Digitale Pile-Up Korrektur zur γ-Spektroskopie mit einem LaBr(Ce)-Detektor bei Zählraten bis 10 MHz

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

SFB 634

Bastian Löher[1], Norbert Pietralla[1], Deniz Savran[1,2,3], Linda Schnorrenberger[1], Kerstin Sonnabend[1], and Matjaž Vencelj[2]

[1] Institut für Kernphysik, Technische Universität Darmstadt
[2] Institut Jožef Stefan, Ljubljana, Slowenien
[3] Innovation Centre for Advanced Sensors and Sensor Systems, INCAS[3], Assen, Niederlande

HIC for FAIR
Helmholtz International Center

LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz

gefördert von DFG (SFB 634) und LOEWE (HIC for FAIR)

Überblick

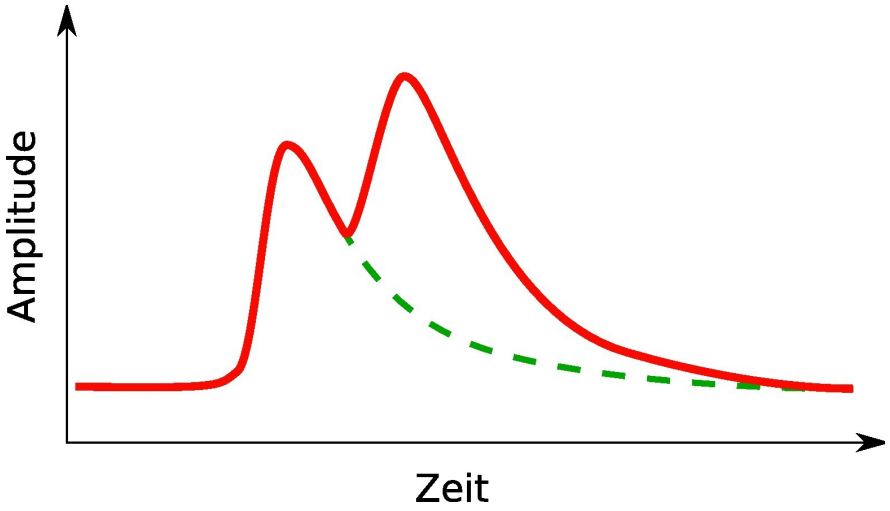
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Ziele
- Pile-Up Korrektur
- Erste Ergebnisse
- Ausblick

Ziele

- γ-Spektroskopie bei sehr hohen Zählraten!
  - Bei vielen Experimenten ist Zählrate limitierender Faktor
  - Ermöglicht höhere Strahlintensitäten → kürzere Messzeiten
  - Experimente mit geringer Targetmenge, in hohem Untergrund

- Problem: Pile-Up! d.h. Signale überlappen zeitlich
  - Fehler bei Bestimmung der Signalamplitude
  - Verminderte Energieauflösung
  - Verminderte Effizienz



Pile-Up Behandlung

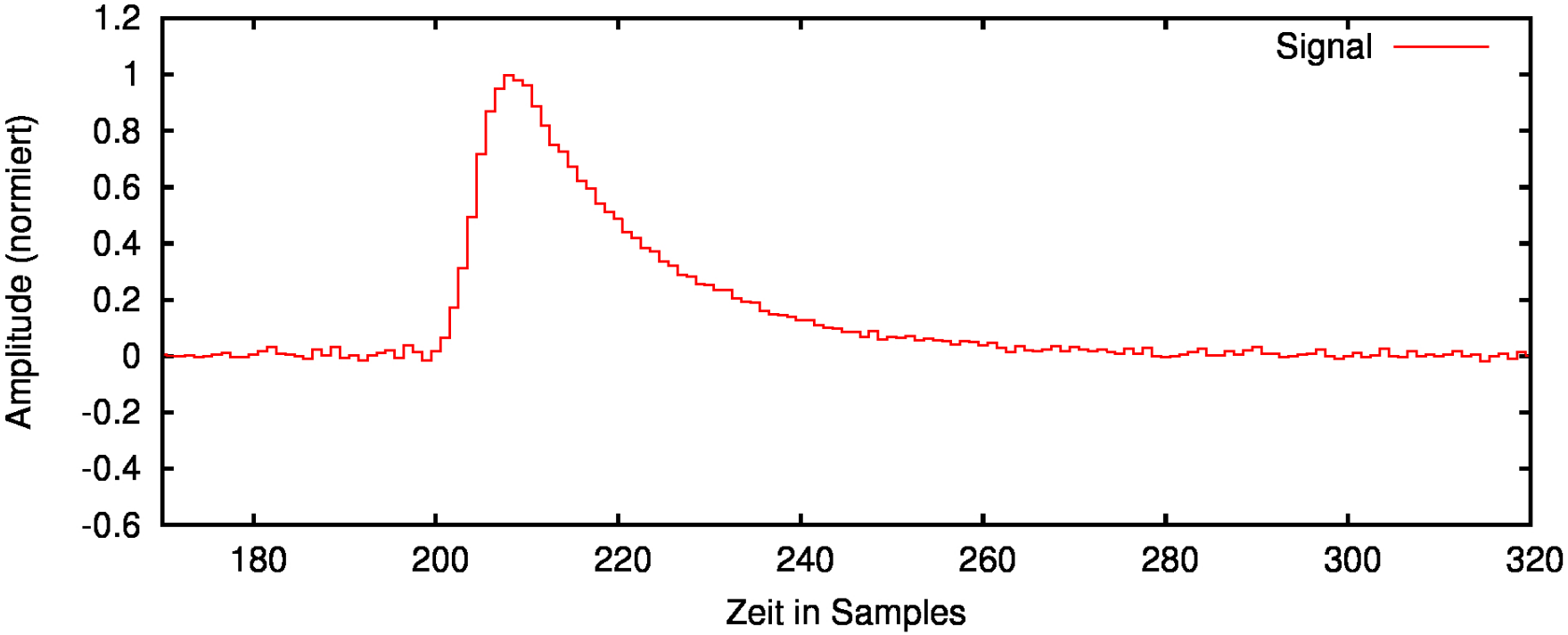
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Pile-Up erkennen (Pile-Up Detection)
  - z.B. über Zeitunterschied dT zweier Triggerereignisse
- Pile-Up Ereignisse verwerfen (Pile-Up Rejection)
  - Einfachste Methode
  - Keine Verbesserung der Detektoreffizienz
  - Eingesetzt in analoger Elektronik
- Pile-Up Ereignisse korrigieren (Pile-Up Correction)
  - Je nach Anwendung und Detektortyp unterschiedliche Methoden
    - Fit an modellierte Signalformen[1]
    - Moving Window Deconvolution[2]
  - Hier: Korrektur durch Matrixinversion auf Basis von Listmode-Daten

