

# Software zur Auslese und Analyse der Experimente des Netzwerks Teilchenwelt

---

## Kurzfassung:

Python-Script zur Aufnahme und Auswertung der Daten der CosMO-Detektoren und der Kamiokande des Netzwerks Teilchenwelt mit einem USB-Oszilloskop der Firma PicoTechnology



Ein ausführliches Tutorium befindet sich unter dem Link [Anleitung.pdf](#).

## Kurzbeschreibung der Funktionalität

---

Das Netzwerk Teilchenwelt, <http://www.Teilchenwelt.de> stellt Experimente zum Nachweis von Myonen aus der kosmischen Strahlung zur Verfügung. Dies sind die Szintillationszähler des CosMO-Experiments und der aus einer Kaffeekanne mit aufgesetzter Photoröhre bestehende Wasser-Cherenkov-Zähler "Kamiokanne". Diese Detektoren liefern kurze Signale von ca. 100 ns Dauer und einigen 10 bis 100 mV Pulshöhe, die mit einem Oszilloskopen sichtbar gemacht werden können.

Auch Geigerzähler oder Detektoren für Gammastrahlung, wie der GDK 101 mit PIN-Dioden können mit dieser Software verwendet werden.

Moderne USB-Oszilloskope wie das PicoScope der Firma PicoTechnology, siehe <http://www.picotech.com>, erlauben es, die Pulsformen nicht nur anzuzeigen, sondern auch in Echtzeit an einen Computer zu exportieren, mit dem sie dann aufgezeichnet, angezeigt und analysiert werden können. Diesem Zweck dient das hier beschriebene Projekt "*picoCosmo*". Es ist auf Linux-Systemen und auch auf dem Raspberry Pi lauffähig und unterstützt PicoScope-Geräte mit zwei oder vier Kanälen.

*picoCosmo* nutzt zur Datenaufnahme den Puffermanager und die Echtzeit-Anzeigen des Projekts *picoDAQ* (<https://github.com/Guenter.Quast/picoDAQ>). Der Puffermanager von *picoDAQ* sammelt die Daten und verteilt sie an Echtzeit-Anzeigen oder weitere Prozesse zur Datenauswertung. *picoCosmo* ist eine angepasste und um umfangreiche Funktionalität zur Datenauswertung erweiterte Variante des Scripts *runDAQ.py* aus dem Projekt *picoDAQ*.

Die Analyse der aufgezeichneten Pulsformen verläuft in drei Schritten:

### 1. Validierung der Trigger-Schwelle des Oszilloskops

Dazu wird der Signalverlauf um den Triggerzeitpunkt mit einem Musterpuls verglichen und das Signal akzeptiert, wenn die Form gut übereinstimmt und der Puls eine Mindesthöhe überschreitet.

### 2. Suche nach Koinzidenzen

Als nächstes werden Pulse auf allen aktiven Kanälen in der Nähe des Triggerzeitpunkts gesucht. Bei mehr als einem angeschlossenen Detektor wird ein aufgezeichnetes Ereignis akzeptiert, wenn mindestens zwei in zeitlicher Koinzidenz auftreten.

### 3. Suche nach verzögerten Pulsen

Im optionalen dritten Schritt werden weitere Pulse auf allen aktiven Kanälen gesucht und die Zeitdifferenz zum Triggerzeitpunkt festgehalten. Solche Pulse treten auf, wenn ein Myon aus der kosmischen Strahlung nach Durchgang durch den bzw. die Detektoren gestoppt und das aus dem Zerfall entstandene Elektron registriert wird. Die registrierten individuellen Lebensdauern folgen einer Exponential-Verteilung mit einer mittleren Lebensdauern von  $2,2 \mu\text{s}$ , die auf diese Weise bestimmt werden kann.

Die Software bietet Echtzeit-Anzeigen der Myon-Rate, der aufgenommenen Pulshöhen und der Myon-Lebensdauern. Zusätzlich können Mehrfach-Pulse als Rohdaten der registrierten Pulsformen oder als Bilder im *.png*-Format gespeichert werden.

### Abhängigkeiten von anderen Paketen

Der hier bereit gestellte Code hängt von anderen Software-Paketen ab, die zuvor auf Ihrem System installiert sein müssen:

- das Datennahme-Paket ('Data Acquisition') *picoDAQ*, <https://github.com/GuenterQuast/picoDAQ>
- das *python* -Interface *pico-python*, <https://github.com/colinoflynn/pico-python>
- die Gerätetreiber und C-Bibliotheken aus dem 'Pico Technology Software Development Kit', das zusammen mit

```
der PicoScope-Software installiert wird, siehe  
<https://www.picotech.com/downloads>
```

Auch auf dem Raspberry Pi können die Treiber installiert werden, die grafische Oberfläche *PicoScope* ist allerdings (noch) nicht verfügbar.

