratenmessungen

2. Pulsparameter in Ereignissen mit Doppelpulsen

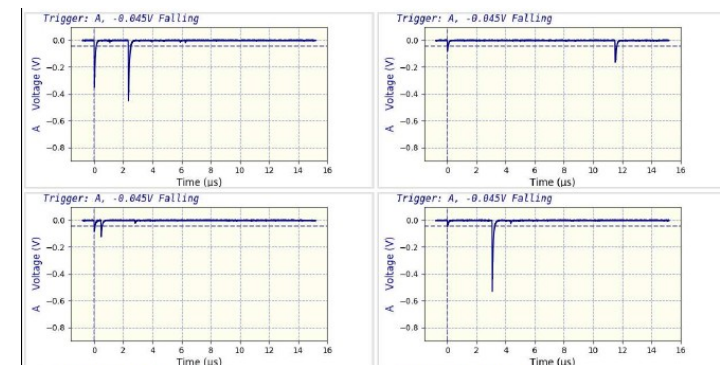
```
Nacc, Ndbble, Tau, dT(1) , ... , dT(NC), V(1), ... , V(NC)
```

Spalte drei enthält die Lebensdauer; weitere Studien mit Pulsen aller Kanäle möglich

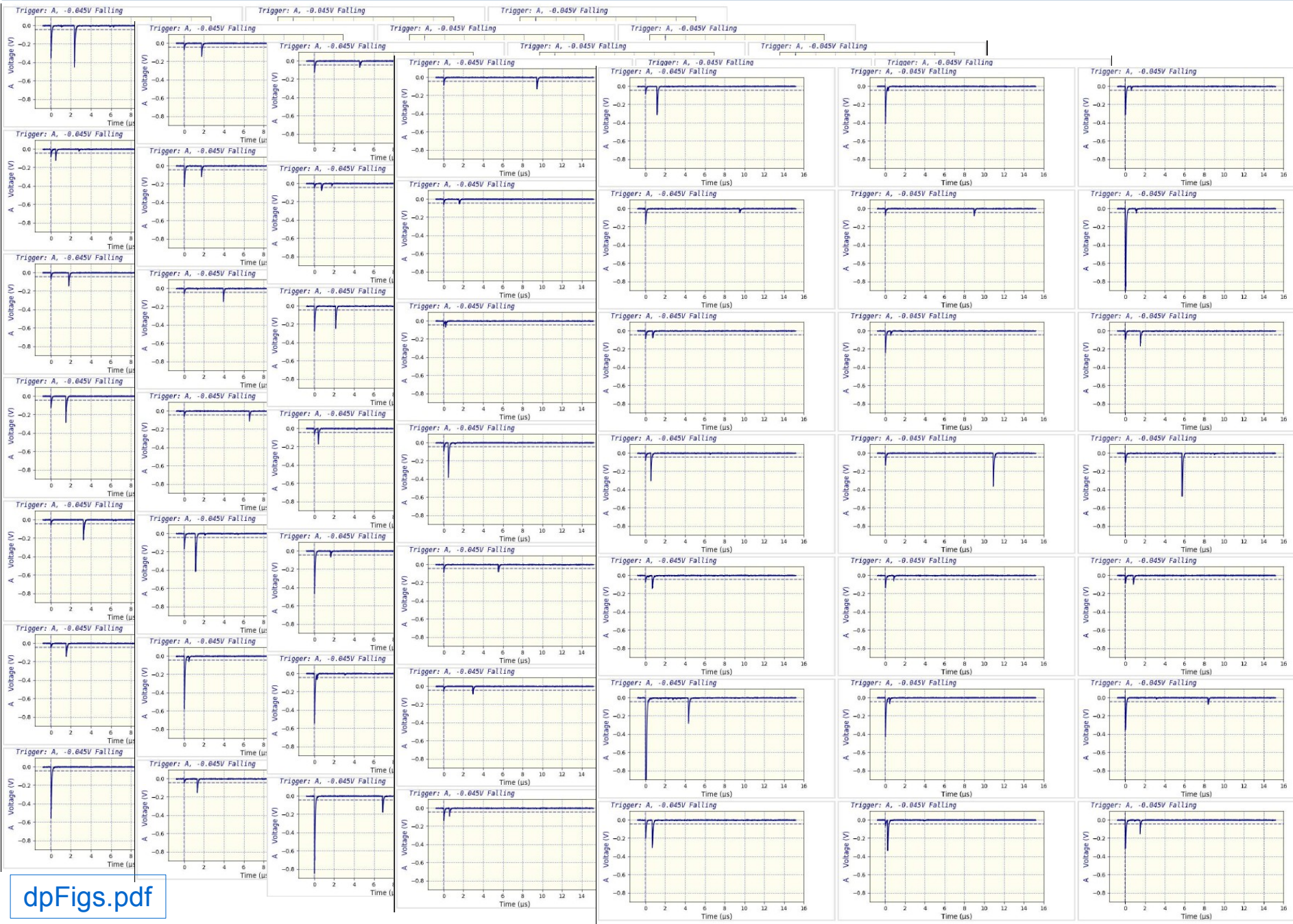
3. Rohdaten (yaml-Format) aller Pulse in Ereignissen mit Doppelpulsen

