

Anleitung
Pulse Recorder & Analyser
PRA
Version 18.0.0.0

Marek Dolleiser, Sydney 01.10.2018

deutsche Fassung Heiner Gerling 02.10.2018

Anmerkungen zur Überetzung:

- Die deutsche Fassung des Programms benutzt als Dezimaltrennzeichen Komma statt Punkt.
- Als Übersetzung von "bin/bin size" wurde "Sortierfach/Sortierfachgröße" gewählt, vielleicht richtiger im Bereich Mathematik, beschreibende Statistik wäre "Klasse/Klassenbreite", im Bereich der Radiometrie auch "Zähl-Kanal". So ist es aber für alle (auch für Amateure) anschaulicher.

Inhaltsverzeichnis

Allgemeine Informationen.....	3
Einleitung.....	3
Änderungen in Version 18.0.0.0.....	3
Anforderungen.....	3
Installation.....	3
Kontakt.....	4
Hardware.....	4
Menü.....	5
Datei (File).....	5
Aktion (Action).....	5
Ansicht (View).....	6
Einstellungen (Settings).....	6
Hilfe (Help).....	7
Fenster.....	7
Hauptfenster.....	7
Zählrate vs. Zeit (Counting Rate vs Time).....	7
Zählratenhistogramm (Counting Rate Histogram).....	8
Intervallhistogramm (Interval Histogram).....	8
Pulsbreiten-Histogramm (Pulse Width Histogram).....	9
Pulshöhen-Histogramm (Pulse Height Histogram).....	9
Audio-Eingang (Audio Input).....	11
Datenerfassung und -analyse (Data Acquisition and Analysis).....	12
Einstellungen der Audio-Schnittstelle (Audio Interface Settings).....	15
Pulsform-Editor (Pulse Shape Editor).....	15
Kalibrierung (Calibration).....	17
Erweiterter Impulsfilter (Advanced Pulse Filter).....	18
Mathematik in PRA.....	19
Impulserkennung (Pulse Recognition).....	19
Baseline Methode.....	19
Pulsform-Methode (Pulse shape method).....	20
<i>Kalibrierung</i> (Calibration).....	21
Proportional (Fit slope, Gefälle anpassen).....	21
Linear (Fit linear, linear angepasst).....	22
Interpolation.....	22
<i>Totzeitberechnungen</i> (Dead time calculations).....	22
„Region von Interesse“ Statistik.....	23
<i>Gaußsche Korrelationsfilter</i>	24
Toleranzkorrektur.....	25
Tastaturkürzel.....	31
Dateistrukturen.....	32

Allgemeine Informationen

Allgemeine Informationen.....	3
Einleitung.....	3
Änderungen in Version 18.0.0.0.....	3
Anforderungen.....	3
Installation.....	3
Kontakt.....	4
Hardware.....	4

Einleitung

Die Anwendung **Pulse Recorder and Analyser (PRA)** verwendet den Soundadapter des Computers, um in Echtzeit Signale zu analysieren, die von verschiedenen Detektoren empfangen werden, wie z.B. Geigerzähler, Proportionalgaszähler, Szintillationszähler, Halbleiterdetektoren etc. Mit dieser Software können Sie Ihren Computer in den Multi-Channel Analyzer (MCA), Scaler oder einfachen Zähler umwandeln, ohne teure Spezialhardware kaufen zu müssen. Es ist offensichtlich, dass es einige Einschränkungen für die Funktionalität eines solchen Instruments gibt, hauptsächlich wegen der Samplingrate, die normalerweise auf 48000 Samples/s begrenzt ist. Wenn die Zählfrequenz jedoch relativ niedrig ist (weniger als 1000 Impulse/s), sind die Ergebnisse sehr gut. PRA wurde für den Einsatz in Experimenten mit schwach radioaktiven Quellen konzipiert, wie sie in Lehlaboris üblich sind.

Änderungen in Version 18.0.0.0

1. Geändert: Der vom Programm für die Impulsverarbeitung benötigte Speicher wird dynamisch zugewiesen und kann vom Benutzer eingestellt werden. Diese Version ist rückwärtskompatibel zu den Versionen 16 und 17 und macht sie obsolet. Weitere Informationen finden Sie unter [Datenerfassung und -analyse](#).

Anforderungen

PRA kann auf jedem Computer mit Soundkarte und Windows-Betriebssystem (XP oder höher) ausgeführt werden. Es läuft auch auf Linux-Boxen unter Wine, aber es hängt davon ab, wie gut Ihre Audio-Hardware von Linux unterstützt wird. Der Speicherbedarf hängt hauptsächlich von der maximalen Impulszahl und der Anzahl der Audiokanäle ab.

Installation

PRA benötigt keine spezielle Installation, kopieren Sie einfach die Dateien "PRA.exe" und "PRA.pdf" in einen Ordner Ihrer Wahl und starten Sie die Anwendung. Es handelt sich um eine rein portable Anwendung, die von jedem beliebigen Standort aus betrieben werden kann. Manchmal benötigen Sie Administratorrechte, um PRA in speziellen Windows-Ordern wie z.B. "Programme" zu installieren. Der Einfachheit halber können Sie auf Ihrem Desktop oder im Windows-Menü eine Verknüpfung zu PRA herstellen, aber Sie sind dafür verantwortlich, diese zu entfernen, wenn Sie sich entscheiden, das Programm zu deinstallieren. Um PRA zu deinstallieren, löschen Sie einfach die Dateien "PRA.exe", "PRA.pdf" und "PRA.ini". Das PRA-Programm selbst schreibt keine Informationen in die Windows-Registrierung. PRA gibt es in zwei Versionen: 32 Bit und 64 Bit. Die 64-Bit-Version funktioniert nur auf 64-Bit-Betriebssystemen. Die 32-Bit-Version funktioniert sowohl auf 32-Bit- als auch auf 64-Bit-Betriebssystemen. Um die "PRA.pdf"-Datei lesen zu können, benötigen Sie eine PDF-Reader-Anwendung, die auf Ihrem System verfügbar ist. Wenn Sie das PRA-Programm automatisch öffnen möchten, wenn Sie mit der Maus auf die Datei ".pls" oder ".wav"

klicken, müssen Sie diese Art von Dateien mit dem PRA-Programm verknüpfen. Klicken Sie dazu einfach mit der rechten Maustaste auf die Dokumentdatei und wählen Sie aus dem Menü Öffnen mit → wähle Programm... und dann Durchsuchen... und wählen Sie PRA-Programmdatei aus. Um Ihre Assoziation dauerhaft zu machen, kreuzen Sie "Immer das ausgewählte Programm verwenden, um diese Art von Datei zu öffnen" an und bestätigen Sie Ihre Wahl.

Benutzer, die die typische Windows-Installationsprozedur mögen, verwenden bitte den PRA-Installer.

Kontakt

Sollten Sie Fragen, Kommentare oder Anregungen zu PRA haben, senden Sie uns bitte eine E-Mail an mdolleiser@optusnet.com.au

Eine neue Version der PRA-Anwendung (falls vorhanden) finden Sie unter <http://www.gammaspectacular.com/marek/pr/index.html>

Hardware

PRA analysiert das Signal des Soundadapters, das über das Menü ausgewählt werden kann: *Einstellungen* → *Audio-Schnittstelle* {*Settings* → *Audio Interface*}. Darüber hinaus müssen Sie unter Umständen auch die Einstellungen für die Audio-Schnittstelle in Ihrem Windows-Betriebssystem ändern, indem Sie das *Audio-Control-Panel* verwenden, das mit Ihrem Audio-Interface geliefert wird, oder die *Windows-Aufnahmesteuerung* verwenden. Um auf die *Aufnahmesteuerung* zuzugreifen, verwenden Sie *Einstellungen* → *Systemsteuerung* aus dem Hauptmenü von Windows und wählen Sie dann *Sound and Audio Devices* controller. Alternativ können Sie auch mit der rechten Maustaste auf das Lautsprechersymbol klicken und *Audio-Eigenschaft* anpassen wählen. Ich verwende normalerweise *CD-Player* oder *Line In*-Eingang. Die Pulse, die von den meisten Detektoren erzeugt werden, sind recht schmal und lassen sich mit einem Soundadapter kaum genau abtasten. Um dieses Problem zu beheben, verwende ich einen einfachen Tiefpassfilter am Eingang. Diese Lösung funktioniert gut mit Geigerzähler und NaI-Szintillationsdetektor. Für Gas-Proportionalzähler zur Detektion von Röntgenstrahlen habe ich einen einfachen Verstärker auf der Basis von OPA129 gebaut, der hauptsächlich dazu dient, die hohe Ausgangsimpedanz des Detektors an die niedrige Eingangsimpedanz des Audioeingangs anzupassen und das Signal auf den Leitungspegel $\approx 0,3$ V zu verstärken.

Menü

Menü.....	5
Datei (File).....	5
Aktion (Action).....	5
Ansicht (View).....	6
Einstellungen (Settings).....	6
Hilfe (Help).....	7

Datei (File)

Das Menü **Datei (file)** enthält die folgenden Punkte:

1. **Öffnen (Open)** – öffnet Daten, die zuvor in einer Datei gespeichert wurden. Die Standarderweiterung der Datei ist ".pls". Sie können auch die Sounddatei ".wav" öffnen und sie wird sofort mit den aktuellen Einstellungen analysiert, so als ob das Signal an den Eingang der Soundkarte angeschlossen wäre. Diese Art der Datenerfassung ist nur dann sinnvoll, wenn Sie Triggereinstellungen vornehmen, da die Datei ".wav" in der Regel größer ist als die Datei ".pls". Der Vorteil der Verwendung der ".wav"-Datei besteht darin, dass Sie dieselbe Datei mit unterschiedlichen Einstellungen öffnen und die Analyseergebnisse vergleichen können. Die ".wav"-Datei kann mit der [InTune](#)-Anwendung aufgezeichnet werden. Um Stereodateien aufzunehmen, verwenden Sie ein gutes Tonaufzeichnungsprogramm wie z.B. [Audacity](#) und speichern Sie es im Windows PCM-Format (.wav).
2. **Lade Daten (Load Data)** – öffnet die Datendatei, ohne die aktuellen Audioeinstellungen, die Pulsform und die interessierenden Regionen zu verändern.
3. **Pulsform aus Sounddatei ermitteln (Obtain Pulse Shape from Sound File)** – verwendet eine vorhandene Sounddatei, um die Pulsform zu bestimmen. Es ist eine Alternative zur Pulse Shape Acquisition Methode.
4. **Speichern (Save)** – speichert alle erfassten Daten und Einstellungen in einer Datei, die später von PRA geöffnet werden kann.
5. **Exportiere Zählrate vs Zeit (Export Counting Rate vs Time)** – speichert die Zählrate vs. Zeit-Histogramm als Textdatei, die zur weiteren Datenanalyse in andere Anwendungen importiert werden kann. Das Spaltentrennzeichen ist das "tab"-Symbol. Die exportierten Daten hängen von den [Einstellungen](#) ab.
6. **Exportiere Zählratenhistogramm (Export Counting Rate Histogram)** – wie oben, jedoch ein anderes Histogramm.
7. **Exportiere Intervallhistogramm (Export Interval Histogram)** – wie oben.
8. **Exportiere Pulsbreitenhistogramm (Export Pulse Width Histogram)** – wie oben.
9. **Exportiere Pulshöhenhistogramm (Export Pulse Height Histogram)** – wie oben.
10. **Exportiere Pulshöhenhistogramm vs Zeit** – speichert eine Matrix von Pulshöhen-Histogrammen als Textdatei ab.
11. **Exportiere Regionen von Interesse (Regions of Interest)** – speichert als Textdatei ROIs, die im Histogramm [Pulshöhenhistogramm](#) {PulseHeight Histogram} ausgewählt wurden.
12. **Exportiere koinzidente Impulshöhen (Export Coincident Pulses Height)** – speichert als Textdatei die Höhe der simultanen Pulse des linken und rechten Kanals.
13. **PRA beenden (Exit)** – beendet die Anwendung, was dem Schließen des Hauptfensters entspricht.

Aktion (Action)

Das Aktionsmenü (**Action**) enthält folgende Punkte:

1. **Datenerfassung starten (Start Data Acquisition)** (Tastaturkürzel **A**) – startet die Datenerfassung. Alle aktuellen Daten werden verworfen.
2. **Datenerfassung fortsetzen (Continue Data Acquisition)** (Tastaturkürzel **C**) – startet die Datenerfassung und fügt die Ergebnisse an die vorhandenen Daten an. Diese Option sollte nicht verwendet werden, wenn die Konsistenz der Zeitabhängigkeit wichtig ist.
3. **Datenerfassung stoppen (Stop Data Acquisition)** (Tastaturkürzel **S**) – wenn Sie mit der Datenerfassung beginnen, werden alle zuvor erfassten Daten verworfen, also speichern Sie Ihre Daten immer in der Datei, nachdem die Datenerfassung gestoppt wurde. Die Datenerfassung stoppt automatisch, wenn die Anwendung eine der Grenzen der Datenerfassung erreicht (siehe [Einstellungen](#)). Dieser Menüeintrag funktioniert auch dann, wenn die Datenerfassung über Start Pulse Shape Acquisition gestartet wurde. In diesem Fall öffnet sich das Fenster [Pulsform bearbeiten](#) {Pulse shape Editor} mit angewandten neuen Pulsform-Parametern.
4. **Impulsformfassung starten (Start Pulse Shape Acquisition)** – startet die Datenerfassung mit dem Ziel, eine automatisch gemittelte Pulsform zu erzeugen. Sie können diese Option verwenden, wenn Sie viele Pulse mitteln möchten. In diesem Modus verwendet das Programm immer die Grundlinientriggerung und der Pulsform-Mittelpunkt ist die Spitze des Pulses. Wenn Sie diese Option verwenden und Ihre Pulsschwelle kleiner als 10 willk. E. {Arb.u.} ist, werden automatisch höhere Einstellungen der Triggerschwelle angewendet (10 willk. E. bis 90 willk. E.). Bitte achten Sie darauf, dass die Polarität der Impulse durch das Vorzeichen der Impulsschwelle korrekt angezeigt wird.
5. **Sound An/Aus (On/Off)** (Tastaturkürzel **Leerzeichen**) – schaltet die Wiedergabe in Echtzeit ein und aus und stellt die ankommenden Impulse dar. Größere Pulse werden mit einer höheren Tonhöhe gespielt. Dieses in PRA v7 implementierte Feature ist in erster Linie für sehbehinderte Menschen gedacht, kann aber auch für andere recht unterhaltsam sein. Es ist durchaus möglich, viele der einfachen radioaktiven Quellen durch Anhören des Schalls zu erkennen. Ich kann ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{109}Cd , und ^{137}Cs erkennen, wenn ich den NaI-Detektor verwende.

Ansicht (View)

Das Menü **Ansicht (View)** enthält folgende Punkte:

1. **Zählrate vs Zeit (Counting Rate vs Time)** – öffnet das Fenster [Zählrate vs Zeit](#).
2. **Zählratenhistogramm (Counting Rate Histogram)**– öffnet das Fenster [Zählratenhistogramm](#).
3. **Intervallhistogramm** – öffnet das Fenster [Intervallhistogramm](#).
4. **Pulsbreitenhistogramm (Pulse Width Histogram)**– öffnet das Fenster [Pulsbreitenhistogramm](#).
5. **Pulshöhenhistogramm (Pulse Height Histogram)** – öffnet das Fenster [Pulshöhenhistogramm](#).
6. **Audioeingang (Audio Input)**– öffnet das Fenster [Audioeingang](#).