[1] C. Guerrero et al. NIM A, **597** (2008), 212
[2] H. Yang et al., NIM A, **598** (2008), 779

Digitale Kalorimetrie I

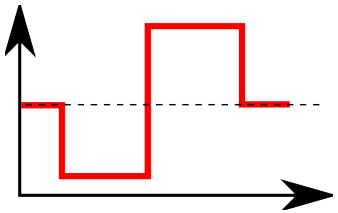
- Nutze digitalisierte Signale eines LaBr-Szintillators
- Annahme: Signalform konstant → Modellsignal m(t)
- Bestimmung der Amplitude:

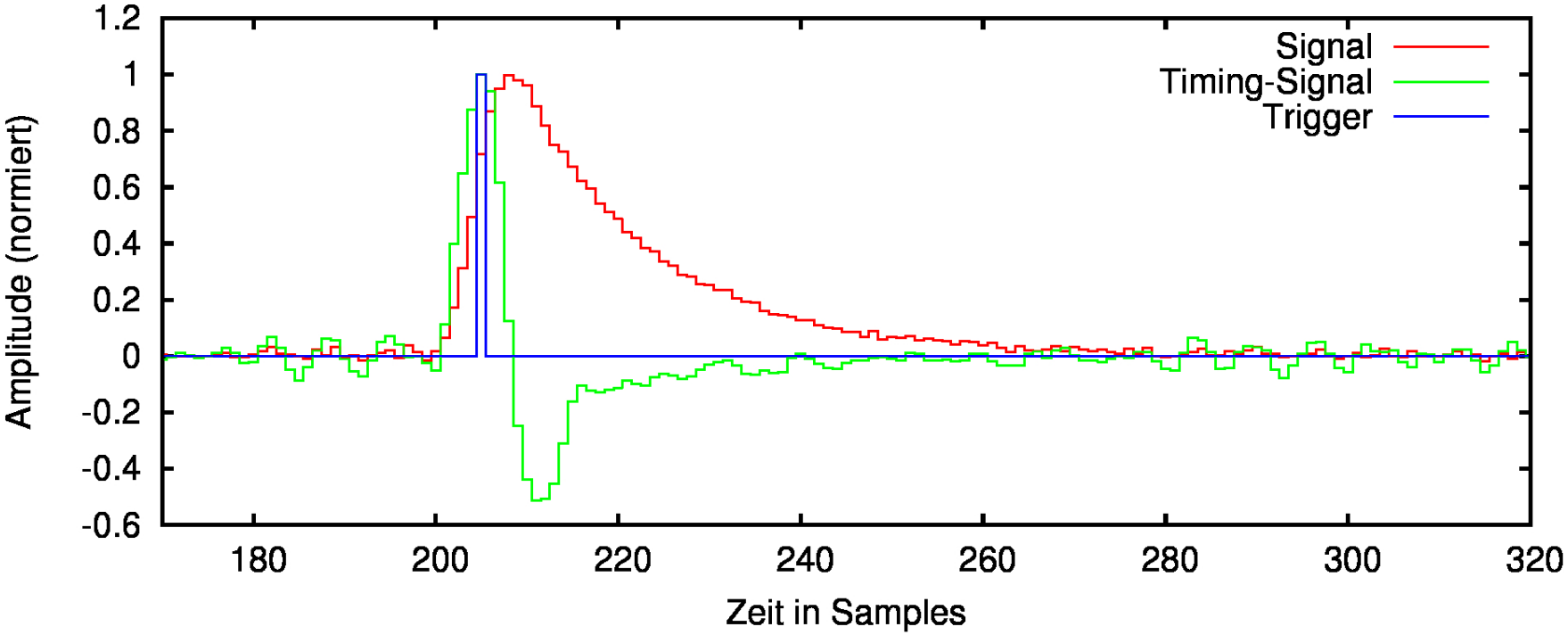


Digitale Kalorimetrie II

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Trigger: Filterung des Signals mit bipolarem Filter
- Parameter: Filterbreite und Triggerschwelle