sehr großes Datenvolumen – für eigene Auswertungen; Skript zum Einlesen in python-Code vorhanden (für sehr begabte Schüler oder für Studierende)

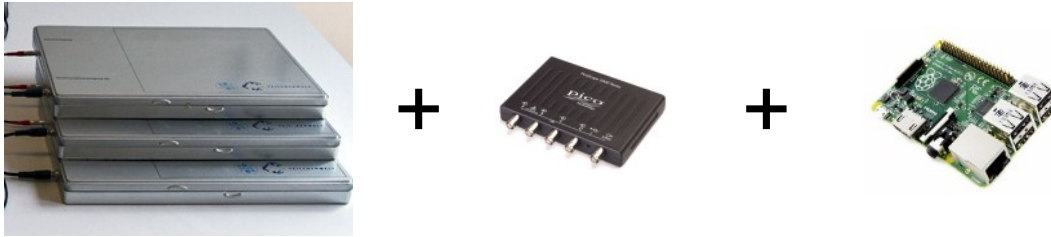
4. Bilddateien aller Ereignisse mit Doppelpulsen einfache Auswertung der Häufigkeitsverteilungen (auch schon mit Mittelstufenschülern)



Viele Ereignisbilder von Doppelpulsen ...

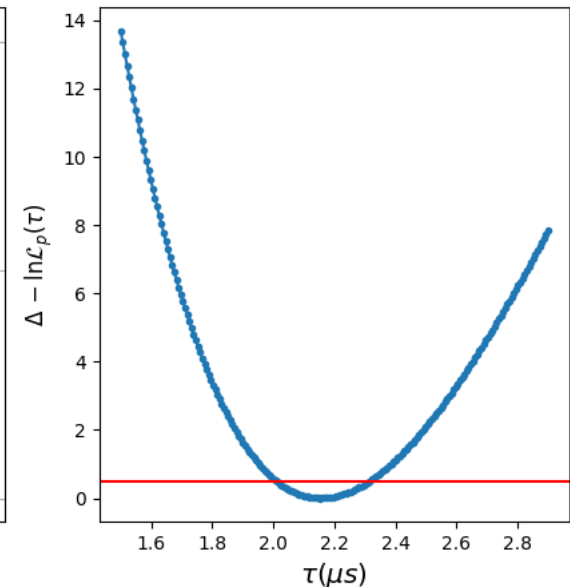
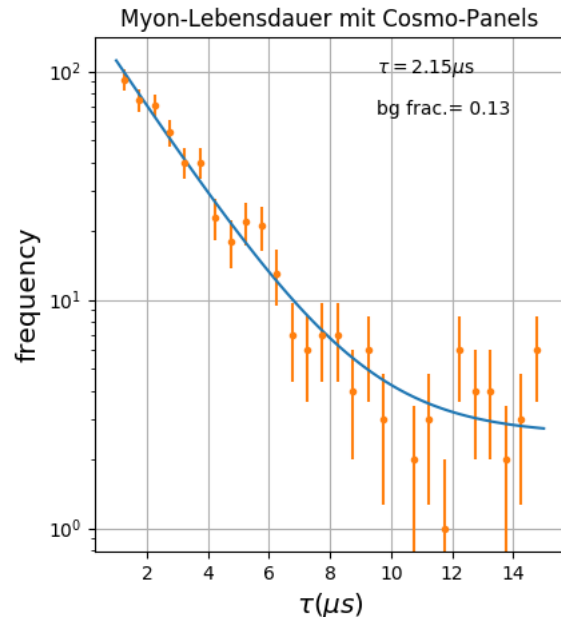