Einstellungen (Settings)

Das Menü **Einstellungen (Settings)** enthält folgende Punkte:

1. **Datenerfassung und... (Data Acquisition and A.)** – öffnet das Fenster [Datenerfassung und -analyse](#).
2. **Kalibrierung (Calibration)**– öffnet das Fenster [Kalibrierung](#).
3. **Audio-Schnittstelle (Audio Interface)**– öffnet das Fenster [Audio-Schnittstelle](#).
4. **Pulsform (Pulse Shape)**– öffnet das Fenster [Pulsform Editor](#).
5. **Erweiterter Filter (Advanced Filter)**– öffnet das Fenster [Erweiterter Impulsfilter](#).
6. **Einstellungen laden (Load Settings ...)**– öffnet und übernimmt gespeicherte Programmeinstellungen.
7. **Einstellungen speichern (Save Settings)** – speichert die aktuellen Programmeinstellungen in der Standardkonfigurationsdatei "PRA.ini". Diese Datei wird im PRA-Programmverzeichnis gespeichert und der Benutzer benötigt Schreibrechte für diesen Ordner.
8. **Einstellungen speichern unter...(Save Settings As)** – speichert die aktuellen Programmeinstellungen in eine Datei am gewählten Speicherort, die Sie später mit dem Befehl "Einstellungen laden...{Load Settings ...}" übernehmen können.

Hilfe (Help)

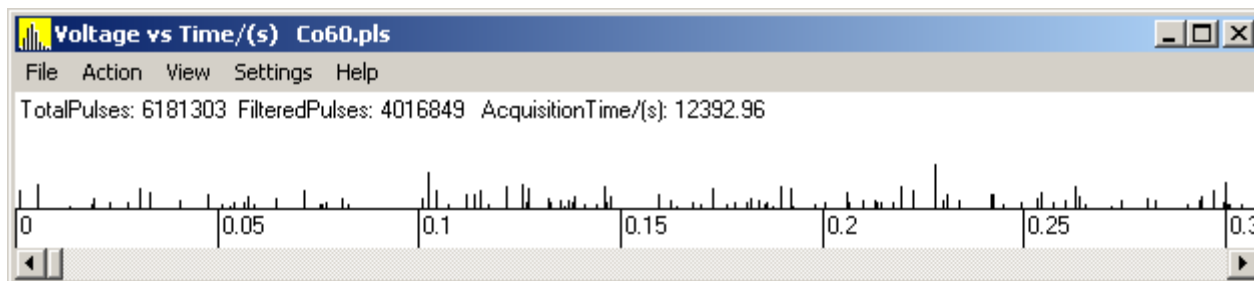
Das Menü **Hilfe (Help)** enthält die folgenden Punkte:

1. **Hilfethemen (Help Topics)** – öffnet die Hilfedatei "PRA.pdf".
2. **Über (About)** – Zeigt Versions- und Copyright-Informationen über die PRA-Anwendung an.

Fenster

Fenster.....	7
Hauptfenster.....	7
Zählrate vs. Zeit (Counting Rate vs Time).....	7
Zählratenhistogramm (Counting Rate Histogram).....	8
Intervallhistogramm (Interval Histogram).....	8
Pulsbreiten-Histogramm (Pulse Width Histogram).....	9
Pulshöhen-Histogramm (Pulse Height Histogram).....	9
Audio-Eingang (Audio Input).....	11
Datenerfassung und -analyse (Data Acquisition and Analysis).....	12
Einstellungen der Audio-Schnittstelle (Audio Interface Settings).....	15
Pulsform-Editor (Pulse Shape Editor).....	15
Kalibrierung (Calibration).....	17
Erweiterter Impulsfilter (Advanced Pulse Filter).....	18

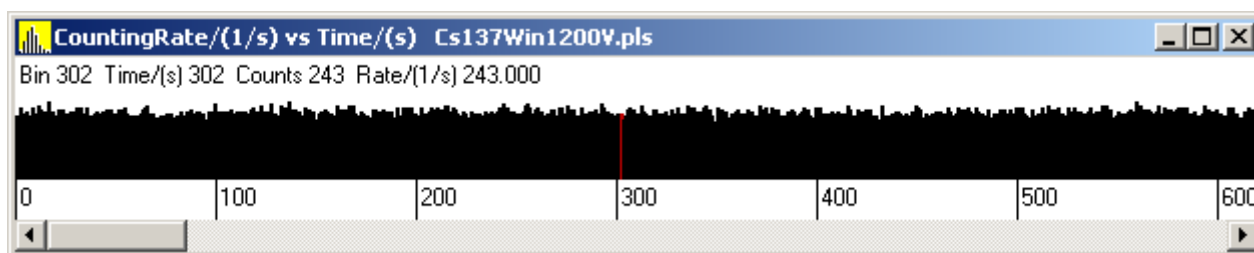
Hauptfenster



Dieses Fenster zeigt vereinfachte Impulse (nur Breite und Höhe) auf der Zeitskala. Die wichtigsten Elemente des Fensters sind: den Titel des Fensters, der auch den geöffneten Dateinamen enthält (wie alle anderen Histogrammfenster), das Menü der Anwendung, die Zeitskala, die mit den Tasten \uparrow und \downarrow auf der Tastatur geändert werden kann (wenn das Fenster aktiv ist), und die Informationsleiste, die eine Gesamtzahl der aufgezeichneten Pulse, eine Anzahl gefilterter Pulse (die durch die *Auswahl der Analysierten Daten* im Fenster *Datenerfassung und -auswertung* beeinflusst wird) und die Gesamtdatenerfassungszeit anzeigt.

Wenn Sie dieses Fenster schließen, wird die Anwendung beendet.

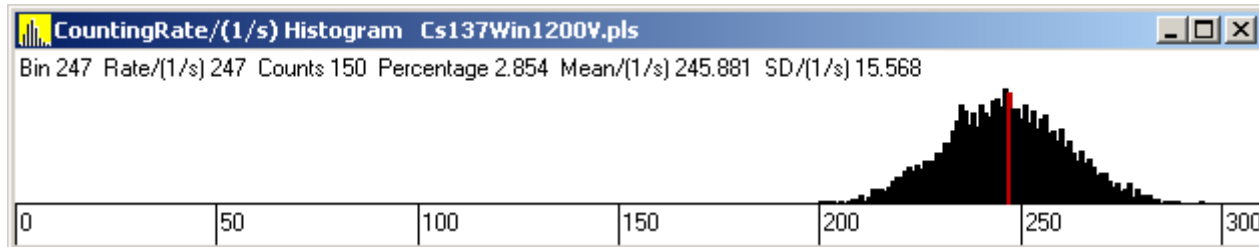
Zählrate vs. Zeit (Counting Rate vs Time)



In diesem Fenster wird die Zählrate als Funktion der Zeit angezeigt. Grafisch sieht es wie ein Histogramm aus, ist es aber nicht. Im Histogramm auf der horizontalen Achse (Abszisse) befinden sich Sortierfächer

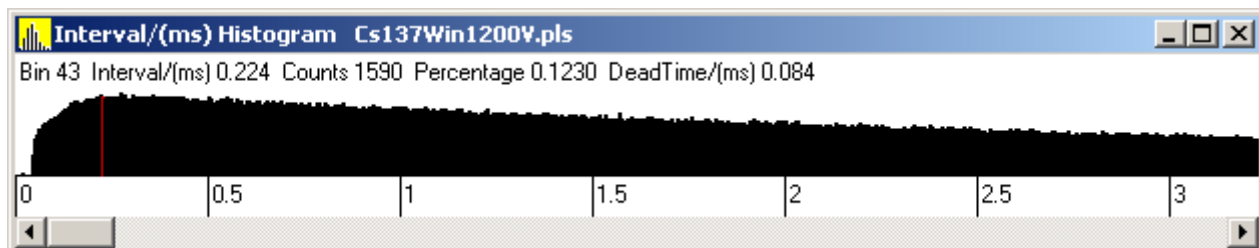
{Bins} mit Werten der Messgröße und auf der vertikalen Achse (Ordinate) Häufigkeit (Auftreten) von Ereignissen (Anzahl der Zählungen) in jedem Sortierfach. Auf dieser Anzeige stellt die Abszisse die zeitliche Abfolge der Sortierfächer (Schritte) und die Ordinate die Frequenz der Impulse (Zählfrequenz) dar. Die *Zählrate über der Zeit* ist sehr wichtig bei der Analyse des Zerfalls radioaktiver Stoffe. In diesem Fall sollte der Parameter *Zeitschritt {Time step}* kleiner als die Halbwertszeit eines radioaktiven Isotops eingestellt werden, aber groß genug, um möglichst keine Sortierfächer mit Nullzählungen zu verwenden. Unterhalb der Titelleiste werden Informationen über den ausgewählten Lagerplatz (rot markiert) angezeigt.

Zählratenhistogramm (Counting Rate Histogram)



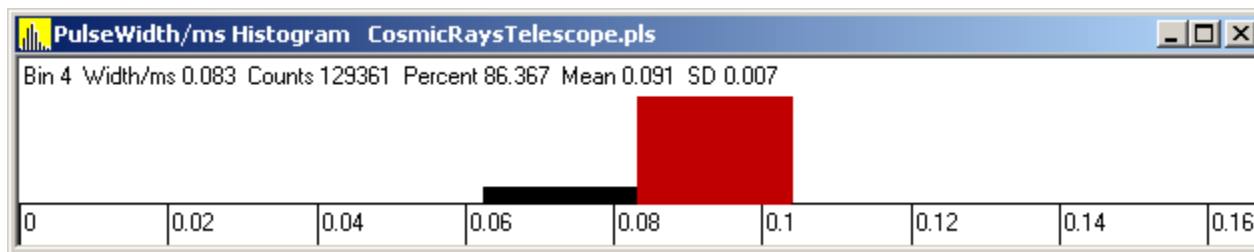
Dieses Histogramm zeigt die Verteilung der Daten, die im Fenster *Zählrate vs. Zeit* angezeigt werden. Es ist wichtig, die richtigen Parameter für die Größe des Sortierfachs und den *Zeitschritt {Time step}* in *Zählrate vs. Zeit* einzustellen, um ein Histogramm zu erstellen, das die Daten am besten repräsentiert. PRA berechnet die minimale Größe des Sortierfachs in diesem Histogramm und die Größe des Sortierfachs kann die einzige Vielzahl dieses Wertes sein. Die angezeigten Informationen beziehen sich auf das ausgewählte Sortierfach (rote Farbe) und den Mittelwert und die Standardabweichung der Zählratenverteilung.

Intervallhistogramm (Interval Histogram)



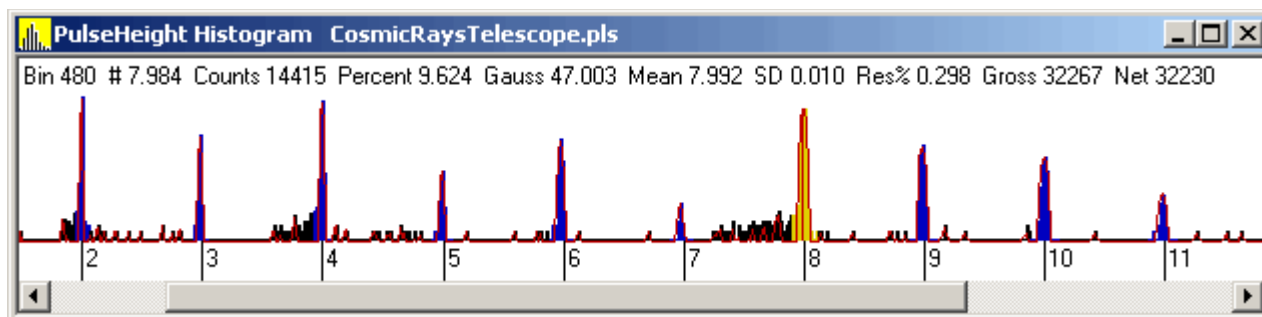
In diesem Fenster wird ein Histogramm des Zeitintervalls der Impulse angezeigt. Wenn der Parameter *S-fach {S-fold}* auf eins gesetzt ist, stellt er die Verteilung eines Intervalls zwischen aufeinanderfolgenden Impulsen dar. In diesem Fall, wenn keine Totzeit vorhanden ist (was zumindest aufgrund einer endlichen Pulsbreite nicht der Fall ist) und die durchschnittliche Zählfrequenz konstant ist, sollte das Histogramm eine exponentielle Zerfallsform haben. Der größte Wert sollte im ersten Sortierfach liegen. Für reale Daten beobachten wir in der Regel weniger Impulse in wenigen ersten Sortierfächern {Bins} als erwartet. PRA verwendet die Intervallverteilung, um die Totzeit des Datenerfassungssystems zu berechnen. Die angezeigten Informationen beziehen sich auf das ausgewählte Sortierfach, der durch die rote Farbe gekennzeichnet ist. Auch wenn *S-fach* gleich eins ist, wird der ungefähre Wert der Totzeit angezeigt.

Pulsbreiten-Histogramm (Pulse Width Histogram)



Dieses Fenster zeigt ein Histogramm der Pulsbreite. Die Pulsbreite wird in PRA während der Datenerfassung als der Zeitraum von der ersten Probe, wenn die Spannung den Schwellwert überschreitet, bis zur ersten Probe, wenn die Spannung unter den Schwellwert fällt, erkannt. Bei einer solchen Definition hängt die Impulsbreite von allen Parametern für die Impulsauslösung ab. Auch wenn es nicht viel über die tatsächliche Pulsbreite aussagt (vor allem, wenn der Puls durch einen Tiefpassfilter am Eingang der Soundchnittstelle durchgelassen wird), kann es trotzdem nützlich sein. Wenn die Option Formtoleranzmethode aktiviert ist, wird eine Pulsbreite auch durch den Schwellenwert der Form beeinflusst (siehe Checkbox Formtoleranzmethode) und führt in der Regel zu einer sehr kurzen Pulsbreite, die keine erwartete physikalische Bedeutung der Pulsbreite hat. In einem solchen Fall ist die Pulsbreite ein guter Indikator für die Zeitspanne, in der linke und rechte Kanalimpulse als zufällig betrachtet werden. Die angezeigten Informationen beziehen sich auf das ausgewählte Sortierfach, der durch die rote Farbe gekennzeichnet ist.

Pulshöhen-Histogramm (Pulse Height Histogram)



In diesem Fenster wird das Histogramm der Pulshöhe angezeigt. Bei vielen Detektoren ist die Pulshöhe proportional zur Energie, die von einem Elementarteilchen wie Elektron, Proton, Alpha usw. im Detektor¹ abgelagert wird. Aus diesem Grund ist es sehr nützlich, Spektren von radioaktiven Quellen zu erzeugen. Die Pulshöhe wird von PRA bei der Datenerfassung erkannt. Die Triggerungsmethode und die Triggerparameter können im Fenster [Einstellungen \(Settings\)](#) eingestellt werden. Die Pulshöhe wird in willkürlichen Einheiten {arbitrary units, arb.u.} gemessen (100 willk.E. entspricht dem Maximalwert, den ein Soundadapter abtasten kann) und muss vor dem Einsatz als Mehrkanalanalysator kalibriert werden. Die angezeigten Informationen beziehen sich auf das ausgewählte Sortierfach, der durch die rote Farbe gekennzeichnet ist.