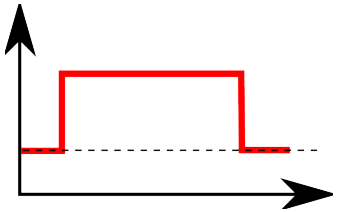


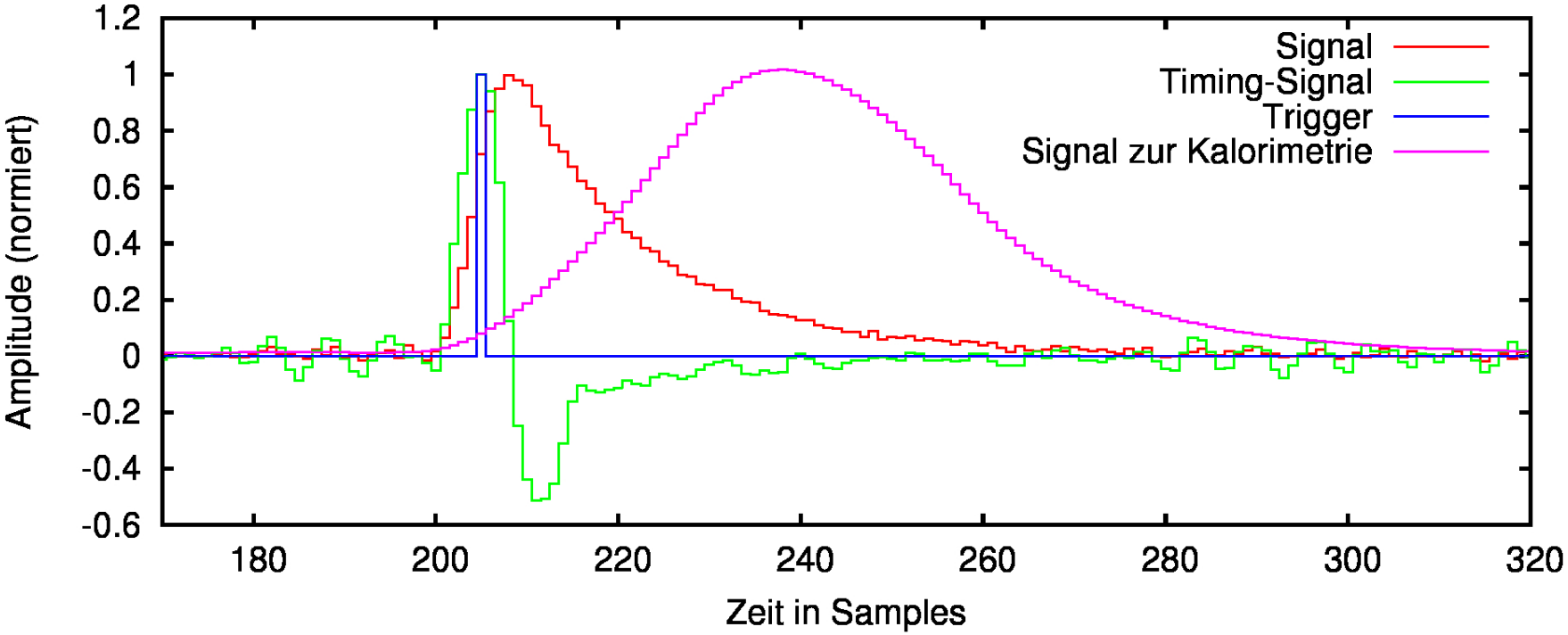
SFB 634

Digitale Kalorimetrie III

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Glättung: Filterung mit integrierendem Filter
- Parameter: „Shaping Time“