## Programmausführung

Der Code kann entweder auf der Linux-Kommandozeile über das Script *runCosmo.py* oder über eine grafische Oberfläche, *CosmoGui.py*, gestartet werden.

Um die grafische Oberfläche zu nutzen, wird das Verzeichnis *picoCosmo* benötigt:

```
cd  
mkdir picoCosmo
```

Jetzt wird die Oberfläche mit dem Befehl

```
<picoCosmo-Installationsverzeichnis>/CosmoGui.py
```

Als Alternative zur grafischen Oberfläche kann *picoCosmo* auch über die Kommandozeile gestartet werden. Dazu ins Installationsverzeichnis von *picoCosmo* wechseln

```
cd <picoCosmo-Installationsverzeichnis>
```

und dann

```
./runCosmo.py [Konfigurationsdatei]
```

eingeben.

Die benötigten Information zur Konfiguration des USB-Oszilloskops, der Pufferverwaltung zur Bereitstellung der Daten und die Pulsanalyse werden in Konfigurationsdateien im *.yaml*-Format bereit gestellt. Die für eine spezielle Konfiguration verwendeten Dateien sind in einer Datei im *.yaml*-Format mit der Endung *.daq* enthalten.

Beide Programme benötigen eine Konfigurationsdatei

- *Cosmo.daq* : Konfiguration für die Cosmo-Panels
- *Kanne.daq* : Konfiguration für die Kamiokanne.

Diese Dateien enthalten die Namen weiterer Konfigurationsdateien, die für das PicoScope, den Puffer-Manager und die Pulsanalyse verwendet werden.

Auch die grafische Oberfläche kann analog mit einer Konfiguration initialisiert werden:

```
./CosmoGui xxx.daq
```

Die Konfigurationsdatei kann aber auch mittels der grafischen Oberfläche ausgewählt und die spezifizierten Konfigurationen editiert werden. Über die grafische Oberfläche kann ein Arbeitsverzeichnis für die Ausgabedateien und ein Name für die Datennahme festgelegt werden. Alle für eine Datennahme (einen sogenannten *Run*) benötigten Konfigurationsdateien und die Programmausgaben werden in einem eigenen Verzeichnis abgelegt, deren Name aus dem Namen für die Datennahme und dem Startzeitpunkt abgeleitet wird.

## ##Installation der Software

Zunächst werden alle Dateien dieses Projekts über den Link <https://github.com/GuenterQuast/picoCosmo> herunter geladen und in einem Arbeitsverzeichnis abgelegt. Vor der Verwendung müssen die folgenden Pakete installiert werden:

- PicoTech Software Development Kit:  
<https://www.picotech.com/library/oscilloscopes/picoscope-software-development-kit-sdk>.
- das *pico-python* Paket:  
<https://github.com/colinoflynn/pico-python>.
- das picoDAQ Paket, vers. >= 0.7.2:  
<https://github.com/GuenterQuast/picoDAQ>.

Zur Vereinfachung der Installation sind im Unterverzeichnis *whl/* kompatible Versionen der Module *picoscope* aus dem Paket *pico-python* und *picodaga* aus dem Paket *picoDAQ* als *python-wheels* enthalten, die mittels

```
pip install *.whl
```

installiert werden können.

## Details zu Konfiguration

Wie oben beschrieben, wird die Datenaufnahme und Analyse entweder über die grafische Oberfläche (*./CosmoGui.py xxx.daq*) oder über die Kommandozeile (*./runCosmo xxxx.daq*) gestartet. Ohne Angabe einer Konfigurationsdatei wird die Datei *default.daq* verwendet.

Nach dem Start eines Runs startet die grafische Oberfläche des Puffer-Managers und die in der Konfiguration festgelegten Echtzeit-Anzeigen. Über die Kontrollflächen des Puffer-Managers kann die Datennahme pausiert (*Pause*), wieder aufgenommen (*Resume*) oder beendet werden (*Stop* und *\*EndRun*). In gestopptem Zustand werden die Ausgabedateien geschlossen, aber alle Fenster bleiben noch geöffnet, so dass Grafiken betrachtet oder gespeichert und statistische Information ausgewertet werden können. Wird der Run beendet, verschwinden alle Fenster.