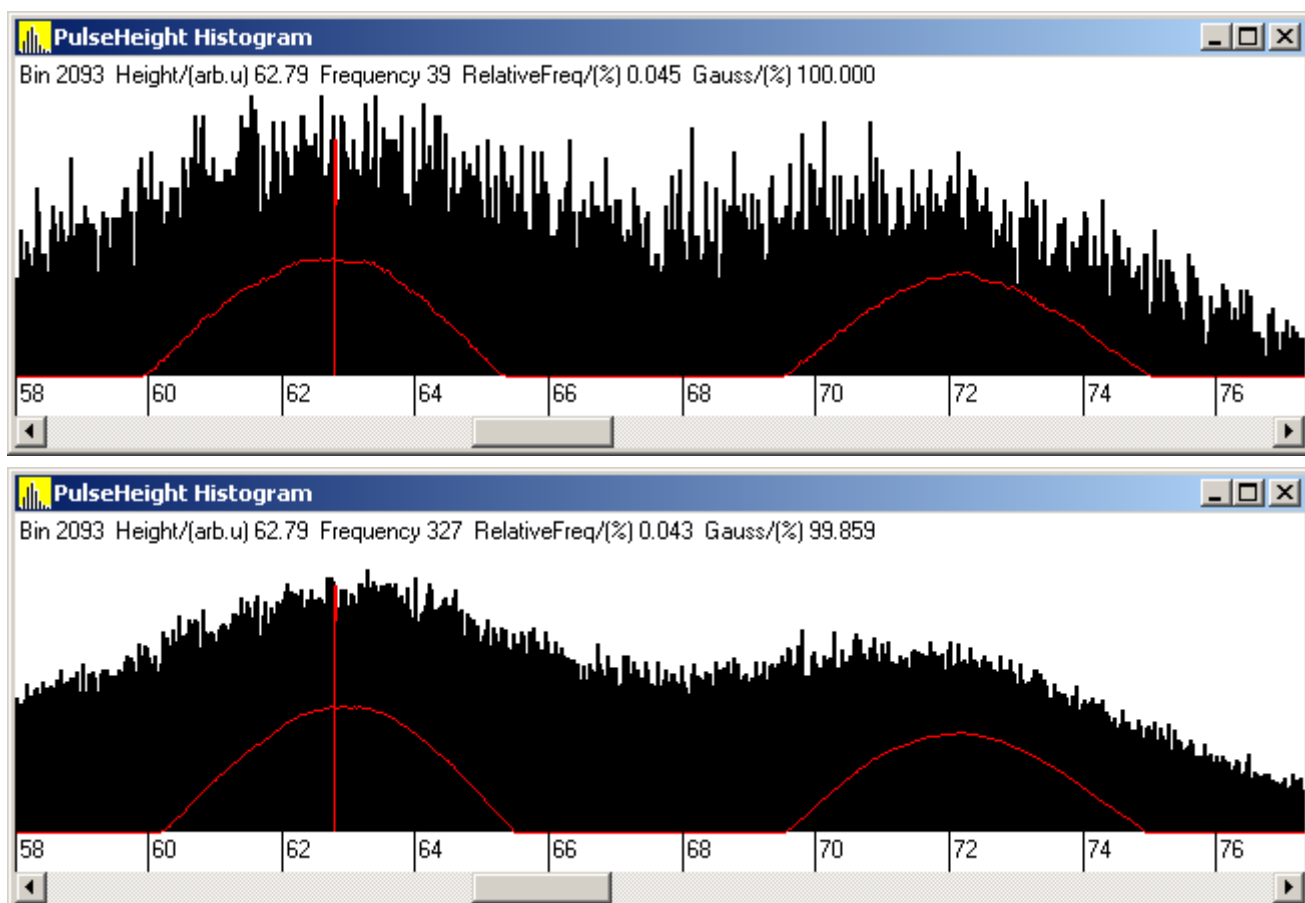
Darüber hinaus kann der Anwender bis zu 32 „Regionen von Interesse“ (ROI) {Regions Of Interest} in jedem Kanal definieren. Um dies zu tun, setzen Sie das aktuelle Sortierfach, in dem die ROI beginnen soll, und drücken Sie dann die Taste **B** und bewegen Sie den Cursor an eine Stelle, an der die ROI enden soll, und drücken Sie dann die Taste **E**. Alternativ können Sie die ROI mit der Maus auswählen. Drücken Sie die **Strg**-Taste und halten Sie dann die linke Maustaste an der Stelle gedrückt, an der die ROI beginnen soll, ziehen Sie den Cursor an die Stelle, an der die ROI enden soll, und lassen Sie die Maustaste los. Überschneidet sich eine neue ROI mit bestehenden ROI(s), wird die letzte ROI automatisch gelöscht. Sie können ROI auch löschen,

¹ Die Höhe des Pulses vom Detektor hängt von der Energie des detektierten Partikels ab, ist aber nicht von der Energie des detektierten Partikels abhängig. Beispielsweise können 662 keV-Photonen aus ¹³⁷Cs Quelle eine breite Verteilung von Pulsen erzeugen, einschließlich Gauß'scher Photospitze und großem Compton-Effektteil.

indem Sie das aktuelle Sortierfach innerhalb einer ROI auswählen und die **Entf**-Taste drücken. ROIs sind durch die blaue Farbe gekennzeichnet. Befindet sich das aktuelle Sortierfach innerhalb der ROI, wechselt die Farbe in ein dunkles Gelb. Zusätzlich wird unter der Titelleiste eine Information über die Statistik des Peaks angezeigt. Dies kann nützlich sein, um genauere Parameter für ausgewählte Peaks (oder Tiefen) zu erhalten. Die Parameter werden mit Hilfe einer statistischen Standardanalyse der Nettozählungen berechnet. Die Nettozählungen werden durch Subtraktion des Hintergrundes von der Spitze ermittelt. Der Hintergrund wird als eine gerade Linie geschätzt, die die erste und letzte Probe im ROI verbindet.

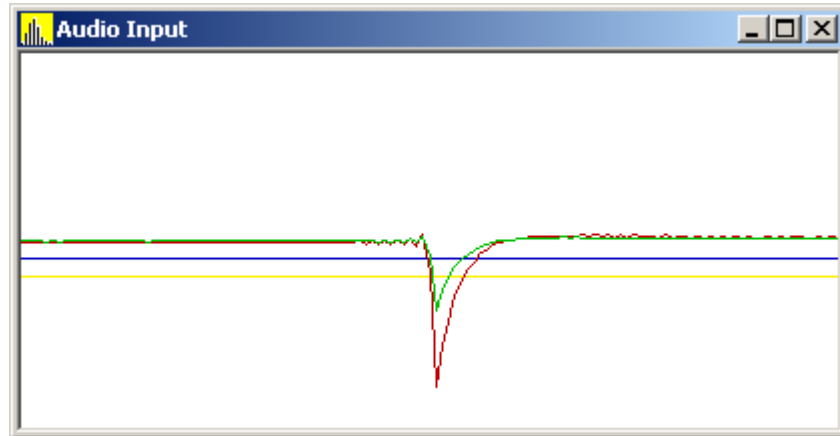
Sie können alle ROIs als Textdatei exportieren, indem Sie im Menü *Datei* den Befehl *Regionen von Interesse exportieren* verwenden.

Wenn das Kontrollkästchen *Gaußsche Korrelation anzeigen* im Dialog *Datenerfassung und -auswertung* aktiviert ist, dann wird auch die „Gaußsche Korrelation“ (eigentlich handelt es sich um eine Korrelation zwischen der normalisierten diskreten Gaußschen Funktion im Bereich $(-2\sigma, 2\sigma)$ und dem Histogramm der Pulshöhe) berechnet und im Histogrammfenster der Pulshöhe angezeigt. Die meisten Kerndetektoren weisen eine einfache Abhängigkeit von der Standardabweichung (der Ausbreitung) des Peaks und dessen Mittelwert auf. Die Standardabweichung ist proportional zur Quadratwurzel des Mittelwerts. Die folgenden Abbildungen zeigen die Histogramme der Pulshöhe für die kleine und große Anzahl von Zählimpulsen. Wenn sich der aktuelle Bin an einer Position befindet, an der der Gaußsche Korrelationswert größer als Null ist, können Sie den ROI schnell auswählen, indem Sie die **D**-, **F**-, **G**- oder **H**-Taste drücken (jeder von ihnen wählt eine andere Breite des ROI um den Peak herum).



In beiden Fällen ist die Gaußsche Korrelationskurve (rote Farbe) ziemlich glatt, auch wenn das erste Histogramm mit einer um ein Vielfaches geringeren Anzahl von Zählungen als das zweite aufgebaut ist. Sie können die Positionen der lokalen Maxima dieser Kurven verwenden, um ziemlich genau die Mittelwerte der Histogrammspitzen ohne ROI zu schätzen (oder um herauszufinden, welcher Teil des Histogramms ausgewählt werden soll).

Audio-Eingang (Audio Input)



Dieses Fenster zeigt ein Signal an den Eingängen des Audio-Interfaces. Rote und grüne Linien zeigen jeweils den linken und rechten Kanal. Gelbe und blaue horizontale Linien entsprechen den Auslöseschwellen. Die volle Höhe des Displays entspricht dem vollen ADC-Bereich Ihres Sound-Interfaces. Das Bild zeigt das gleiche Signal des BGO-Szintillationsdetektors, das sowohl für den linken als auch für den rechten Kanal verwendet wird, wobei die Boost-Verstärkung für den linken und rechten Kanal auf 2 bzw. 1 eingestellt wurde. Mit der Taste "T" kann der Benutzer zwischen den normalen Auto-Trigger-Modi (Standard beim Start von PRA) umschalten, die wie beim Standardoszilloskop funktionieren.

Datenerfassung und -analyse (Data Acquisition and Analysis)

Data Acquisition and Analysis

Pulse recognition

Height threshold: Tolerance threshold: Correction: Boost gain:

Left channel: ☐ Right channel: ☐ ☐ Use shape tolerance

Data acquisition limits

Acquisition time /s: Number of pulses:

Analysed data selection

Beginning time /s: Channel selection: Duration time /s: ☐ Use advanced filter

Counting rate vs Time

Bin size /s: ☐ Show in logarithmic scale

Counting rate histogram

Bin size / (1/s): ☐ Show in logarithmic scale

Interval histogram

Bin size /ms: S-fold: ☐ Show in logarithmic scale

Pulse width histogram

Bin size /ms: ☐ Show in logarithmic scale

Pulse height histogram

Bin size /arb.u.: ☐ Use calibration ☐ Show Gaussian correlation ☐ Show in logarithmic scale

Comments

Wichtig: Bedienelemente in dieser Dialogbox, deren Namen im statischen Rahmen stehen, sind nur bei der Datenerfassung von Bedeutung. Eine Änderung der Werte nach dem Sammeln der Daten hat keinen Einfluss auf die analysierten Daten. Ihre Werte sollten vor Beginn der Datenerfassung eingestellt werden. Zu Testzwecken können sie jedoch während der Datenerfassung geändert werden, ohne die Aktion zu unterbrechen. In einem solchen Fall sind die ermittelten Daten nicht konsistent.

Das Fenster **Datenerfassung und -auswertung (Data Acquisition and Analysis)** ist in 9 Gruppen unterteilt:

1. **Impulserkennung (Pulse recognition)**- Sie können zwischen zwei verschiedenen Impulserkennungsmethoden wählen, die auf einer Formanalyse oder einem Absolutwert basieren. Wenn die Methode *Formtoleranz verwenden* {use shape tolerance} ausgewählt ist, sind alle acht Parameter dieser Gruppe von Bedeutung. In diesem Fall berechnet die Anwendung die Pulshöhe als Wert der Kreuzkorrelationsfunktion (die Summe der Produkte) aus abgetasteten Werten und Werten, die durch die Pulsform definiert sind. Überschreitet er den *Höhenschwellenwert* {Height threshold}, so werden die aktuelle Impulsform und die definierte Impulsform durch die Summe der Quadrate der Differenzen zwischen den beiden Formen verglichen. Ist die Summe der Differenzen kleiner als der *Toleranzschwellenwert* {Tolerance threshold}, wird ein Impuls gezählt. Der Wert der Formtoleranz sollte zwischen 0 und 100 liegen. Der Wert 0 entspricht der Form des Stromimpulses, der mit dem vordefinierten identisch ist. Der Wert von 100 entspricht der sehr schlechten Korrelation zwischen dem aktuellen Impuls und der vorgegebenen Form. Die richtige Einstellung des Formtoleranzwertes hängt von der definierten Impulsform ab, aber der Wert 10 als Startpunkt ist eine gute Wahl. Um eine sehr gute Pulshöhenauflösung zu erhalten, sollte der Toleranzwert sehr klein sein, z.B. 0,2. Leider

filtert dieser kleine Toleranzwert einen Großteil der Impulse heraus. Die Version 9 von PRA versucht dieses Problem zu lösen, indem sie Korrekturparameter einführt, die die Pulshöhe entsprechend der Genauigkeit der Pulsform korrigieren. Mit diesen Parametern kann man mit einem Schwellwert von 10 fast die gleiche gute Auflösung erreichen wie mit dem Schwellwert 0,1 ohne Korrektur. Sie erhöht die Anzahl der Zählungen, insbesondere bei niedrigen Impulshöhen (niedrigere Energie), bei denen die Impulse aufgrund des geringen Signal-Rausch-Verhältnisses häufig verworfen werden. Ich habe festgestellt, dass Korrekturparameter im Bereich von 50 bis 100 die besten Ergebnisse liefern, aber es hängt natürlich von der Pulsform ab und sollte in jedem Fall optimiert werden. Mit der Version 10 von PRA können Sie die Daten mit einem hohen Wert der Toleranzschwelle erfassen, bei der die meisten Impulse akzeptiert werden, und später mit dem "Advanced Pulse Filter" den gewünschten Bereich auswählen. Wenn Sie die Pulshöhenkorrektur nicht mögen, setzen Sie sie auf 0.

Wenn das Kontrollkästchen „*Formtoleranz verwenden {Use shape tolerance method}*“ nicht aktiviert ist, werden nur die Parameter der Schwellenwerte für die Impulshöhe berücksichtigt, um den Impuls auszulösen. In diesem Fall wird der Wert der Grundlinie über viele Samples berechnet und eine Differenz zwischen der Spitze des Pulses und der Grundlinie wird zu einer Pulshöhe.

Das Vorzeichen der Schwelle entscheidet über die Polarität der getriggerten Impulse: Plus für positiv und Minus für negativ. Nachfolgend ist beispielhaft eine typische Impulsform aus dem Gas-Proportionalzähler dargestellt. Die Form ist größtenteils abhängig vom Vorverstärker. Um eine schnelle Pulsform zu erzeugen, können Sie den Befehl *Aktion → Impulsformerfassung starten {Action → Start Pulse Shape Acquisition}* verwenden.