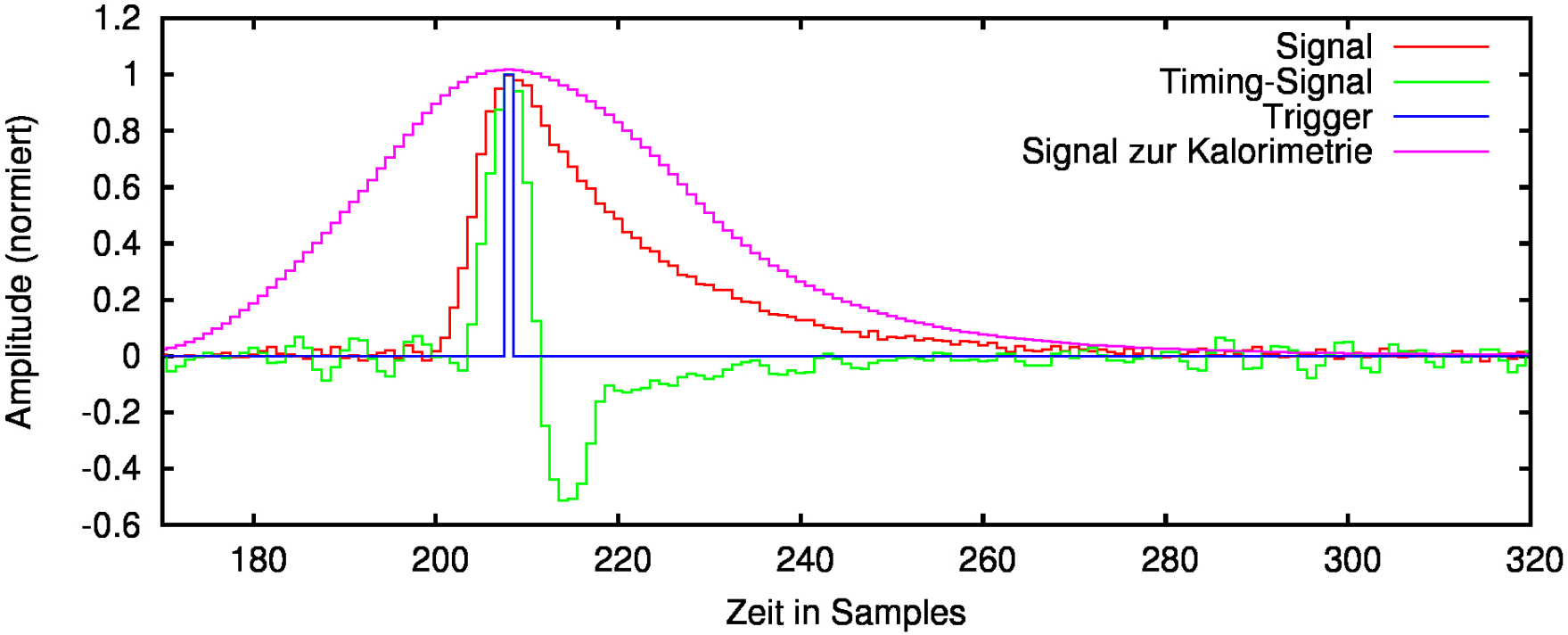


SFB 634

Digitale Kalorimetrie IV

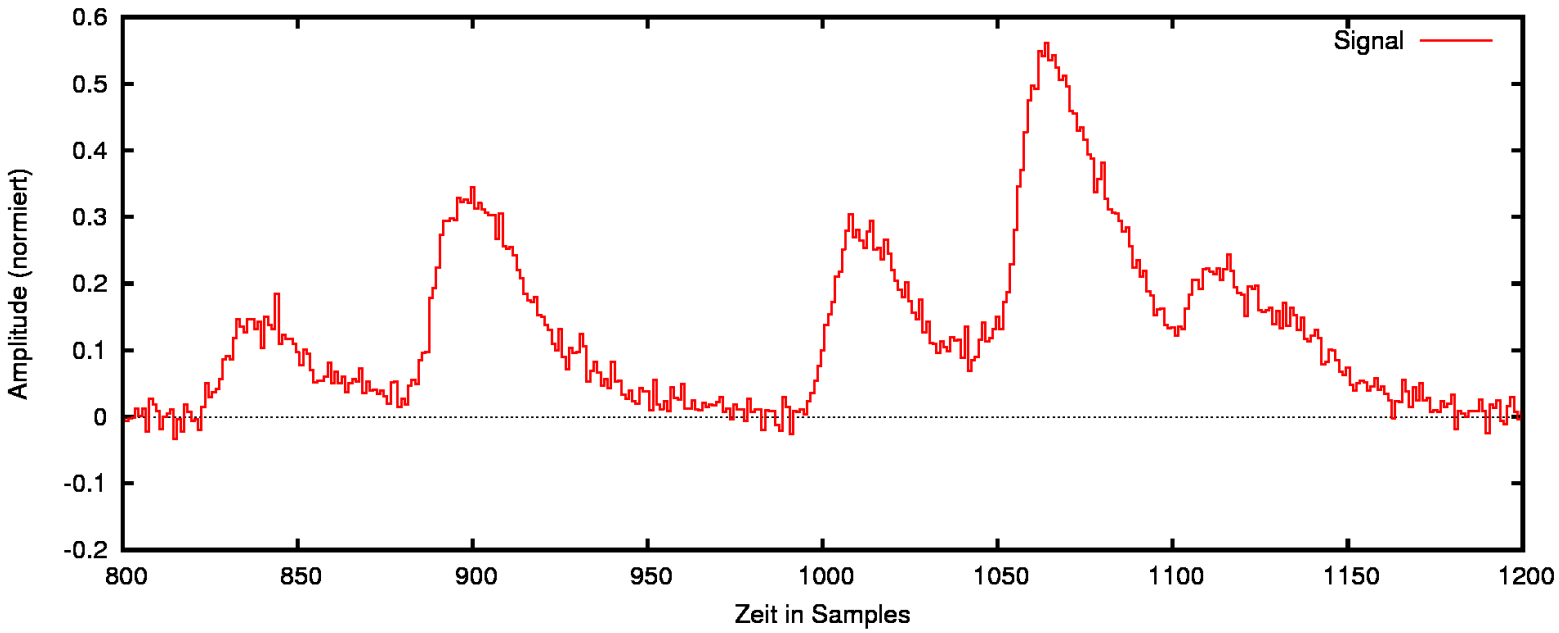
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Zeitbeziehung zwischen gefilterten Signalen bekannt
- Verschieben setzt Trigger an richtigen Zeitpunkt