Beispiel einer Datennahme



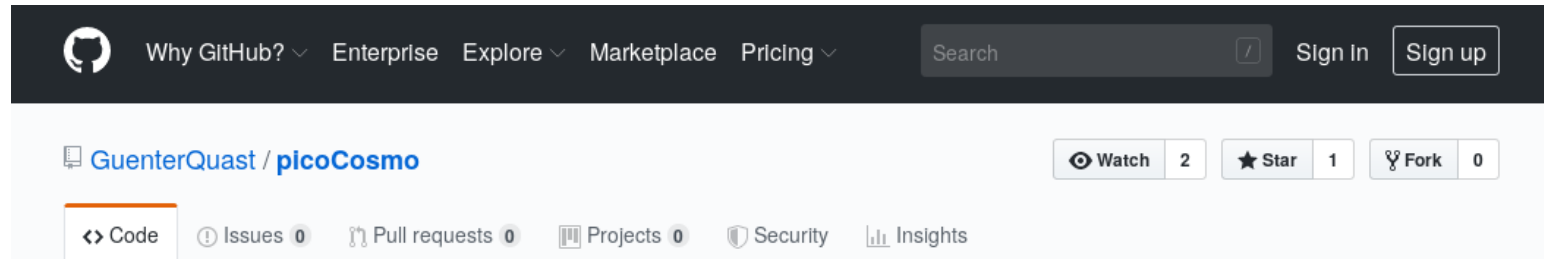
- 3 CosMO-Panels auf Fußboden an **PicoScope** 2407B (4-Kanal, 70 MHz, 250 MS/s)
- Laufzeit ca. 1 Tag (85000 s), Triggerschwelle 40 mV + digitaler Pulsfilter
- Datenaufnahme mit RaspberryPi, Triggerrate 10.7 Hz, 87% DAQ-lifetime
- Rate der Zeifachkoinzidenzen 4,0 Hz
- Zweifach Koinzidenzen: 59593 Dreifachkoinzidenzen: 279414 → **Panel-Effizienz: 90,4 %**
- 830 registrierte Doppelpulse zwischen 0 und 15.5 μs (0.24% der Myonen)

- ungebinnte ML-Anpassung an gemessene Lebensdauern von 1.0 μs bis 15. μs ergibt eine **Myon-Lebensdauer**
 $\tau_{\mu} = 2.15 \pm 0.17 \mu\text{s}$



Code, Anleitung und Beispiele ...

... frei verfügbar auf <https://github.com/GuenterQuast/picoCosmo>



Record and analyze data from CosMO Detectors and Kamlokane by Netzwerk Teilchenwelt using a picoScope USB oscilloscope

Neuere Erweiterungen:

- verschiedene Pulsformen für jeden Kanal möglich (uni- oder bipolar)
- relative Verzögerung der Kanäle einstellbar (z. B. für Kanne & CosMO Panel)
- auch andere Detektoren mit der gleichen Software unterstützt, z.B.
 - Geiger-Müller-Zähler
 - Gamma-Detektor GDK101 mit PiN-Dioden
 - zukünftige Versionen der NWT-Experimente: Kanne mit SiPM, ...
- Beispiele für statistische Auswertungen
- Beispieldaten in Roh- oder vorverarbeiteter Form (d.h. Pulsparameter) oder als Grafiken
- diverse Verbesserungen der grafischen Oberfläche

**Gute Erfahrungen im praktischen Einsatz,
z.B. im transportablen Koffer für „Studienbotschafterinnen“**

Experimente mit Kosmischer Strahlung

- erlauben interessanten und ungewohnten Einblick in ein Naturphänomen
- stehen in enger Verbindung zu aktuellen Forschungsthemen
- erklären moderne Experimentiertechniken
- können auch mit einem Raspberry Pi für Datennahme & Auswertung durchgeführt werden
- bieten vielfache Anknüpfungsmöglichkeiten:
 - Zufall und Wahrscheinlichkeit
 - Detektor-Effizienz, Signal und Rauschen
 - Eigenschaften der kosmischen Strahlung
 - individuelle & mittlere Lebensdauer
 - Ruhelebensdauer und relativistische Zeitdilatation
 - Digitale Messtechnik und Signalverarbeitung
 - Datenauswertung