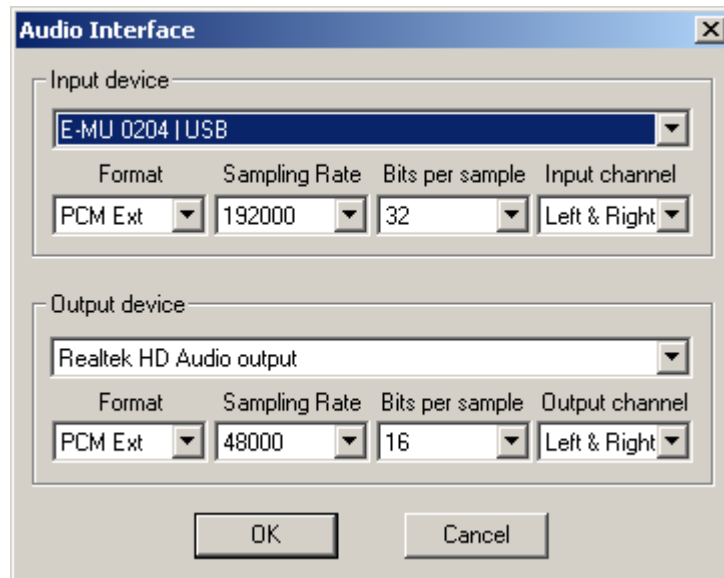
Neu in Version 11 sind die Nachverstärkung *{Boost Gain}* Parameter. Ihre Werte können im Bereich von 1 bis 100 eingestellt werden. Es handelt sich dabei um eine zusätzliche Einstellung der Verstärkung der Tonschnittstelle, die die im Schaltschrank eingestellte Verstärkung nicht verändert. Diese Funktion kann nützlich sein, wenn die beobachteten Impulse kleiner als 10 willk.E. {arb.u} sind. und der Gain-Regler ist bereits auf Maximum eingestellt. Auch die Feineinstellung der Verstärkung im linken und rechten Kanal kann praktisch sein.

2. **Datenerfassungsgrenzen (Data acquisition limits)**- Sie können einen Maximalwert für die Erfassungszeit (nicht größer als 3 155 692 600 s, also 100 Jahre) oder eine Anzahl von Impulsen (maximal 36 000 000 in 32-Bit Windows oder 100 000 000 in 64-Bit-Version) einstellen. Wenn Ihr Datenerfassungsprozess eine der vorgegebenen Grenzen überschreitet, wird er sofort gestoppt. Wenn Sie die Grenze der Impulszahl festlegen, sollten Sie die Anzahl der Impulse, die Sie wirklich aufnehmen müssen, und die Anzahl der Audiokanäle, die Sie verwenden werden, wählen, die Einstellungen speichern und PRA beenden. Wenn Sie das Programm neu starten, wird nur der Speicher zugewiesen, der für die Verarbeitung dieser Impulszahl erforderlich ist. So beträgt beispielsweise der von PRA für 1 000 000 Impulse verwendete Gesamtspeicher und der einzelne Audiokanal 83 MB und für 100 000 000 Impulse und zwei Audiokanäle 4,54 GB. 100 000 000 Impulse reichen aus, um die Aufzeichnung mit einer Rate von 1000 Impulsen pro Sekunde für fast 28 Stunden fortzusetzen.
3. **Auswahl der analysierten Daten (Analysed data selection)**- Sie können den Beginn und die Dauer der Daten, die Sie für die Analyse auswählen möchten, festlegen. Es ist in der Regel empfehlenswert, mit der Datenerfassung früher zu beginnen, als ein interessantes Ereignis eintritt (z.B. eine plötzliche Erhöhung der Zählfrequenz) und nach dem Stoppen der Datenerfassung einen nur interessanten Ausschnitt der erfassten Daten auszuwählen. Außerdem können Sie den Audiokanal auswählen, aus dem Histogramme erstellt und angezeigt werden. Wenn Sie z.B. nur die Impulse des linken Kanals sehen möchten, die gleichzeitig mit einem anderen Impuls des rechten Kanals auftreten (Zeitkoinzidenz), wählen Sie *Links, koinzident {Left if Right}*. Die erweiterte Ereignisfilterung einschließlich Pulshöhe, Pulsverzerrung und Pulsbreite ist möglich, indem Sie das Kontrollkästchen "Erweiterten Filter verwenden {Use advanced filter}" aktivieren und im Dialogfenster "erweiterter Filter {Advanced Pulse Filter}" die Einträge bearbeiten.
4. **Zählrate vs. Zeit (Counting rate vs Time)**- es gibt nur einen Parameter, den Sie ändern können: den Zeitraum, den Sie zur Berechnung der Zählrate verwendet haben. Es gibt auch ein Kontrollkästchen, mit dem Sie Statistiken in logarithmischer Skala anzeigen können.

5. **Zählratenhistogramm (Counting rate histogram)**- wie bei allen anderen folgenden Histogrammen gibt es den Parameter *Sortierfachgröße {Bin size}* und das Kontrollkästchen *in logarithmischer Skala anzeigen*, das Sie bearbeiten können.
Dieses Histogramm verwendet die *Zählrate vs. Zeit*-Daten und wird durch den Parameter *Zeitschritt* beeinflusst. Für radioaktive Strahlenquellen, die ihre Intensität nicht verändern, kann die Zählfrequenz als Gauß- oder Poissonverteilung bezeichnet werden, je nach Größe und Intensität der Strahlenquelle.
6. **Intervall-Histogramm** - Sie können zusätzlich den Parameter *S-fach {S-fold}* ändern. Wenn der Parameter *S-fach* gleich eins ist, dann wird der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen gezählt, wenn er gleich zwei ist, dann wird der Abstand zwischen jedem ersten und dritten Impuls gezählt usw. Möglicherweise wird nach dem Öffnen der ".pls"- oder ".wav"-Datei und nach dem Starten der Datenerfassung mit einer neuen Abtastrate automatisch die kleinste Sortierfachgröße ausgewählt.
7. **Pulsbreiten-Histogramm (Pulse width histogram)** - Sie können zwei Einstellungen wie bei anderen Histogrammen ändern. Die Sortierfachgröße wird automatisch auf die gleiche Weise eingestellt wie beim *Intervall-Histogramm*. Wenn Sie die Puls-Shapeanalyse verwenden, ist die Pulsbreite sehr kurz (in der Regel eine oder zwei Abtastzeiten) und entspricht nicht der tatsächlichen Pulsbreite.
8. **Pulshöhen-Histogramm (Pulse height histogram)** - die Einstellungen sind identisch mit denen des *Pulsbreiten-Histogramms*, jedoch wird die Pulshöhe anstatt der Pulsbreite analysiert. Zusätzlich gibt es zwei Kontrollkästchen: *Energiekalibrierung verwenden* und *Gaußsche Korrelation anzeigen*. Wenn das Kontrollkästchen *Energiekalibrierung verwenden* aktiviert ist, verwendet das *Pulshöhen-Histogramm* Parameter aus dem Dialogfeld *Energiekalibrierung*, in dem Sie Parameter für den linken und rechten Audiokanal festlegen können. Dieses Kontrollkästchen wirkt sich auch auf Daten aus, die über das Menü *Pulshöhen-Histogramm exportieren* exportiert werden. Wenn die Option *Gaußsche Korrelation anzeigen* aktiviert ist, wird die Ergebnis-Korrelationskurve der vorhergesagten Gaußschen Verteilung und des Pulshöhen-Histogramms auch im Fenster *PulseHeight Histogram* angezeigt.
9. **Kommentare** - enthalten einen Text, der mit den Daten gespeichert wird. PRA schließt automatisch den Beginn und das Ende aller Datenerfassungssitzungen mit ein, z.B.: <2017/07/23 16:45:46 0, 2017/07/23 16:45:51 5.5><2017/07/23 16:46:20 5.5, 2017/07/23 16:46:28 13.5>. Dies deutet darauf hin, dass die Datenerfassung in zwei Sitzungen durchgeführt wurde, eine begann am 23. Juli 2017 um 16:45:46 Uhr und endete am selben Tag um 16:45:51 Uhr und die zweite Datenerfassung begann am selben Tag, aber um 16:46:20 Uhr und endete um 16:46:28 Uhr. Die erste Sitzung war 5,5 s lang und die zweite Sitzung verlängerte die gesamte Erfassungszeit auf 13,5 s. Natürlich können Sie Kommentare nach Ihren Wünschen bearbeiten, bevor Sie die Daten speichern.

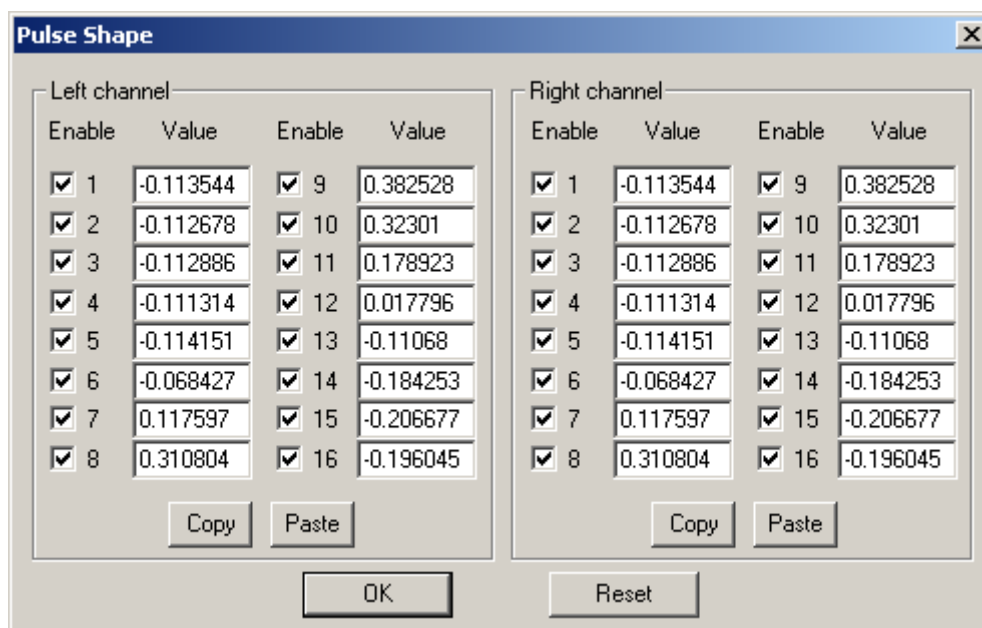
Mit der Schaltfläche *Anwenden {Apply}* werden die Einstellungen übernommen und mit der Schaltfläche *Einstellungen speichern {Save}* zusätzlich als Standard in der Datei "PRA.ini" gespeichert. Mit der Schaltfläche *Speichern unter {save as}* können Sie die PRA-Einstellungen unter einem anderen Namen speichern. Diese Datei kann später über die Schaltfläche *Einstellungen Laden* geladen werden. Ab Version 4.2 enthält die Einstellungsdatei auch ROIs, ab Version 5.0 auch Audioeinstellungen und ab Version 6.0 Kalibrierdatenpunkte und Kommentare. Dies kann manchmal zu einem Problem führen, wenn Ihr Audiogerät geändert wurde. Löschen Sie in diesem Fall einfach eine "PRA.ini"-Datei und starten Sie das Programm erneut.

Einstellungen der Audio-Schnittstelle (Audio Interface Settings)



In dieser Dialogbox können Sie das Audiogerät und seine Parameter für die Datenerfassung und -wiedergabe auswählen. Höhere Abtastraten am Eingang werden bevorzugt, um eine bessere Auflösung der Höhenimpulse und höhere Zählfrequenzen zu erzielen. Wenn Ihr Audiogerät nicht wirklich höhere Samplingraten unterstützt, sollten Sie diese Option² nicht verwenden. Es ist interessant, dass einige Einstellungen nicht wie von der Hardware-Spezifikation erwartet unterstützt werden. Als ich zum Beispiel mein "E-MU 0204"-Interface ausprobierte, unterstützte es gut alle Optionen, wenn Bits pro Sample auf 16 gesetzt waren, aber nur der Stereomodus funktionierte für 24 Bit und 32 Bit. Für die Ausgabe empfehle ich 48000 Sampling-Rate und vorzugsweise auf den verschiedenen Ausgabegeräten zu verwenden, um Klangverzerrungen zu vermeiden, wenn Ihre Hardware nicht in der Lage ist, flüssig zu spielen. Populäre Sound-Schnittstellen, die in das Motherboard eingebaut sind, leisten gute Arbeit, sowohl bei der Ein- als auch bei der Ausgabe, die auf 48000 Samples pro Sekunde eingestellt sind.

Pulsform-Editor (Pulse Shape Editor)

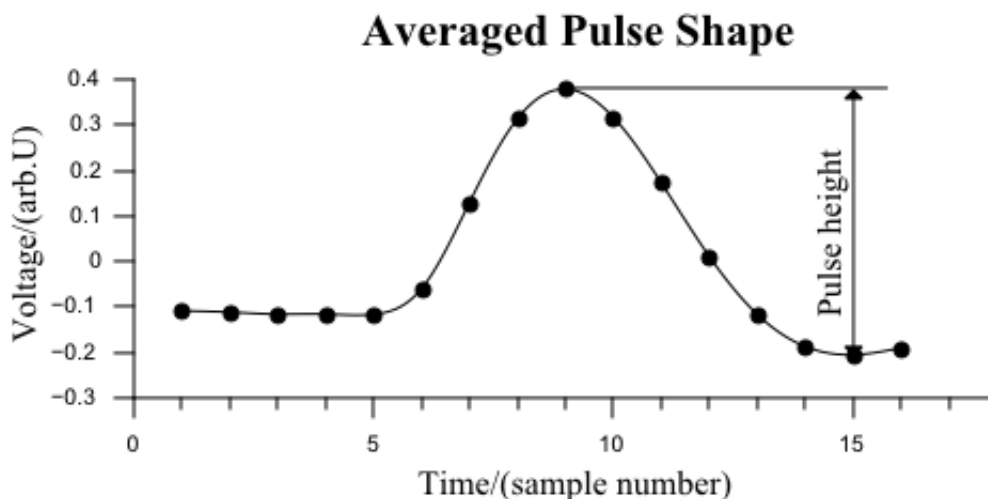


Im Fenster Pulsform bearbeiten können Sie die Pulsform des Pulses bearbeiten, mit der Sie die Wellenform

² Windows-Treiber unterstützen manchmal künstlich eine höhere Abtastrate, indem sie zusätzliche Samples interpolieren.

analysieren können. Für jeden Kanal gibt es 16 aufeinanderfolgende Abtastwerte, von denen mindestens zwei verschiedene Werte aktiviert werden sollten. Um alle Daten eines Kanals zu kopieren oder einzufügen, verwenden Sie die Schaltflächen *Kopieren* oder *Einfügen*. Die eingefügten Daten sind auf die Matrix 1×16 beschränkt, wenn die Zwischenablage mehr Spalten oder Zeilen enthält. Die Werte werden automatisch³ normiert, wenn Sie auf die Schaltfläche OK klicken. Die aktuelle Pulsform wird mit dem Befehl *Speichern* (oder *Speichern unter*) aus dem Fenster *Datenerfassung und -auswertung* in der Datei "PRA.ini" gespeichert und beim nächsten Öffnen der Anwendung automatisch geladen. Ab Version 5.0 von PRA enthält auch die Datendatei ".pls" die Pulsform und wird beim Öffnen der zuvor gespeicherten Datei zur aktuellen Pulsform. Der Reset-Knopf verwirft alle Änderungen und setzt die zuletzt akzeptierten Werte.