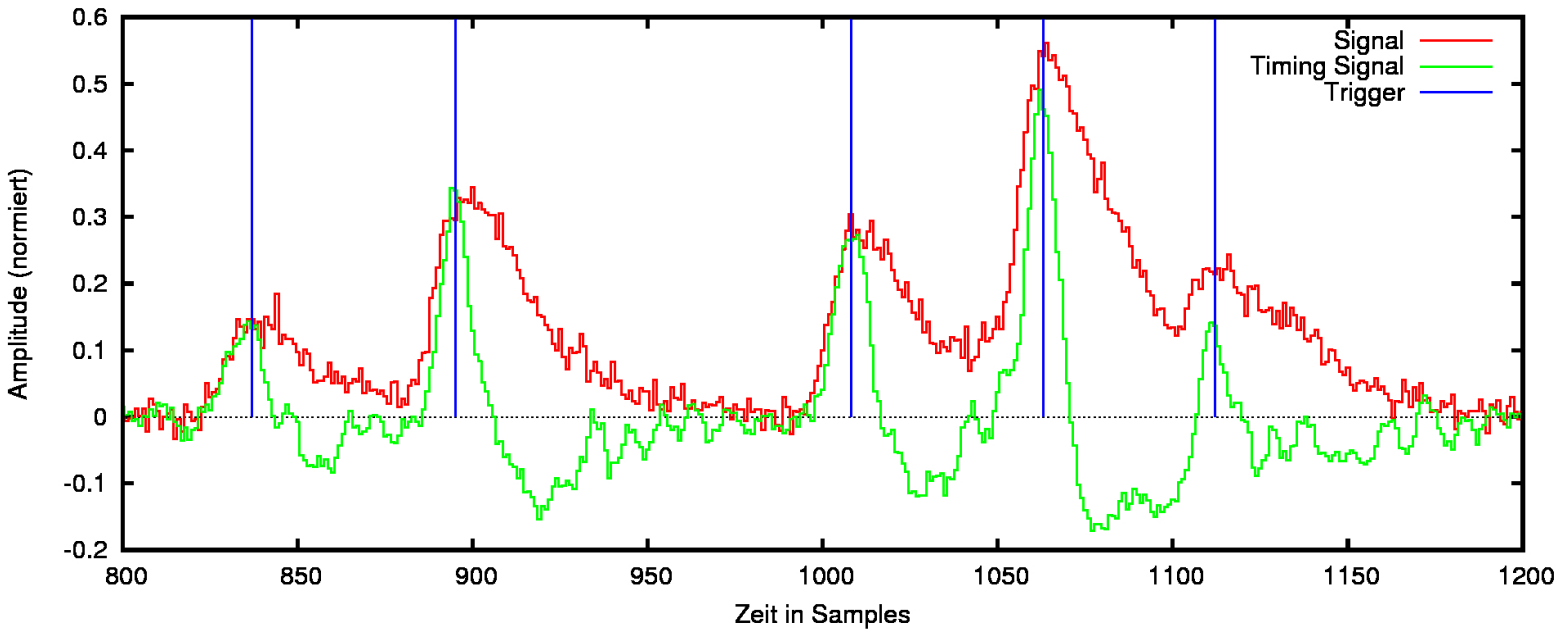
SFB 634

Pile-Up Korrektur I



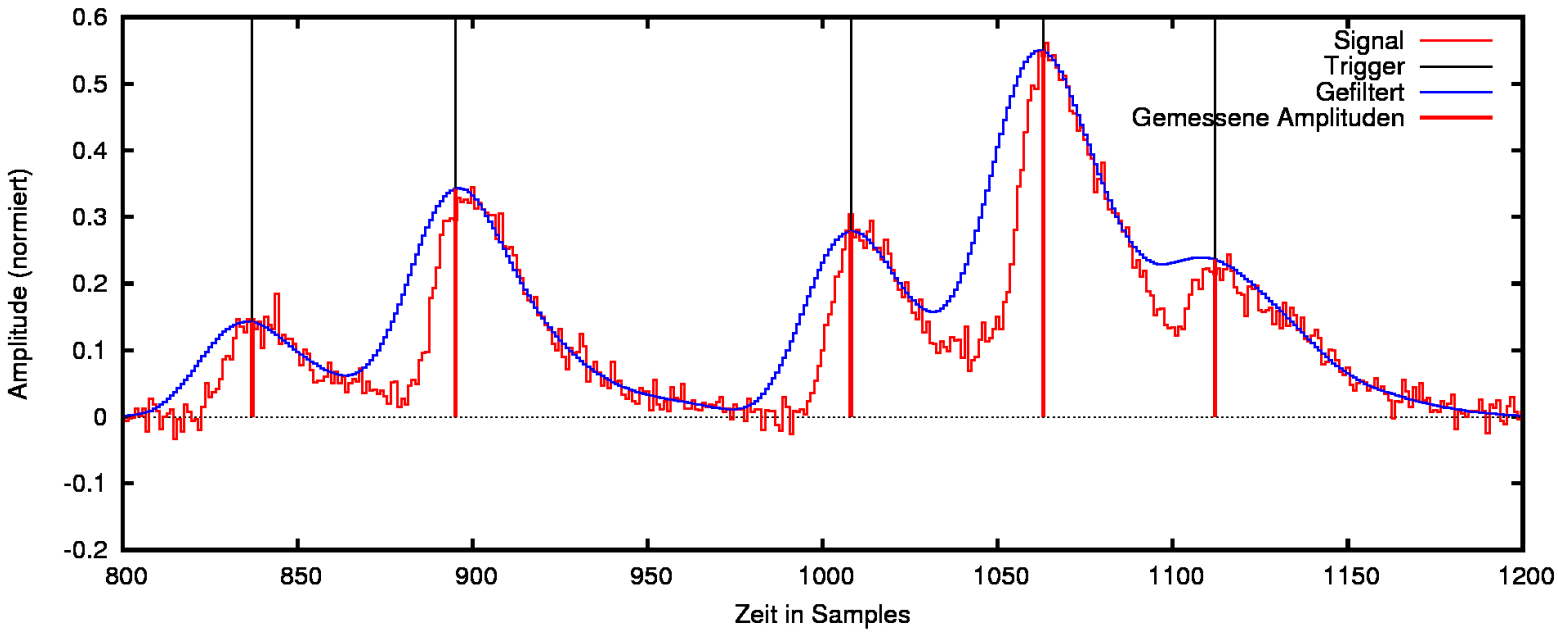
- Ausschnitt aus gemessenem Signal mit Pile-Up Ereignissen
  - Samplingrate 1 GS/s
  - Anstiegsflanke ca. 10 ns

Pile-Up Korrektur II



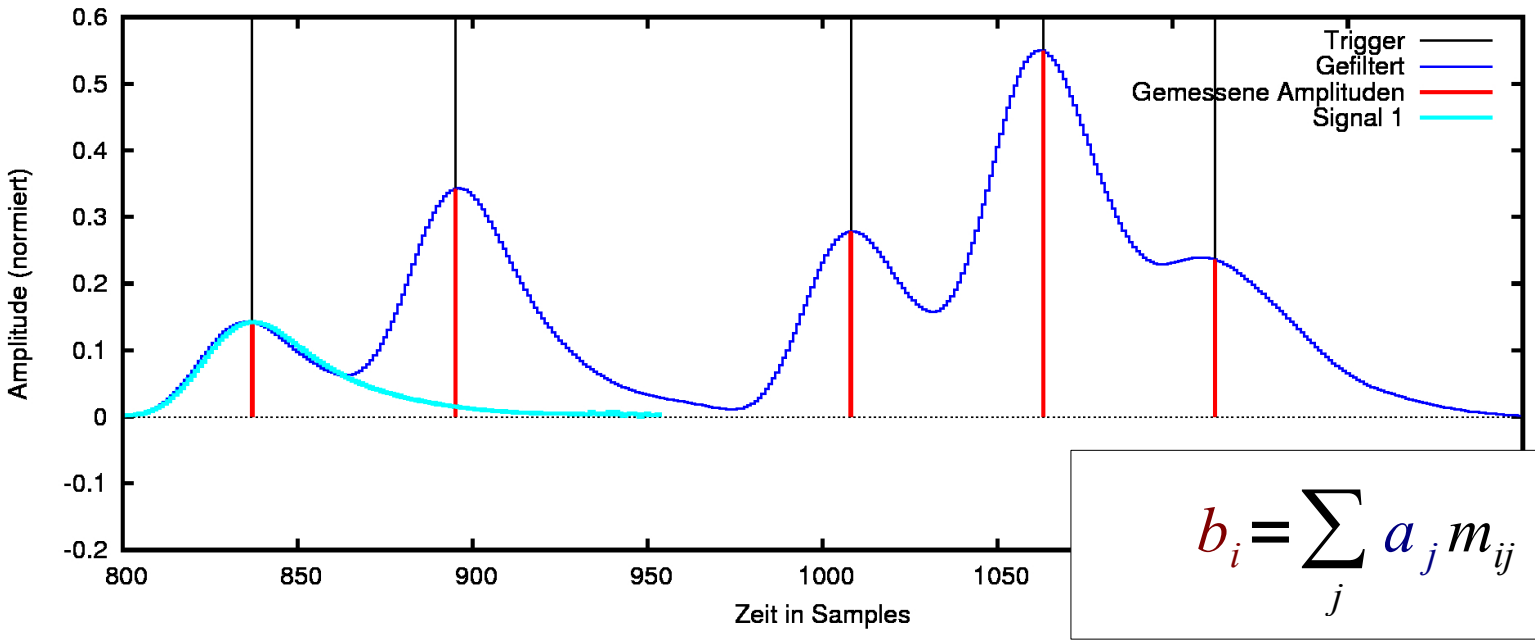
- Trigger mit Timing-Signal nach Filterung
  - Trigger auch bei starkem Pile-Up