Zwei Hilfsanwendungen, *plotDoublePulses.py* und *makeFigs.py* ermöglichen das Einlesen der abgespeicherten Pulsformen und deren graphische Anzeige bzw. Abspeichern als Grafikdateien im *.png*-Format.

Die Konfigurationsdateien für das USB-Oszilloskop, den Puffer-Manager und die Signalanalyse sind in jeweils einer Datei vom Typ *.yaml* im Unterverzeichnis *./config/* festgelegt. Die Dateinamen sind in Dateien vom Typ *.daq* enthalten, also *Kanne.daq* für Kamiokanne und *Cosmo.daq* für die CosMO-Panels.

Die folgenden Beispiele gelten für den Kamiokanne-Detektor. Generell entspricht die in den Konfigurationsdateien verwendete Syntax der Markup-Sprache *yaml*. Insbesondere kennzeichnet Text nach einem `#`-Zeichen erklärende Kommentare oder enthält alternative, auskommentierte Konfigurationsoptionen, die durch Löschen des `#`-Zeichens aktiviert werden können.

### Inhalt der Datei *Kanne.daq*:

```
# file Kanne.daq
# -----
# Konfigurationsdateien für den Kamiokanne-Detektor

DeviceFile: config/PMpulse.yaml # Konfiguration des Oszilloskops
BMfile:     config/BMconfig.yaml # Konfiguration des Puffer-Managers
PFfile:     config/PFconfig.yaml # Konfiguration des Pulsfilters
```

Die Oszilloskop-Konfiguration enthält Informationen zum Typ des Oszilloskops, die aktiven Kanäle und zum Trigger.

### Inhalt der Datei *PMpulse.yaml*:

```
# file PMpulse.yaml
# -----
# Konfigurationsdatei für PicoScope an Photoroehre
```

```
PSmodel: 2000a      # Modeltyp (2000a ist voreingestellt)

picoChannels:      [A]          # aktiver Kanal, [A,B] aktiviert beide Kanäle
ChanRanges:        [0.5, 0.2]  # Messbereich
ChanOffsets:       [0.4, 0.45] # analoger Offset, der vor Anzeige addiert wird.

sampleTime:        16.E-6      # Zeitdauer einer einzelnen Datenaufnahme
                        # Zahl im wissenschaftlichen Format mit '.' und Exponent mit Vorzeichen
Nsamples:          3500        # Anzahl der aufzunehmenden Messpunkte

trgChan:           A           # Kanal, auf den der Trigger wirkt
trgThr:            -45.E-3     # Schwelle
trgTyp:            Falling     # fallend (Falling) oder ansteigend (Rising)
trgTO:             5000        # Timeout, nach dieser Zeit wird einmal ausgelesen
pretrig:           0.05        # Anteil der vor dem Trigger ausgelesenen Daten
ChanColors: [darkblue, sienna, indigo] # Farben für Darstellung der Kanäle
```

Die Datei für den Puffer-Manager gibt an, wie viele Puffer verwendet werden, welche Anzeige-Module gestartet werden und ob ein Log-File erstellt werden soll:

### Inhalt der Datei BMconfig.yaml:

```
# file BMconfig.yaml
# -----
# Konfigurationsdatei des picoDAQ Puffermanagers

NBuffers: 16          # Anzahl der Puffer für aufgezeichnete Pulsformen
BMmodules: [mpOsci]   # BufferMan- Module, die gestartet werden sollen
verbose: 1            # setze Niveau der ausgegebenen Nachrichten (0, 1, 2)
LogFile: BMsum        # Schreibe log-Datei mit laufenden Angaben
```

Die Konfiguration der Pulsanalyse spezifiziert die gewünschten Ausgabedateien und gibt die Pulsform und die Pulshöhe für jeden Kanal sowie die zu startenden Anzeige-Module an. Sie enthält auch die Spezifikation der Echtzeit-Histogramme für Pulshöhen, Myon-Rate und Lebensdauer. Ein Beispiel ist hier gezeigt:

### Inhalt der Datei PMconfig.yaml:

```
# file PFKanne.yaml
# -----
# Konfigurationsdtei für den PulseFilter mit Kamiokanne

#logFile: pFilt      # speichere Angaben zu allen gefundenen Pulsen
logFile: Null        #      Null falls keine Ausgabe erwuenscht
logFile2: dpFilt     # speichere nur Doppelpulse, Null falls nicht erwuenscht
rawFile:  rawDP       # speichere Rohdaten von Doppelpulsen, put Null if not wanted
pictFile: pictDP      # Speichere Bilder von Doppelpulsen

# Puls-Parameter
#
#      -----
#      /       \
#      /         \
#      /           \
```

```
#      r      on f
# r = rise (Anstiegszeit), on (Haltezeit), f = falling (Abfallzeit)

# Pulsformen für die aktiven Kanäle
#      falls nur eine angegeben, gilt sie fuer all Kanäle
pulseShape:
- pheight: -0.035    # Pulshoehe
  taur      : 20.E-9    # Anstiegszeit
  tauon     : 12.E-9    # Haltezeit
  tauf      : 128.E-9   # Abfallzeit

# Pulsform fuer Triggerpuls
#      optional - falls nicht angegeben, nutze pulseShape
trgPulseShape:
- pheight: -0.045    # Pulshoehe
  taur      : 20.E-9    # Anstiegszeit
  tauon     : 12.E-9    # Haltezeit
  tauf      : 128.E-9   # Abfallzeit
```

```
# Anzeigen, die gestartet werden sollen
modules: [RMeter, Display, Hists] # Rate, Pulsform, Histogramme

# Definition der Histogramme
histograms:
# min  max  Nbins ymax    title                lin/log
- [0., 0.4, 50, 20., "noise Trg. Pulse (V)", 0]
- [0., 0.8, 50, 15., "valid Trg. Pulse (V)", 0]
- [0., 15., 45, 7.5, "Tau (µs)", 1]
- [0., 0.8, 50, 15., "Pulse Height (V)", 0]

doublePulse: True # Doppelpulssuche ein, False falls nicht erwuenscht
```

## Beispielausgabe

Das Verzeichnis *./output* enthält Ergebnisse einer Langzeitmessung (ca. 20 Tage) mit der Kanne und einer etwa eintägigen Messung mit zwei Cosmo-Panels.

Die gepackte Datei *rawDP\_.dat.zip* enthält die Rohdaten der aufgezeichneten Pulsformen für erkannte Doppelpulse. Die Skripte *plotDoublePulses.py* und *makeFigs.py* erlaubt das Einlesen der gepackten Datei und die grafische Darstellung der Doppelpulse bzw. die Speicherung als Grafikdateien im *.png*-Format. Die aus den Doppelpulsen bestimmten Lebensdauern sind in der Datei *dpKanne2\_180403.dat* enthalten. Eine Anpassung einer Exponentialfunktion an gemessene Lebensdauern zwischen 1.5 µs and 15. µs kann mit dem Skript *fit\_dpData.py* ausgeführt werden; das Ergebnis zeigt die Grafikdatei *life-ofMU\_180403.png*.

## Ausführen auf dem Raspberry Pi

*picoCosmo* läuft auch auf dem Einplatinen-Computer Raspberry Pi unter dem Betriebssystem Raspbian. Nach dem Aufsetzen des Raspberry Pi sind die folgenden Schritte notwendig um alle benötigten Pakete zu installieren (*stretch* Release):

```

sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade

sudo apt-get install python3-scipy
sudo apt-get install python3-matplotlib
sudo apt-get install python3-pyqt5
sudo apt-get install libatlas-base-dev # needed by latest version of numpy

sudo pip3 install pyyaml

# Installation der MS TrueType fonts
sudo apt-get install ttf-mscorefonts-installer

# Installation der picoScope-Treiber siehe
#   https://www.picotech.com/support/topic14649.html
# nach Aufsetzen des picotech Repositories
sudo apt-get install libps2000a
sudo apt-get install libps2000

# picoCosmo Code und notwendige Pakete
mkdir git
cd git
git pull https://github.com/GuenterQuast/picoCosmo
cd picoCosmo/whl
sudo pip3 install *.whl
# Nutzer in Gruppe pico eintragen, um Zugriff auf USB-Ports zu gewähren
sudo useradd -G pico $USER

```

Erzeugen Sie das Unterverzeichnis *picoCosmo*, in dem alle Konfigurationsdateien und die Programmausgabe gespeichert werden:

```

cd
mkdir picoCosmo

```

Jetzt ist alles vorbereitet, um die grafische Oberfläche von *picoCosmo* zu starten:

```

<picoCosmo-Installationsverzeichnis>/CosmoGui.py

```