Die im obigen Bild gezeigte Pulsform wurde von meinem NaI-Detektor aufgenommen, wobei der linke Kanal über einen Tiefpassfilter und der rechte Kanal direkt mit dem Audioeingang verbunden ist. Vergleicht man die ersten fünf Samples in jeder Kanalform, so fällt auf, dass kleine Schwingungen⁴ im rechten Kanal im linken Kanal fast vollständig unterdrückt werden.



Die im obigen Bild dargestellte Pulsform wurde durch Mittelung einiger Pulse aus der mit der [InTune](#)-Anwendung aufgezeichneten Wellenform konstruiert. Um einen ähnlichen Effekt zu erzielen, kann man das Menü *Aktion* → *Impulsformerfassung starten* {*Start Pulse Shape Acquisition*} verwenden. Die Form kann so eingestellt werden, dass sie nach der führenden oder fallenden Flanke des Pulses sucht. Der Zweck der Pulsformanalyse ist es, die Auflösung des Spektrums zu erhöhen, indem schlecht geformte Pulse (wie in einem Fall mit teilweise überlappenden Pulsen) aus der Statistik ausgeblendet werden. Außerdem kann das Rauschen (in der Regel durch die Maskierung von Impulsen mit geringer Amplitude) deutlich reduziert werden.

3 Der Mittelwert der Datenpunkte ist 0 und die Summe ihrer Quadrate ist eine Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Wert der Datenpunkte.

4 Diese Schwingungen werden durch ein digitales Anti-Aliasing-Filter im Audio-Interface eingeleitet, um Frequenzen oberhalb der halben Abtastrate (Nyquist-Frequenz) zu entfernen.

Kalibrierung (Calibration)

Left channel			Right channel		
Mean/arb.u.	SD/arb.u.	Quantity	Mean/arb.u.	SD/arb.u.	Quantity
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
36.718	1.772	661.657	36.718	1.772	661.657

Calibration mode: Fit slope

Quantity/Units: Energy/keV

In dieser Dialogbox können Sie für jeden Kanal bis zu acht Kalibrierdatenpunkte festlegen. *Löschen*{Clear}-Tasten setzen alle Werte im entsprechenden Kanal auf Null. Um alle Daten eines Kanals zu kopieren oder einzufügen, verwenden Sie die Schaltflächen *Kopieren* {Copy} oder *Einfügen* {Paste}. Beim Kopieren sind die Daten in der Zwischenablage in Textform, die aus drei durch Tabulatoren getrennten Spalten besteht. Die Funktion Einfügen arbeitet mit einer Zwischenablage, die Text enthält, dessen Spalte durch Tabulatoren, Leerzeichen und Semikolons getrennt ist. Die Anzahl der Spalten und Zeilen, die aus der Zwischenablage eingefügt werden, ist auf 3×8 Matrix beschränkt. Außerdem können Sie den Kalibriermodus aus den Optionen Proportional {Fit slope, Steilheit anpassen}, Linear {Fit linear} und Interpolieren {Interpolate} auswählen. Die populäre und für die meisten Detektoren empfohlene Methode ist die lineare Anpassung. Ähnlich wie bei der linearen Anpassung ist die Steilheit, bei der die Kalibrierlinie gezwungen wird, den (0,0)-Punkt zu durchlaufen. Dies kann z.B. nützlich sein, wenn Sie Ihr System mit einer Quelle kalibrieren, die nur Spitzenwerte bei höherer Energie hat und keine Spitzenwerte bei niedrigerer Energie zur Verfügung stehen. PRA verwendet auch die Standardabweichung von Kalibrierpeaks (Spalte SD) für die Gewichtung von Kalibrierpunkten und für Gaußsche Korrelationsparameter. Die Option *Interpolieren* dient zur Kalibrierung von Detektorsystemen, bei denen die Abhängigkeit zwischen Energie und Pulshöhe nichtlinear ist. PRA verwendet einfache lineare Interpolation zwischen Kalibrierpunkten. Die Energie, die über den letzten Kalibrierpunkt hinausgeht, wird aus den beiden größten Daten extrapoliert. Wenn Sie nur einen Kalibrierpunkt haben, erhalten Sie bei allen drei Methoden das gleiche Ergebnis. Im Textfeld Menge/Einheiten können Sie einen anderen Namen (maximal 31 Zeichen) für die Menge und die Einheiten vergeben, die Sie verwenden. PRA wird hauptsächlich für die Erfassung von Energiespektren verwendet, aber Sie haben die Freiheit, andere Größen und Einheiten zuzuordnen. Wenn Sie z.B. automatisch die Größe von kleinen Partikeln messen, indem Sie ein elektronisches Gerät verwenden, das ihren Durchmesser in Pulse umwandelt, deren Höhe von der Partikelgröße abhängt, können Sie Quantity/Units Text auf Durchmesser/μm setzen. Wenn Sie auf die Schaltfläche Übernehmen klicken, werden alle Eingaben auf Konsistenz⁵ geprüft und die akzeptierten Werte in das Histogramm der Pulshöhe übertragen.

5 Alle drei Werte in jeder Zeile können gleichzeitig Nullen oder Nicht-Null sein und größere Impulshöhen müssen einer größeren Energie entsprechen. Mindestens eine Zeile für jeden Kanal muss Daten enthalten, die ungleich Null sind.

Erweiterter Impulsfilter (Advanced Pulse Filter)

Use Filter	Left channel		Right channel	
	Min	Max	Min	Max
<input checked="" type="checkbox"/> Height	0	100	0	200
<input checked="" type="checkbox"/> Distortion	0	4.8	0	100
<input checked="" type="checkbox"/> Width	0	2	0	65535

Apply

In dieser Dialogbox haben PRA-Anwender die Möglichkeit, zusätzliche Parameter der Pulse auszuwählen, mit denen alle Histogramme erstellt werden können. Dies ist ein Filter, der keine Informationen in der *.pls-Datei verändert. Insbesondere die Auswahl von Impulsbreitenbereichen und Impulsverzerrungen kann hilfreich sein, um geeignete Werte für die "Toleranzkorrektur" zu finden, um die Auflösung des Pulshöhen-Histogramms zu erhöhen. Dieses Filter, wenn es während der Datenerfassung verwendet wird, wirkt sich auch auf die 'gespielten' Pulse aus.

Mathematik in PRA

Mathematik in PRA.....	19
Impulserkennung (Pulse Recognition).....	19
Baseline Methode.....	19
Pulsform-Methode (Pulse shape method).....	20
Kalibrierung (Calibration).....	21
Proportional (Fit slope, Gefälle anpassen).....	21
Linear (Fit linear, linear angepasst).....	22
Interpolation.....	22
Totzeitberechnungen (Dead time calculations).....	22
„Region von Interesse“ Statistik.....	23
Gaußsche Korrelationsfilter.....	24
Toleranzkorrektur.....	25

In diesem Kapitel möchte ich⁶ mathematische Formeln zeigen, die hinter den Kulissen von PRA arbeiten. Einige von ihnen sind allgemein bekannt und einige sind von mir speziell für den Einsatz in PRA entworfen worden. Ich denke, dass dies für PRA-Anwender nützlich sein könnte, um besser zu verstehen, wie das Programm funktioniert, und für Programmierer, um ähnliche Lösungen in ihrer eigenen Software zu verwenden.

Impulserkennung (Pulse Recognition)

Baseline Methode

In PRA sind zwei Methoden implementiert, um Pulse zu erkennen und zu analysieren. Die erste Methode ist Standard. Zuerst suchen wir nach der Basislinie des Eingangssignals. In PRA wird die Baseline als Mittelwert aller Proben in einem Puffer (in der Regel einige hundert Proben) berechnet, die kleiner als Null sind (vorausgesetzt, dass die Impulse positiv sind).

$$base = \frac{\sum_{i=1}^{i=max} y_i \cdot \epsilon_i}{\sum_{i=1}^{i=max} \epsilon_i}$$

wobei:

max ist die Anzahl der Samples im Puffer,

y_i ist der Wert der i^{ten} Probe,

ϵ_i ist gleich 1, wenn $y_i < 0$ und andernfalls 0.

Dann prüft PRA, ob $y_i - base$ die Pulsschwelle überschreitet, wenn ja, entsprechend wird i als Pulsanfang markiert. Nun sucht PRA nach dem Maximalwert der $y_i - base$ bis dieser kleiner als die Pulsschwelle wird. Dann wird das entsprechende i zum Ende des Pulses und der Maximalwert von $y_i - base$ seine Höhe. Diese Methode der Impulserkennung ist einfach, schnell und funktioniert gut für die Impulszählung, wenn eine gute Impulshöhenauflösung nicht wichtig ist (Geiger-Müller-Zähler). Eine schlechte Pulshöhenauflösung ist das Ergebnis von Änderungen des Basiswertes und der Tatsache, dass nur eine Probe über die Pulshöhe entscheidet.

⁶ Es könnte Freude und Herausforderung für Studenten und andere mathematisch orientierte PRA-Anwender sein, einige dieser Formeln zu prüfen.

Pulsform-Methode (Pulse shape method)

Die zweite Methode der Pulsanalyse wurde entwickelt, um die bestmögliche Auflösung der Pulshöhe zu erreichen. Ich nenne es eine "Pulsform-Methode". Diese Methode beruht auf dem Vergleich einer speziell vorbereiteten "Standard Pulsform-Funktion" mit einem kleinen Teil aufeinanderfolgender Signalabtastungen. Der Vergleich ist eine einfache Punktmultiplikation von Standard-Pulsformvektor- und Signalabtastwerten. PRA verwendet bis zu 16 Punkte lange⁷ diskrete Standard-Impulsform-Funktion, die von Hand editiert oder automatisch vom Signaleingang bezogen werden kann. Durch die manuelle Bearbeitung der Pulsform kann der Anwender ähnliche Effekte der Pulserkennung erzielen wie bei der vorherigen (Baseline-Subtracting) Methode oder bei der kommerziellen MCAs Puls-Integrationsmethode. Am stärksten ist jedoch das Verfahren, bei dem die Darstellung der Pulsform automatisch aus dem Signal gewonnen wird. In diesem Fall sucht PRA nach lokalen Maxima in Eingangsstichproben und speichert sie zusammen mit 8 Stichproben vor dem Maximum und 7 Stichproben nach dem Maximum. Alle diese Samples werden gemittelt und dann "normalisiert", um eine brauchbare Standarddarstellung der Pulsform zu erhalten. Bei der PRA-Normalisierung handelt es sich um eine lineare Funktion, die auf die Pulsform angewendet wird, um zwei besondere Eigenschaften zu erreichen:

1. Die Summe aller 16 Impulsform-Zahlen muss gleich Null sein. Dies geschieht durch Subtraktion des Mittelwerts. Diese Eigenschaft der Pulsform-Funktion macht das Ergebnis des Punktprodukts unabhängig von einer konstanten Verschiebung der Grundlinie.
2. Die Länge des Impulsformvektors (Summe der Quadrate aller Impulsform-Werte) muss gleich der Differenz zwischen seiner maximalen und minimalen Komponente⁸ sein. Dies macht die Pulshöhe zu einem ähnlichen Wert wie die Pulshöhe, die mit der Basislinienmethode ermittelt wurde.

Auf eine formalere mathematische Art und Weise kann dies durch Formeln dargestellt werden:

$$\bar{s} = \frac{\sum_{k=0}^{k=15} s_k}{16}$$

$$S_k = \frac{(s_k - \bar{s}) \cdot h}{\sum_{k=0}^{k=15} (s_k - \bar{s})^2}$$

wobei:

s_k ist der k^{te} Wert der Impulsform vor der Normalisierung,

S_k ist der k^{th} Wert der Impulsform nach der Normalisierung,

h ist eine Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Wert der Impulsform (die Höhe der Impulsform selbst). Der Leser kann überprüfen, dass nach diesem Normalisierungsvorgang $h = \sum_{k=0}^{k=15} S_k^2$ bei der Normalisierung invariant wird (er ändert sich nach der nächsten Normalisierung nicht) und der Differenz zwischen der maximalen und minimalen Komponente des Standard-Pulsformvektors entspricht.

Jetzt können wir unsere Pulsform nutzen, um ein Punktprodukt aus unserer Standardpulsform und einem Vektor, der aus 16 aufeinanderfolgenden Proben besteht, zu finden:

$$h_i = \sum_{k=0}^{k=15} y_{i+k} \cdot S_k$$

⁷ Die Zahl 16 ist willkürlich gewählt, um eine gute Impulshöhenauflösung und eine relativ geringe Rechenlast zu erreichen.

⁸ Normalerweise werden Vektoren auf eins normiert.

wobei:

i ist ein laufender Index entlang von Samples im Eingangspuffer,

h_i ist ein Punktprodukt aus Standard-Pulsformvektor und 16 aufeinanderfolgenden Abtastwerten.

PRA verwendet h_i als neuen Wert der Probe und schaut, ob sie größer als die Pulsschwelle ist, um den Beginn eines Pulses zu markieren und dann Pulshöhe und Pulsbreite auf die gleiche Weise wie bei der Basislinienmethode (base=0) zu identifizieren.

Die mit der Pulsform-Methode berechnete Pulshöhe ist genauer als bei der Basislinien-Methode, aber trotzdem kann sie Pulse zählen, deren Form stark verzerrt ist. Um dieses Problem zu beheben, verwendet PRA Pulsform-Filter, um nur die Pulse zu zählen, deren Form der Standard-Impulsform ähnlich ist. Das Verfahren ist sehr einfach. Jedes Mal, wenn sich herausstellt, dass h_i die Pulsschwelle überschreitet, normalisiert PRA 16 Proben ab y_i auf die gleiche Weise wie die Standardpulsform. Dann werden diese 16 Proben von der Standardform subtrahiert, jede Differenz quadriert und addiert. Das Ergebnis ist ein gutes Maß für die Ähnlichkeit von Standard- und Strompulsform. Wenn es Null ist, sind die Formen identisch. Ist dieser Wert größer als die Toleranzschwelle der Impulsform, wird der Impuls verworfen.

$$t_i = \sum_{k=0}^{k=15} (Y_{i+k} - S_k)^2$$

wobei:

Y_{i+k} ist ein normierter Vektor mit 16 aufeinanderfolgenden Abtastwerten (ausgehend von der i^{ten} Probe),

t_i 'Toleranz' ist ein Maß für die Differenz zwischen den aktuellen Proben und den Standardformen.