Pile-Up Korrektur III



- Integrationsfilter zur Glättung
- Gemessene Amplituden b_i wegen Pile-Up überschätzt

Pile-Up Korrektur IV



$$b_i = \sum_j a_j m_{ij}$$

- Glattes Signal entsteht aus Linearkombination des Modellsignals mit verschiedenen wahren Amplituden a_i an Zeitpunkten t_i
- $m_{i,j}$ ist Beitrag des j-ten Modellsignals zum Zeitpunkt t_i → Matrix M

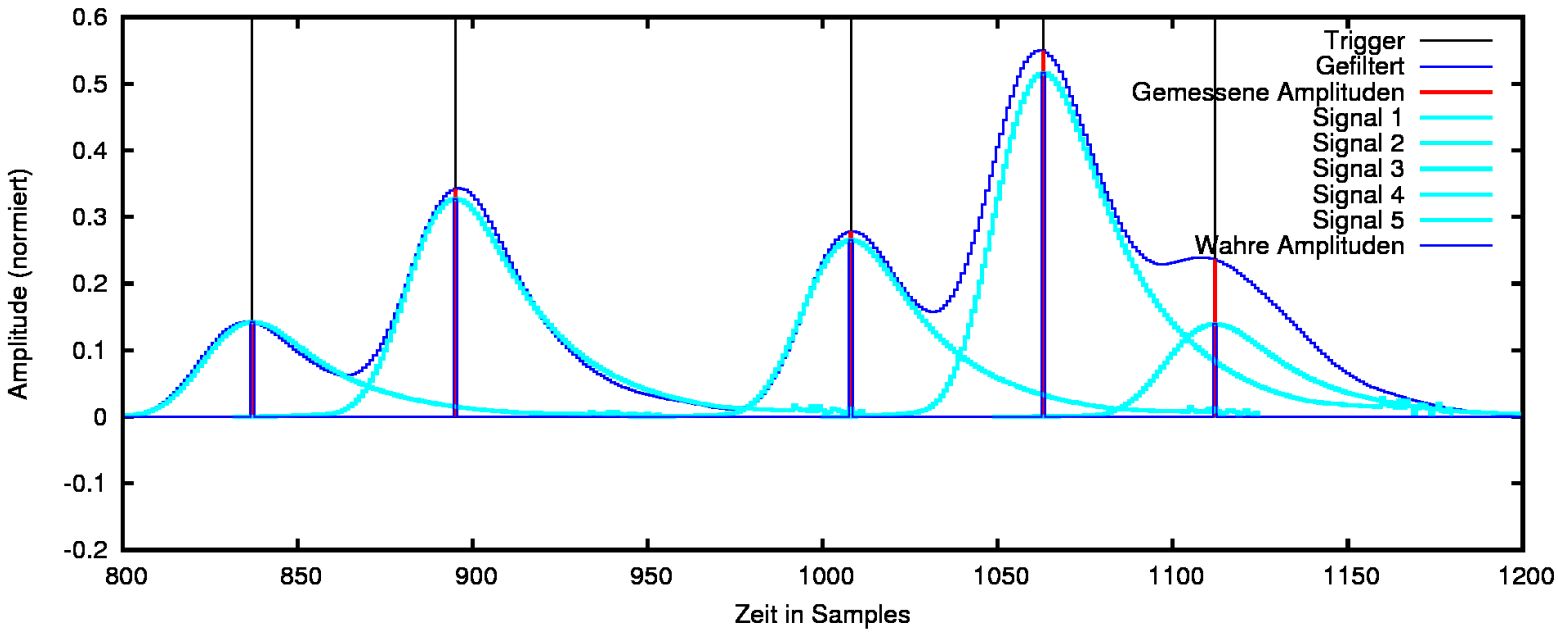
Pile-Up Korrektur IV

- Matrixinversion[1] liefert aus b_i wahre Amplituden a_i

$$b = a\,M \quad \Rightarrow \quad a = b\,M^{-1}$$

[1] M.Vencelj *et al.*, Nucl. Inst. and Meth. A **607** (2009) 581

Pile-Up Korrektur IV



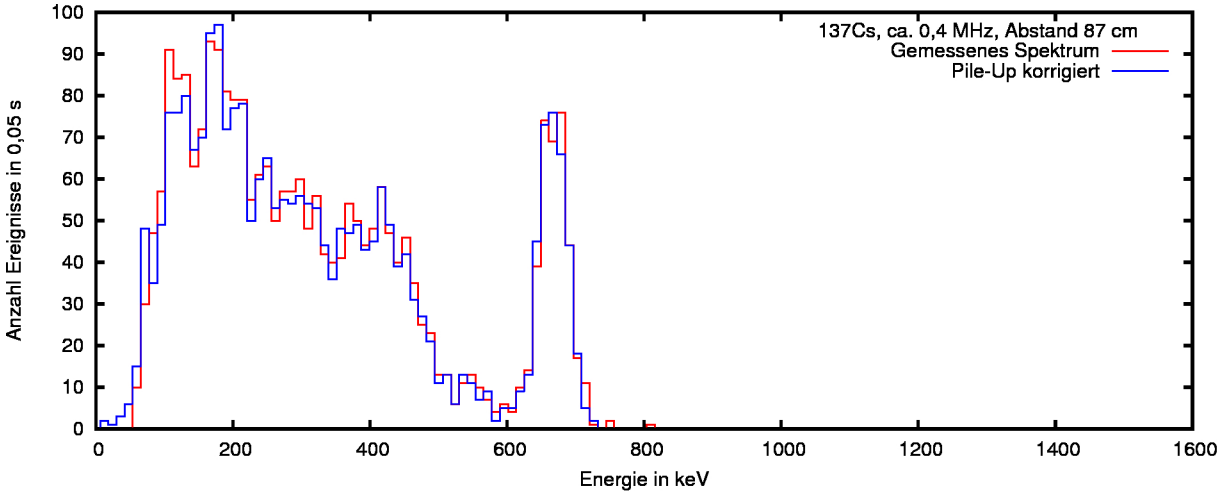
- Matrixinversion[1] liefert aus b_i wahre Amplituden a_i

$$b = a\,M \quad \Rightarrow \quad a = b\,M^{-1}$$

[1] M.Vencelj *et al.*, Nucl. Inst. and Meth. A **607** (2009) 581

Erste Ergebnisse

- 137Cs Quelle
  - Abstand 87 cm
  - ~0,4 MHz
  - Messzeit 0,05 s
  - 26k Counts



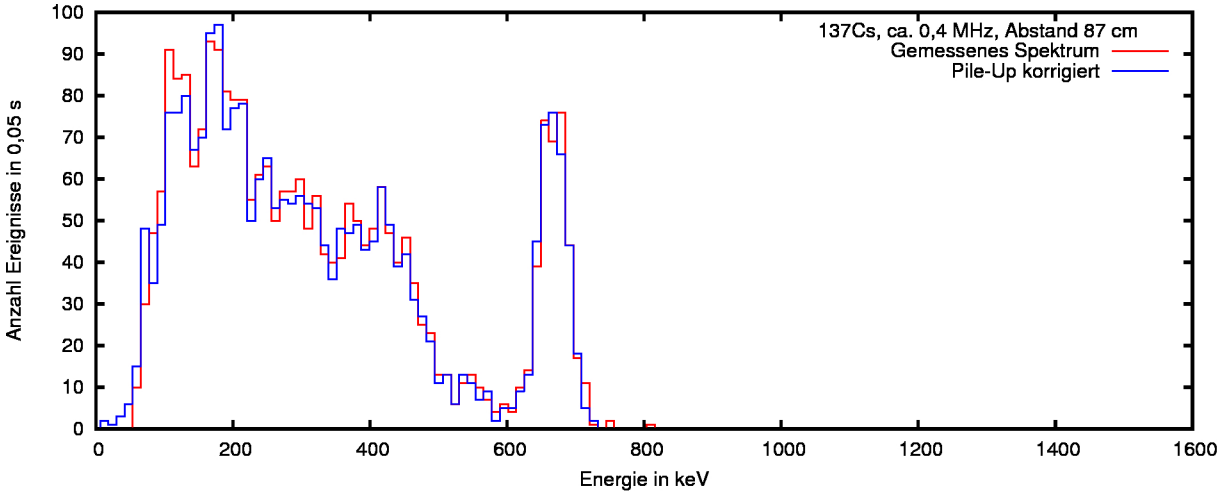
SFB 634

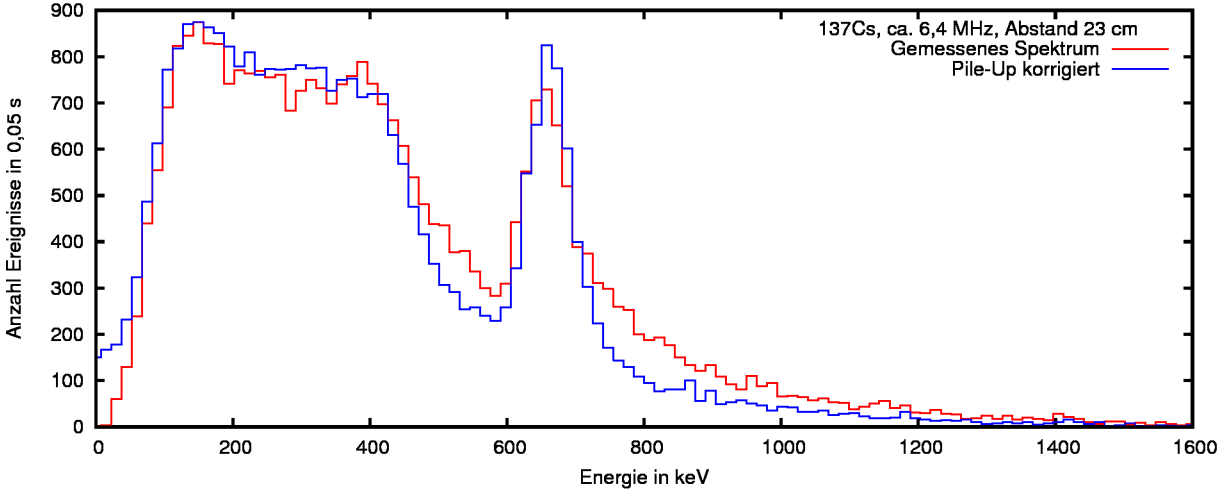
Erste Ergebnisse

- 137Cs Quelle
  - Abstand 87 cm
  - ~0,4 MHz
  - Messzeit 0,05 s
  - 26k Counts

  - Abstand 23 cm
  - ~6,4 MHz
  - Messzeit 0,05 s
  - 321k Counts

  → bessere Effizienz
  → bessere Auflösung





SFB 634

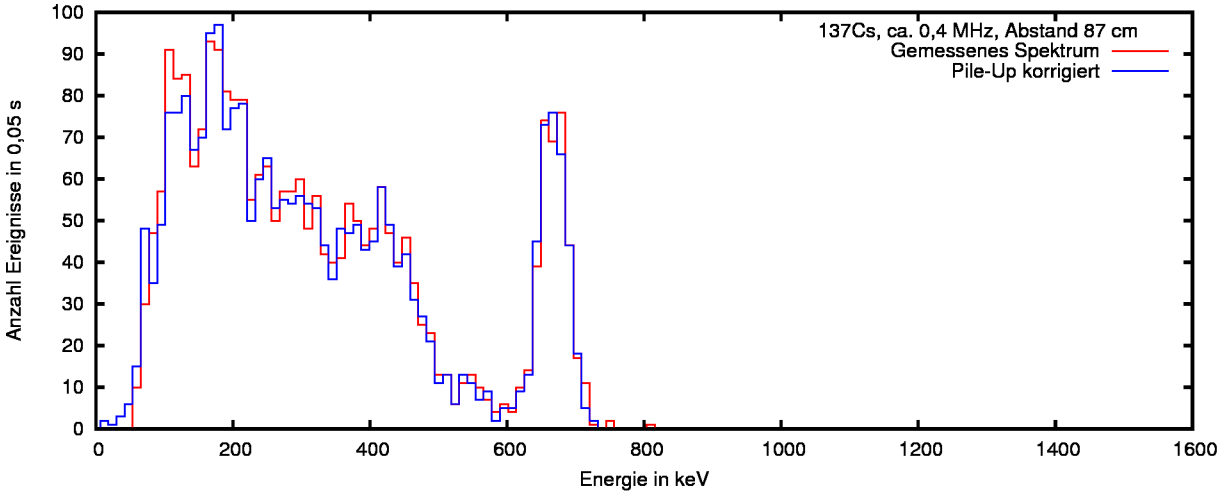
Erste Ergebnisse

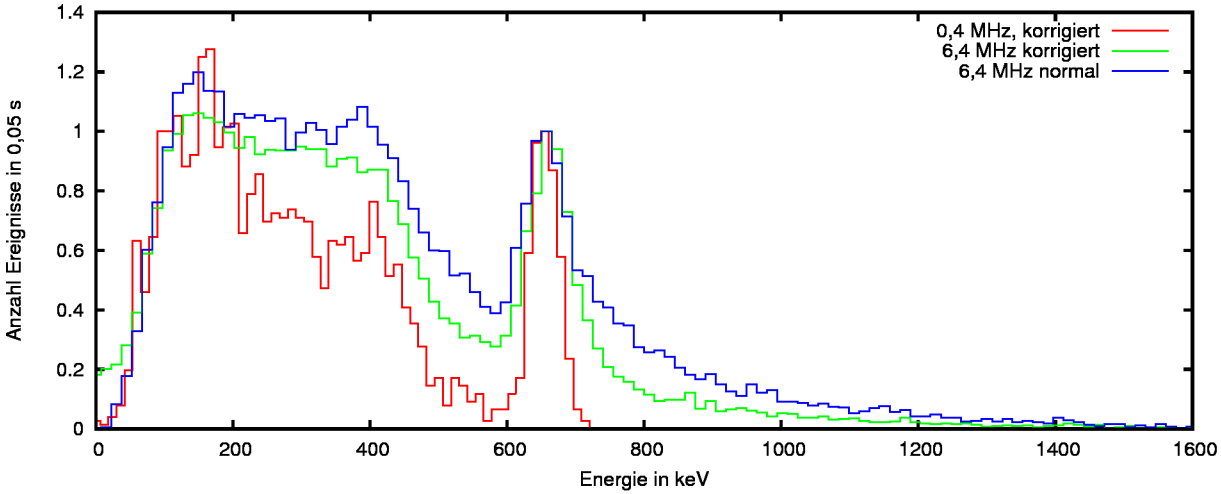
- 137Cs Quelle
  - Abstand 87 cm
  - ~0,4 MHz
  - Messzeit 0,05 s
  - 26k Counts

  - Abstand 23 cm
  - ~6,4 MHz
  - Messzeit 0,05 s
  - 321k Counts

  → bessere Effizienz

  → bessere Auflösung





SFB 634

Zusammenfassung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Methode zur digitalen Korrektur von Pile-Up-Ereignissen
  - Angewendet auf digitalisierte LaBr-Signale
  - Schneller Algorithmus basierend auf Listmode-Daten

- Erste Ergebnisse zeigen verbesserte Effizienz und Auflösung durch Rekonstruktion der Pile-Up Ereignisse

Ausblick

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Untersuchung der Methode anhand simulierter Daten