Kalibrierung (Calibration)

Signalproben des Soundadapters, die von PRA analysiert werden, liegen in der Regel als 16-Bit-, 24-Bit- und 32-Bit-Integer-Zahlen vor. PRA wandelt sie alle in eine reelle Zahl aus dem Intervall (-100, +100) um. Diese Zahlen haben keine physikalischen Einheiten (sie sind proportional zur Eingangsspannung) und PRA verwendet für sie sogenannte Willkürliche Einheiten (willk.E.) {Arbitrary Units (Arb.u.)}. Die Pulshöhe wird auch in willkürlichen Einheiten ausgedrückt. Die Höhe des Pulses, der vom Detektor kommt, hängt in der Regel von der Energie ab, die von den Elementarteilchen im Inneren des Detektors abgelagert wird⁹. Diese Abhängigkeit ist nicht sehr streng und für bestimmte Energie, die im Detektor hinterlegt ist, gibt es die ganze Bandbreite der Ausgangsimpulshöhen, die einen Spitzenwert im Histogramm der Impulshöhe erzeugen. Die Form dieses Peaks kann durch die sogenannte Normal- oder Gauß-Verteilung beschrieben werden. Unter Kalibrierung versteht man die Abhängigkeit der Position dieses Peaks und der entsprechenden Energie, die im Detektor hinterlegt ist (was sehr oft eine volle kinetische Energie des detektierten Partikels ist). Zum Beispiel produziert die bekannte Quelle ^{137}Cs Gammas mit der Energie von 662 keV. Wenn dieses Gamma mit dem Detektor interagiert und seine gesamte Energie abgelagert wird, dann bilden die diesem Ereignis entsprechenden Impulse einen Gaußschen Peak auf dem Histogramm der Pulshöhe. Wenn der Mittelwert dieses Peaks 20 willk.E. dann weist unsere Kalibrierfunktion 662 keV bis 20 willk.E. zu und PRA zeigt Abszissenwerte auf dem Histogramm der Pulshöhe in keV statt in willkürlichen Einheiten an. PRA verwendet drei Methoden der Kalibrierung.

Proportional (Fit slope, Gefälle anpassen)

Dies ist die einfachste (und sehr gute) Methode, um den Detektor zu kalibrieren. Die meisten Detektoren weisen eine recht gute Proportionalität zwischen der im Detektor abgelagerten Energie und der Pulshöhe auf. In diesem Fall ist die Funktion $y=ax$ eine gute Wahl. PRA verwendet die Methode der gewichteten kleinsten Quadrate, um den Parameter a zu finden. In der Dialogbox *Kalibrierung* haben wir bis zu 8 Kalibrierungseinträge für jeden Kanal: (Mittelwert des Peaks in beliebigen Einheiten, Standardabweichung

⁹ Dies ist die häufigste Verwendung von PRA, aber Sie können einen anderen Wandler verwenden, der Impulse erzeugt, die von verschiedenen physikalischen Größen abhängig sind, nicht aber von der benötigten Energie.

SD in beliebigen Einheiten, $Menge$ in Mengeneinheiten).

Benennen wir es wie folgt (x_i, σ_i, y_i) .

Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate können wir folgendes finden

$$a = \frac{\sum_i \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2}}{\sum_i \frac{x_i^2}{\sigma_i^2}}$$

wobei i über alle (ungleich Null) Kalibrierdatenpunkte läuft.

Linear (Fit linear, linear angepasst)

In diesem Fall ist die Anpassungsfunktion linear: $y = a x + b$. Dies ist eine allgemeinere Form als die Anpassung der Steigung und sollte verwendet werden, wenn Sie einige Kalibrierpunkte mit niedriger Energie kennen.

Die Parameter a und b werden mit Hilfe von Formeln berechnet:

$$a = \frac{\sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{y_i}{\sigma_i^2} - \sum_i \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2}}{\left(\sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2}\right)^2 - \sum_i \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2}}$$
$$b = \frac{\sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{x_i y_i}{\sigma_i^2} - \sum_i \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{y_i}{\sigma_i^2}}{\left(\sum_i \frac{x_i}{\sigma_i^2}\right)^2 - \sum_i \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2}}$$

Interpolation

Diese Kalibrierungsmethode sollte verwendet werden, wenn Ihr Detektor nicht linear ist, z.B. wenn die Steilheit der Kalibrierfunktion von niedrigen Energien zu hohen Energien wechselt. In diesem Fall verwendet PRA eine einfache lineare Interpolation zwischen Kalibrierdatenpunkten, einschließlich des Anfangspunktes (0,0) und der Extrapolation des letzten Paares von Kalibrierdatenpunkten für höhere Energien. Lineare Interpolation für x , die zwischen zwei Kalibrierdatenpunkten liegt $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ kann ausgedrückt werden

$$\text{als : } y = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} x + \frac{x_{i+1} y_i - x_i y_{i+1}}{x_{i+1} - x_i}.$$

Totzeitberechnungen (Dead time calculations)

Totzeit ist eine unvermeidbare Eigenschaft eines jeden Detektors und Datenerfassungssystems. Die Totzeit ist eine Mindestzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Impulsen, die vom Datenerfassungssystem erkannt wird. Die Totzeit des Systems kann durch den Detektor selbst (als Erholungszeit im GM-Zähler, Szintillationszeit im NaI-Kristall oder Plastiksintillator), analoge Elektronik (Verstärker, Filter und Formgebungsgeräte) und digitale Elektronik (einschließlich ADC, Datenspeicherzeit usw.) beeinflusst werden.

Bei unserem Programm "PRA" ist die Zugfeder zur Totzeit die Breite des Pulses, die nicht zu klein sein kann, um von der Soundkarte des Computers richtig abgetastet zu werden. PRA verwendet Zeitintervallstatistiken, um die Totzeit des Systems zu ermitteln. Eine Manifestation von Totzeitphänomenen in Zeitintervall-Histogrammen sind leer und weniger bevölkert als zu Beginn erwartet. Wenn die Zählfrequenz konstant ist,

erwarten wir, dass die Verteilung des Zeitintervalls der exponentiellen Zerfallskurve mit dem Maximum des ersten Bin folgt.

Wie analysiert PRA dieses Histogramm, um eine Totzeit des Gerätes zu finden?

1. Wir suchen das Sortierfach mit einer maximalen Anzahl von Zählimpulsen. Nennen wir das entsprechende Zeitintervall T .
2. Als nächstes zählen wir alle Ereignisse in den Regionen $[0, T)$, $[T, 2T)$, und $[2T, 3T)$. Nennen wir sie s_0 , s_1 , und s_2 entsprechend.
3. Jetzt können wir die Totzeit W mit Hilfe einer Formel berechnen:

$$W \approx \left(1 - \frac{s_0 s_2}{s_1^2}\right) T$$

„Region von Interesse“ Statistik

Region Of Interest (ROI) ist ein beliebiger Bereich von aufeinanderfolgenden Sortierfächern {Bins} im Pulshöhen-Histogramm. Normalerweise verwenden wir es, um einen Peak auszuwählen. Die interessantesten Parameter, die von PRA berechnet werden, sind der Mittelwert, die Standardabweichung, die Bruttoanzahl der Zählungen und die Nettoanzahl der Zählungen. Die Bruttoanzahl der Zählungen im ROI ist nur die Summe aller Zählungen in der ausgewählten Region. Normalerweise wird der Peak nicht mit der Basis auf Null gebaut, sondern sitzt auf der Spitze dessen, was wir einen Hintergrund nennen (nicht notwendig, wenn man von einer Hintergrundstrahlung ausgeht). Unter Hintergrund versteht man ein sich langsam veränderndes Profil des Histogramms. Die Nettoanzahl der Zählungen wird berechnet, indem man die Hintergrund-Zählungen von den Bruttozählungen subtrahiert. PRA geht davon aus, dass sich der Hintergrund unter dem Peak linear verändert. Um die Parameter dieser Linie zu berechnen, nehmen wir zunächst einige wenige (10% der Breite des ROI) Stichproben um den Anfang herum und berechnen ihren Mittelwert und machen das Gleiche am Ende des ROI. Als nächstes subtrahieren wir die Fläche des Trapezes, die auf diesen neuen Punkten aufgebaut ist, von der Bruttozahl der Zählungen, um die Nettozahl der Zählungen zu erhalten. Der Mittelwert und die Standardabweichung werden anhand von Nettozählungen berechnet, die aussagekräftiger sind als die Rohzählungen. Genauer gesagt, können wir den gesamten Prozess mit Hilfe von Formeln beschreiben:

$$Gross = \sum_{i=R_b}^{i=R_e} c_i$$

$$\bar{a}_b = \frac{\sum_{i=R_b-0.1(R_e-R_b)}^{i=R_b+0.1(R_e-R_b)} c_i}{0.2(R_e-R_b)+1}$$

$$\bar{a}_e = \frac{\sum_{i=R_e-0.1(R_e-R_b)}^{i=R_e+0.1(R_e-R_b)} c_i}{0.2(R_e-R_b)+1}$$

$$Net = Gross - \frac{(\bar{a}_b + \bar{a}_e)(R_e - R_b + 1)}{2}$$

$$n_i = c_i - \left(\bar{a}_b + \frac{(i - R_b)(\bar{a}_e - \bar{a}_b)}{R_e - R_b}\right)$$

$$Mean = \sum_{i=R_b}^{i=R_e} \frac{n_i}{Net} i$$

$$\sigma = SD = \sqrt{\sum_{i=R_b}^{i=R_e} \frac{n_i}{Net} (i - Mean)^2}$$

für $Net \neq 0$

wobei:

R_b ist der Anfangssortierfach {bin} von ROI

R_e ist der Endpunkt {bin} von ROI

c_i ist eine Anzahl von Zählimpulsen im i^{ten} Sortierfach {bin}

n_i ist eine Nettoanzahl von Zählimpulsen im i^{ten} Sortierfach {bin}

σ ist eine Standardabweichung des Peaks im ROI

Gaußsche Korrelationsfilter

In vielen Fällen besteht der einzige Zweck des Histogramms der Pulshöhe darin, charakteristische photoelektrische Spitzen zu finden, die helfen können, radioaktive Isotope in Ihrer Quelle zu identifizieren. Die beste Methode ist, die Daten so lange zu sammeln, dass das Histogramm der Pulshöhe zu einer sehr glatten Kurve wird und alle Spitzen deutlich sichtbar werden. Das Problem mit dieser Methode liegt auf der Hand; in der Regel müssen Sie Ihre Daten sehr lange sammeln. Dies führt zu einem weiteren Problem mit der Langzeitstabilität und Temperaturabhängigkeit Ihres Detektors. Einige Leute versuchen, dieses Problem zu lösen, indem sie Daten glätten, indem sie einfache Mittelung aufeinanderfolgender Sortierfächer {Bins} verwenden. Obwohl es manchmal helfen kann, Peaks zu erkennen, die unter normalen statistischen Datenfluktuationen versteckt werden können, führt es in der Regel aber auch zur Identifizierung falscher Peaks und verschmiert die Daten. Diese Methode ist äquivalent zu nur größeren Sortierfächern. Eine neue Methode, die von PRA verwendet wird, ist die Filtration der Pulshöhen-Histogrammdaten auf wissenschaftlichere Weise. Die meisten Kerndetektoren arbeiten nach einem einfachen Prinzip: Die Anzahl der detektierbaren Partikel, die im Detektor erzeugt werden, ist proportional zur kinetischen Energie des Primärpartikels, der in den Detektor eintritt. Bei Szintillationsdetektoren handelt es sich um eine Anzahl von Photonen, die bei der Szintillation erzeugt werden, bei Gasproportionalzählern um eine Anzahl von positiven Ionen und Elektronen oder bei Halbleitern um eine Anzahl von Elektronen-Loch-Paaren. Ein am Detektor befestigter Wandler (Photomultiplier, Dünndrahtanode oder Elektrode) erzeugt ein Signal, das proportional zur Anzahl der detektierbaren Partikel ist. Diese Zahl unterliegt gewissen statistischen Schwankungen, die man als Poisson-Verteilung bezeichnen kann. Dies ist eine Verteilung, die eine sehr einfache und nützliche Eigenschaft hat; ihre Standardabweichung ist eine Quadratwurzel aus dem Mittelwert. Wir werden diese Eigenschaft verwenden, um die Peaks in unserem Pulshöhen-Histogramm zu identifizieren. Wenn die Anzahl der detektierten Partikel in einem Puls groß ist, kann die Poisson-Verteilung einfach durch eine normale (Gaußsche) Verteilung ersetzt werden, was für Berechnungen bequemer ist. Wir gehen nach wie vor davon aus, dass die Peak-Standardabweichung proportional zur Quadratwurzel des Mittelwertes (Mittelwert des Peaks oder der Energie des detektierten Partikels) ist. PRA führt alle Berechnungen automatisch in Echtzeit durch, Sie müssen lediglich die Standardabweichung für Peaks angeben, die Sie für die Kalibrierung verwenden (dies ist der Hauptgrund für eine neue Spalte in der Kalibrierdialogbox). Für das Filtern von Peaks verwendet PRA eine ähnliche Technik wie für das Filtern von Pulsen aus dem Schallsignal, es führt lediglich eine Punktproduktoperation der Pulshöhen-Histogrammdaten und insbesondere der normalisierten Gaußform durch.¹⁰ Wir verwenden die diskrete Gaußform im Bereich $(-2\sigma, 2\sigma)$, die 95% des Peaks abdeckt. Die Gaußsche Form wird so normalisiert, dass die Summe aller ihrer Werte gleich Null ist (subtrahierter Mittelwert) und die Summe aller Quadrate der (neuen) Werte eins ist. Aufgrund dieser Normalisierung und der Tatsache, dass Gauß'scher Mittelwert symmetrisch ist, ist das Punktprodukt nicht abhängig von der Datenverschiebung nach oben oder unten sowie davon, ob ein Peak auf der Steigung liegt

¹⁰ Diese Operation kann auch als Berechnung der diskreten Korrelation von Histogramm und Gauß-Filter bezeichnet werden.

oder nicht. Dies macht unser Betriebsergebnis unempfindlich gegenüber den Hintergrundwerten. Das Punktprodukt der Gaußschen Form (mit Standardabweichung abhängig von der Bin-Nummer) wird entlang aller Daten im Pulshöhen-Histogramm durchgeführt. Das Ergebnis wird hier Gaußsche Korrelation genannt und sein Wert wird auf der gleichen Pulshöhen-Histogramm-Anzeige wie rote Farbpunkte gedruckt. Alle negativen Werte der Gaußschen Korrelation werden als Null dargestellt. Die Gaußsche Korrelationskurve ist in der Regel sehr glatt, auch wenn die Anzahl der Zählungen in den Histogramm-Bins nicht so groß ist, und ihr lokales Maximum zeigt ziemlich genau die Mittelwerte des Peaks an. PRA verwendet die Skalierung, um die Gaußsche Korrelationskurve zusammen mit den Histogramm Daten der Pulshöhe gut sichtbar darzustellen.¹¹ Sie können die vertikale Skala mit den Tasten "Bild aufwärts" und "Bild ab" ändern oder einfach eine logarithmische Skala verwenden, um die Gaußsche Kurve besser sichtbar zu machen. PRA verwendet die Standardabweichung, die aus allen SD-Werten ungleich Null in der Kalibrierdialogbox berechnet wird. Der Abstand zwischen den Punkten, an denen die Gaußsche Korrelationskurve unter dem Peak den Nullpunkt kreuzt, entspricht ungefähr 2,6 Standardabweichungen (etwas größer als FWHM). All dies lässt sich mit Hilfe mathematischer Formeln genauer beschreiben:

$$\text{für } k \in (-2\sigma_i, 2\sigma_i) \quad Gs_k = \exp\left(\frac{-k^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

$$Gs_k = Gs_k - \overline{Gs}$$

$$Gs_k = \frac{Gs_k}{\sum Gs_k^2}$$

$$Gc_i = \sum_{k=-2\sigma}^{k=2\sigma} c_{i+k} Gs_k$$

wobei:

σ_i ist eine erwartete Standardabweichung des Peaks mit Mittelwert beim i^{ten} Sortierfach {bin},

Gs_k ist das k^{te} Element in Gaußform,

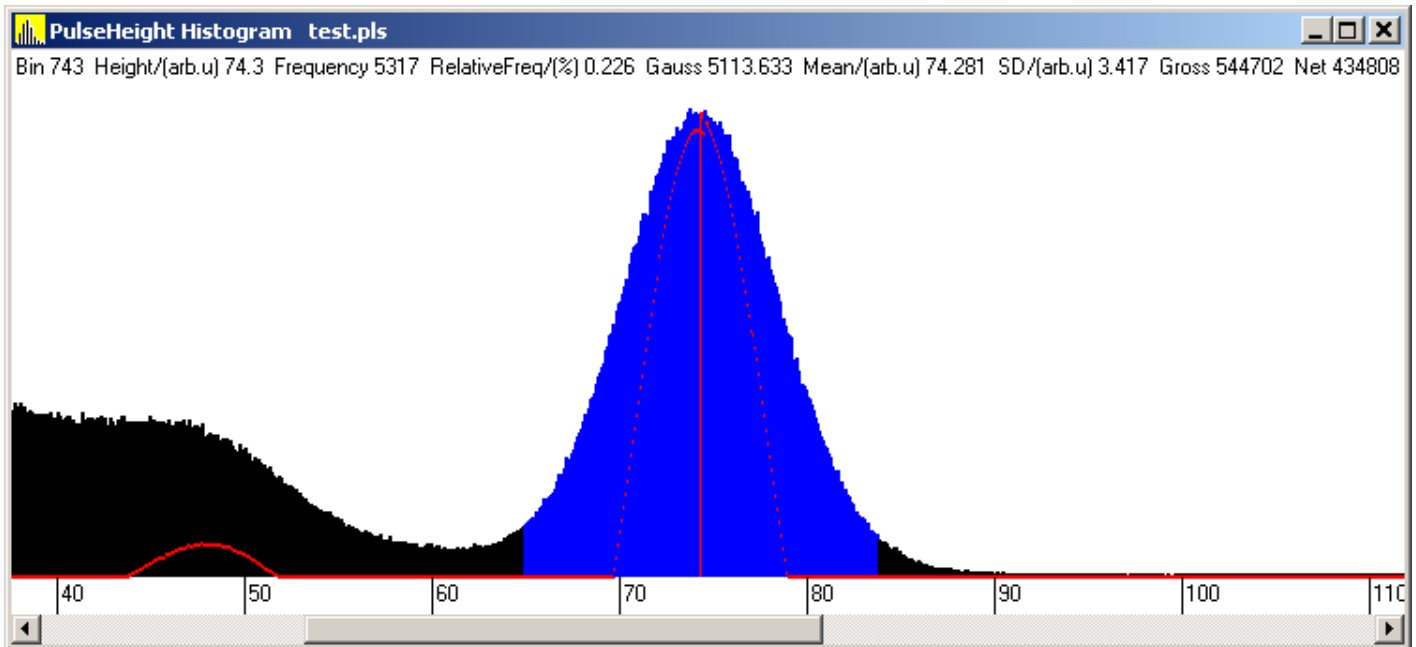
Gc_i ist das i^{te} Element der Gaußschen Korrelationskurve,

c_i ist die Anzahl der Zählungen im i^{ten} Pulshöhen-Histogramm-Sortierfach {bin}.

Toleranzkorrektur

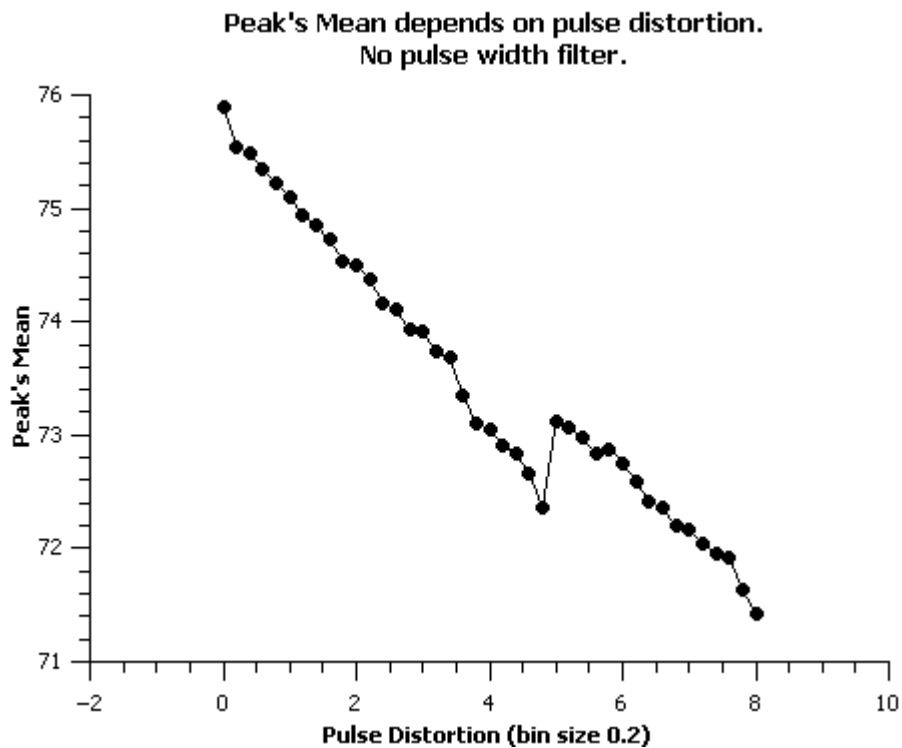
Viele PRA-Anwender haben Probleme, den Parameter "Toleranzkorrektur" zu finden und zu verwenden. Um das Problem zu beheben, werde ich in Kürze zeigen, wie es in PRA Version 10 mit "Erweiterter Impulsfilter {Advanced pulse filter}" funktioniert.

¹¹ Wenn die Standardabweichung richtig gewählt ist, dann sollte der Gaußsche Korrelationswert in der Mitte des Peaks im Bereich (oder etwas darunter) der Anzahl der Zählungen (abzüglich des Hintergrundes) liegen. Es ist jedoch nicht entscheidend, den richtigen Wert der Standardabweichung zu verwenden. Wenn SD zu klein ist, dann zeigt die Gaußsche Korrelationskurve mehr Unregelmäßigkeiten. Dies kann sogar vorteilhaft sein, wenn man zwei nahe gelegene Gipfel erkennt.

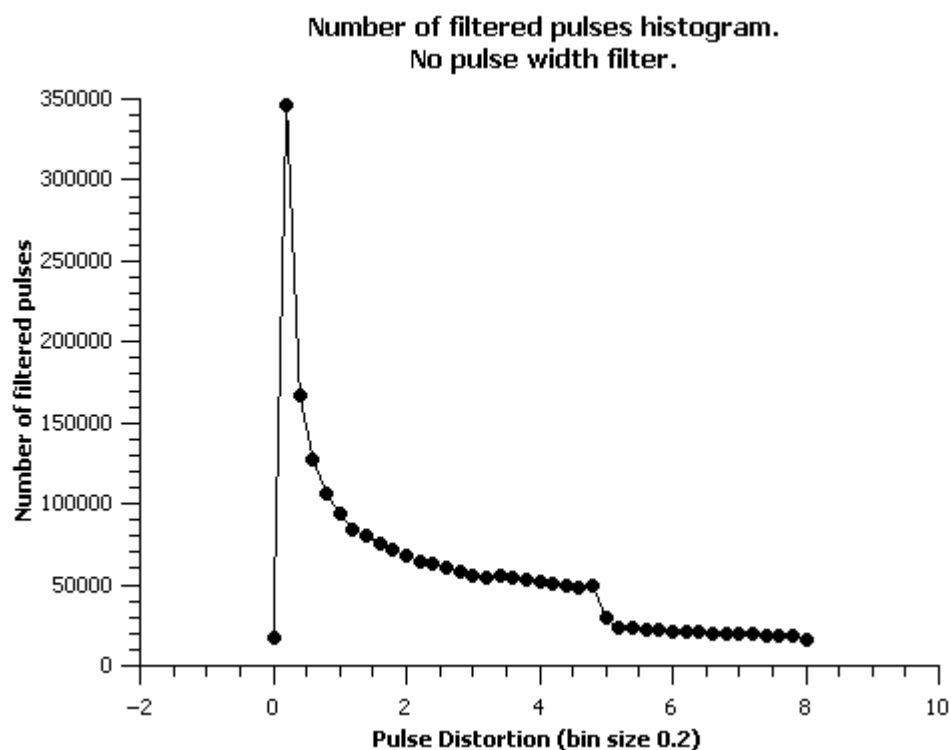


1. Nachdem ich die Pulsform bestimmt hatte, begann ich mit der Aufzeichnung von Impulsen aus dem NaI-Detektor mit der Cs-137-Quelle. Beim Betrachten von "Counting Rate vs Time" stellte ich fest, dass die Einstellung 10 für "Toleranzschwelle" die Zählfrequenz nicht verändert. Ich habe 10000000 Impulse aufgezeichnet. Das Histogramm der Pulshöhe ohne Verwendung eines Filters oder einer Korrektur wird unten gezeigt. Mein NaI-Detektor hat eine Auflösung von ca. 10%.
2. Dann habe ich die Bereiche der Impulsverzerrung ausgewählt: 0 bis 0,2, 0,2 bis 0,4, 0,4 bis 0,6, usw. "Erweiterter Impulsfilter {Advanced Pulse Filter}" für den Bereich 0,2 bis 0,4 ist unten dargestellt.

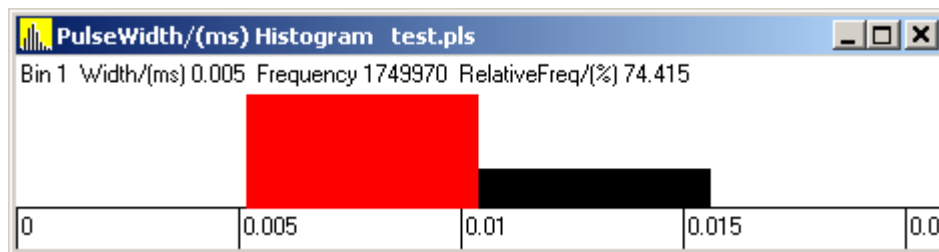
3. Für jeden der gewählten Verzerrungsbereiche lese ich die "Mean"- und "Gross"-Werte des 662 keV-Photo-Peaks und erstelle mit QtiPlot ein Streudiagramm (werbe nur für das gute Programm, man kann MS Excel, LibreOffice Calc, Gnumeric oder ähnliches verwenden).



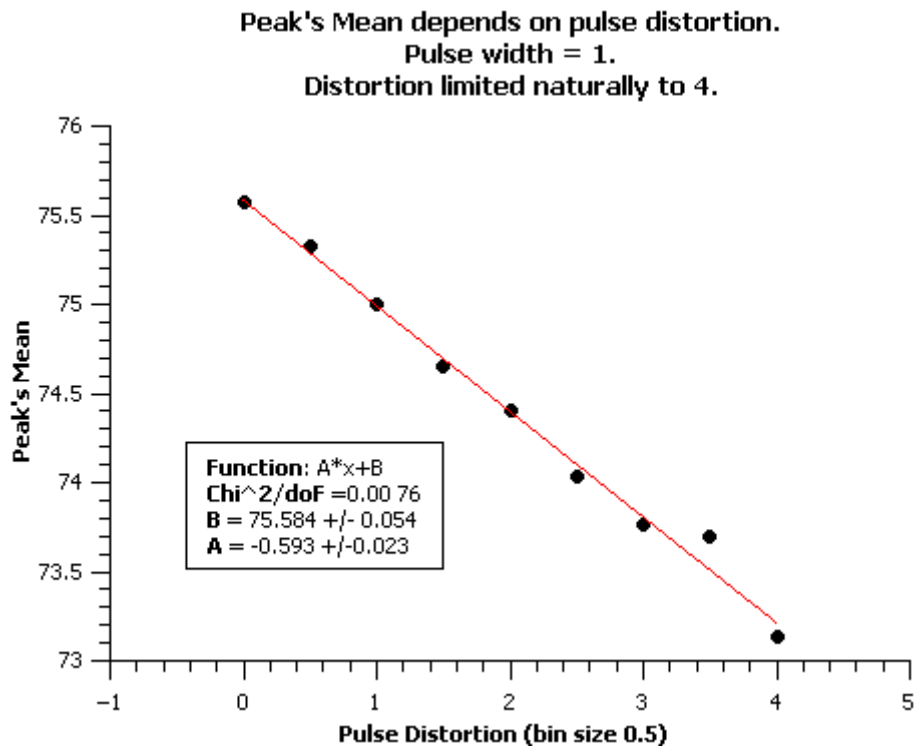
4. Wie man sieht, ändert sich der Mittelwert des Peaks annähernd linear, mit Ausnahme einer kleinen Diskontinuität um die Impulsverzerrung bei 5.



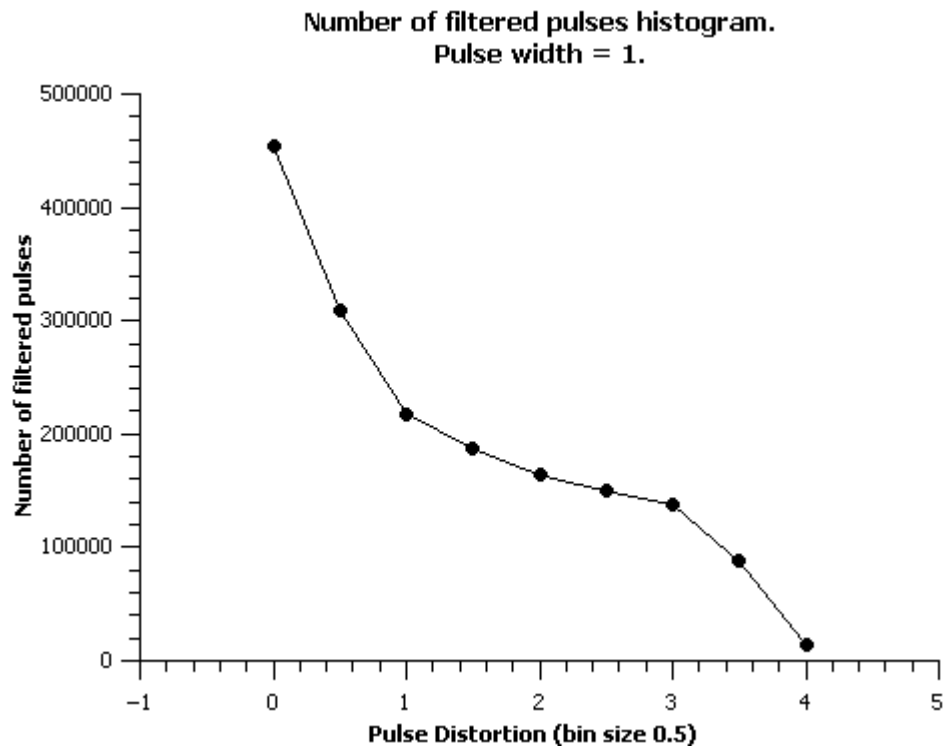
5. Ähnliches Verhalten stellt eine Anzahl von gefilterten Impulsen dar. Die plötzliche Änderung einer Anzahl von Zählungen bei Verzerrung = 5 ist auf unterschiedliche Pulsbreiten zurückzuführen. Die meisten Ereignisse haben die Breite = 1, aber eine kleine Menge hat die Breite = 2.