  - Optimierung des Triggers
  - Bestimmung optimaler Parameter
- Aufbau mit 3x3" LaBr-Detektor am Photonen Tagger NEPTUN
  - Aktiver Beamdump
  - Test bei hohen Zählraten/Strömen
  - Online-Bestimmung von Energie und Photonenfluss
- Implementierung des Algorithmus in ADC-Hardware (FPGA)
  - Spektren und Strahleigenschaften in Echtzeit

Ende

- Here be dragons

Simulation

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Test des Algorithmus mit simulierten Daten
- Schrittweise Annäherung der Simulation an echte Daten
  - Exponentiell abfallende Signale
  - + endliche Anstiegszeit
  - + Rauschen
  - Signale aus Photonenstatistik des Szintillators
  - + Rauschen
  - + Response des ADC
- Test des optimalen Triggers
- Test der optimalen Shaping-Time

- [Bild mit Vergleich Simulation, Daten]
- [Bild mit Vergleich Spektrum ohne und mit Korrektur]

Ziele

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Eigenschaften von Lanthanbromid

	HPGe	LaBr
Energieauflösung	< 1% bei 662 keV	~ 3-5% bei 662 keV
Ladungssammlung	~ 40 - 80 ns	Szintillator, Anstieg ~10 ns
Zeitkonstante des Signals	> 1 µs	~ 25 ns
Zählrate mit Totzeit < 1%	~ 10 kHz	~ 100 kHz

[Bild mit Vergleich HPGe und LaBr Signal]

- Falls Zählrate wichtiger als Auflösung → LaBr
  - Bei Zählraten >100 kHz Behandlung von Pile-Up nötig