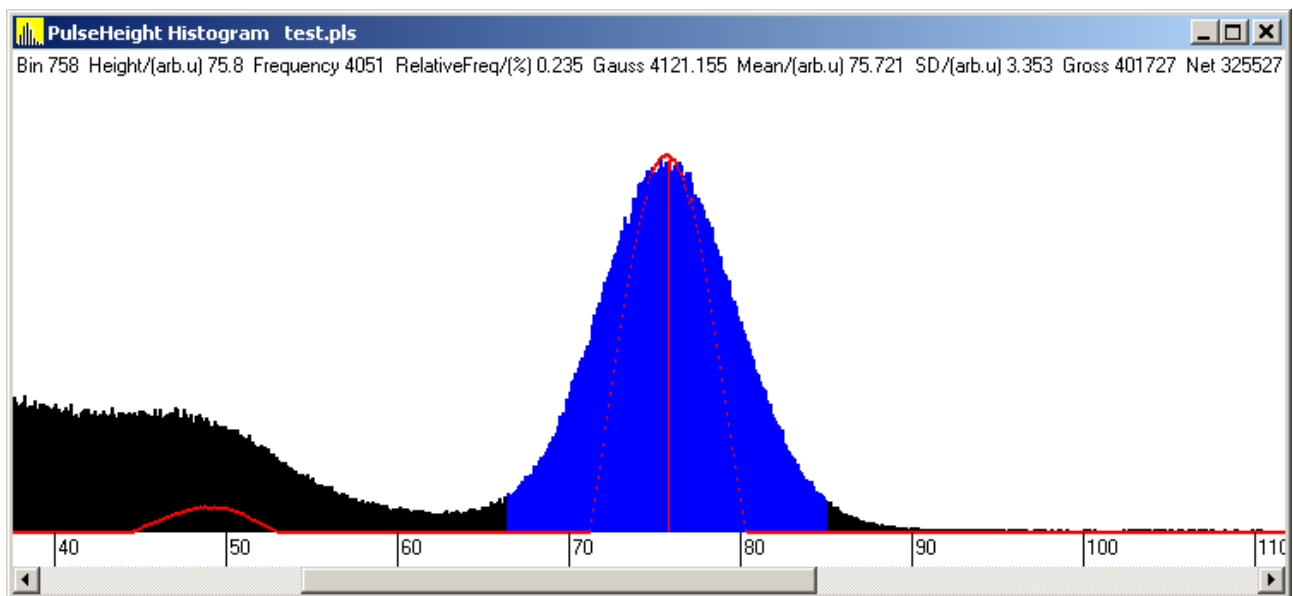
6. Wenn ich nur Ereignisse mit Pulsbreite = 1 auswählte, hatte ich diese Diagramme für Mittelwert und Anzahl der Zählungen.



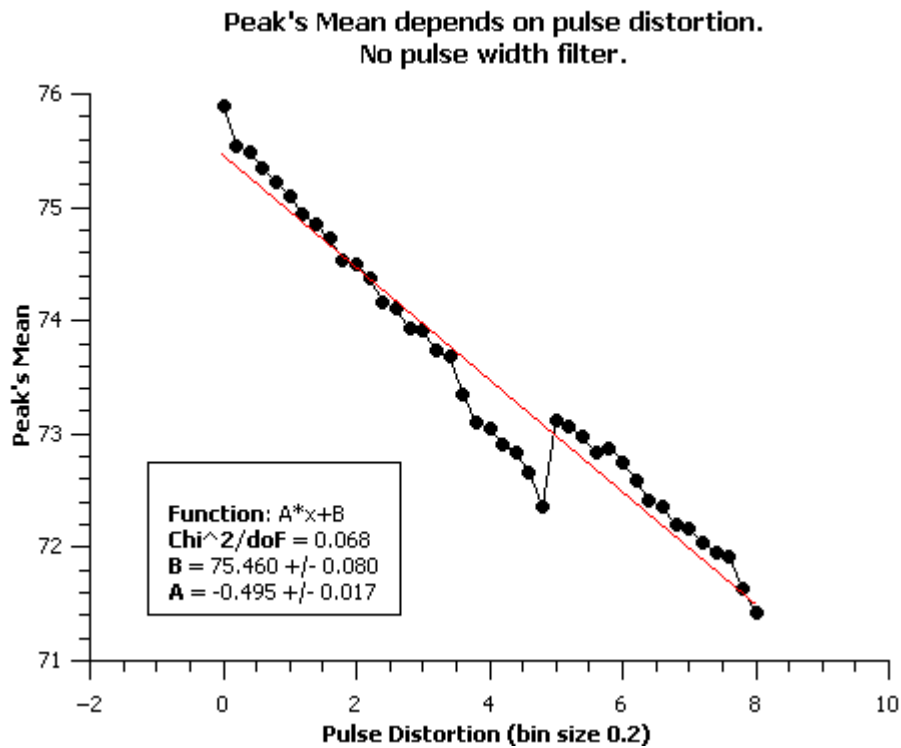
7. Diesmal habe ich die Sortierfachgröße 0,5 verwendet, nur um Zeit zu sparen.



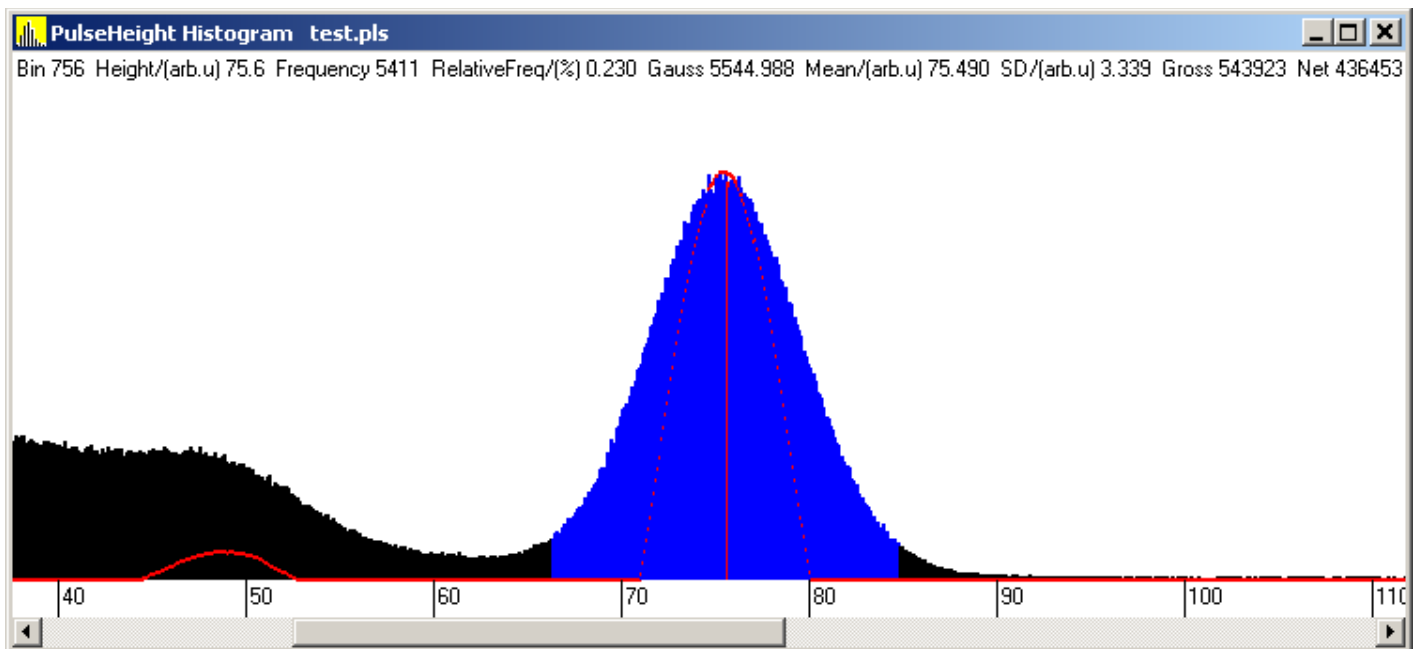
8. Eine Anzahl von Zählimpulsen sinkt auf Null über der Verzerrung = 4.
9. Von der linearen Anpassung bis zum Mittelwert vs. Verzerrungsdiagramm fand ich eine Toleranzkorrektur unter Verwendung der Gleichung, Toleranzkorrektur = $-A \cdot 10000 / B = 78,46$. Der Faktor 10000 ergibt sich aus der 100-fachen Erhöhung sowohl der Impulsverzerrung (Toleranz) als auch der Toleranzkorrektur.



10. Wie wir sehen können, ist die Standardabweichung des Peaks von 3,417 auf 3,353 verbessert, aber wir haben einige Zählwerte verloren; 544702 vs. 401727. Diese verlorenen Pulse waren schmerzhaft für mich, und ich ging zurück zum vollen Bereich der Pulsbreite und passte eine gerade Linie zum Mittelwert vs. Verzerrungsdiagramm trotz Diskontinuität.



11. Der aus diesen Daten errechnete Korrekturfaktor beträgt $0,495 \cdot 10000 / 75,460 = 65,60$. Nach Anwendung dieser Toleranzkorrektur (ohne zusätzliche Impulsfilterung) sah ich das Ergebnis.



12. Wie Sie sehen können, ist die Standardabweichung sogar noch kleiner als mit dem Pulsweitenfilter (3.339 vs. 3.353) und die Bruttoanzahl der Zählungen im Peak ist fast gleich wie ohne Korrektur (543923 vs. 544702). Der kleine Unterschied in der Anzahl der Zählungen im Peak kommt nur von einem engeren Peak (siehe Gaußsche Korrelation).

Tastaturkürzel

PRA verwendet folgende Befehle, auf die über eine Tastenkombination zugegriffen werden kann:

1. → (**Pfeil nach rechts**) – erhöht die aktuelle Position in einem aktiven Histogramm um eins.
2. ← (**linker Pfeil**) – verringert die aktuelle Position in einem aktiven Histogramm um eins.
3. ↑ (**Pfeil nach oben**) – horizontales Auszoomen.
4. ↓ (**Pfeil nach unten**) – horizontales Einzoomen.
5. **Bild nach oben** – vertikales Vergrößern. Kann auch mit dem Mausrad gedreht werden.
6. **Bild nach unten** – vertikales Verkleinern.
7. **A** – Datenerfassung starten.
8. **C** – Fortsetzung der Datenerfassung.
9. **S** – Stopp der Datenerfassung.
10. **Leertaste** – Startet und stoppt die Impulswiedergabe.
11. **.** (**Punkt**) – Erhöht die Tonhöhe des abgespielten Tons.
12. **>** – Erhöht die Rate der "gespielten Pulse".
13. **,** (**Komma**) – Setzt die Tonhöhe des abgespielten Tons herab.
14. **<** – Verringert die Rate der "gespielten Pulse".
15. **B** – markiert den Beginn von 'Region Of Interest' im [Pulshöhenhistogramm](#)
16. **E** – markiert das Ende von "Region Of Interest".
17. **K** – markiert alle ROIs im rechten Kanal, die mit den ROIs des linken Kanals identisch sind.
18. **D** – markiert automatisch einen sehr breiten ROI um den Gaußschen Korrelationspeak (D für double).
19. **F** – markiert automatisch einen breiten ROI um den Gaußschen Korrelationsspitzenwert (F für voll).
20. **G** – markiert automatisch den mittleren ROI um den Gaußschen Korrelationsspitzenwert (G für Gauß).
21. **H** – markiert automatisch einen engen ROI um den Gaußschen Korrelationspeak (H für die Hälfte).
22. **L** – schaltet die automatische Auswahl des letzten Eintrags im Fenster "Zählrate vs. Zeit" um.
23. **T** – schaltet im Fenster "Audio Input" zwischen Normal- und Auto-Trigger-Modus um.
24. **Entf** – löscht den ROI an der aktuellen Position im Histogramm der Pulshöhe.
25. **Entf + Umschaltung** – löscht alle ROIs im Pulshöhen-Histogramm.
26. **Q** – öffnet die Dialogbox *Information*, in der die Informationen des aktiven Fensters als Text angezeigt werden, der vom Programm "JAWS" gelesen werden kann. Um diese Dialogbox zu verlassen, drücken Sie die *Eingabetaste*.
27. **F1** – Aktiviert alle Menüpunkte des Menüs "Speichern" während der Datenerfassung ohne Unterbrechung. Dieser Status wird bei einem Neustart der Datenerfassung wieder auf "normal" zurückgesetzt.

Dateistrukturen

Alle aus PRA exportierten Dateien liegen im tabulatorgetrennten Textformat (ASCII) vor.
Andere Dateien liegen im Binärformat vor, wie folgt:

Die Hauptdatendatei *.pls beginnt mit dem Header:

```
typedef struct PlsHeader {  
    unsigned long    PulseTag; //"Puls"  
    unsigned long    NumberOfPulses[2];  
    long long        AcquisitionTime; //numberOfTimeFrames  
    unsigned long    PRA version;  
    unsigned long    DataOffset;  
    unsigned long    Filler;  
    SETTINGS         AllSettings; //5888 bytes  
} PLSHEADER; //5920 bytes
```

gefolgt von den Impulsen der Anzahl der Impulse:

```
typedef struct Pulse {  
  
    long long        Begin;  
    unsigned long    Width;  
    unsigned long    Height;  
    unsigned long    Distortion;  
    unsigned long    Coincidence;  
} PULSE; //24 bytes
```

Settings file (*.ini):

```
typedef struct Settings {  
    AUDIOSETTINGS    CurAudioSettings; //2*16 bytes  
    double           SettingsData[18]; //18*8 bytes  
    char             CheckBox[9]; //9 bytes  
    char             CoincidenceMode; //1 byte  
    char             FilterCheckBox[3]; //3 bytes  
    char             Comment[1007]; //1007 bytes  
    WINDOWPLACEMENT  WinPlacement[7]; //7*44=308  
    double           Filter[2][16]; //32*8 bytes  
    double           PulseShape[2][16]; //32*8 bytes  
    char             ShapeCheckBox[2][16]; //32 bytes  
    double           CalibrationData[2][8][3]; //2*8*3*8 bytes  
    char             EnergyUnits[31]; //31 bytes  
    char             CalibrationMode; //1 byte  
    ROI              Roi[2][32]; //64*56 bytes  
} SETTINGS; //5888 bytes
```