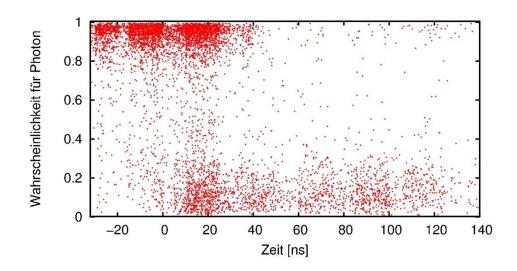
## Photonen/Neutronen-Diskriminierung mit digitaler Pulsformanalyse



Photon/Neutron discrimination with digital pulse shape analysis



Bachelor – Vortrag Bastian Löher



#### Gliederung



- Motivation und Ziele
- Einstieg in die Pulsformanalyse
- Experimenteller Aufbau
- Datenauswertung
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick



#### **Motivation**



- Warum Photonen-/Neutronen Diskriminierung?
  - Entwicklung zur Anwendung am Photonentagger NEPTUN
  - Experimentell bedingt hoher Photonenuntergrund
  - Nur Neutronenereignisse sollen detektiert werden
  - Separation anhand der Pulsform

#### **Motivation II**



- Warum digitale Pulsformanalyse?
  - Weniger Konfigurationsaufwand
  - Stabileres Trennverhalten
  - Automatische Regulierung möglich
  - Universell verwendbare Software und Algorithmen
  - Verfügbarkeit entsprechender Hardware



#### **Ziele**

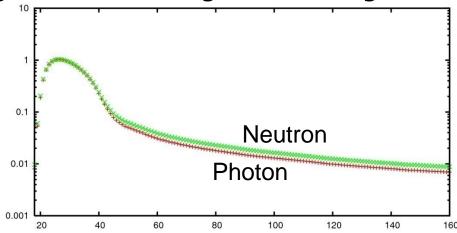


- Ziele dieser Arbeit:
  - 1. Aufnahme digitaler Signale zur Durchführung von (n,γ)-Diskriminierung unter Laborbedingungen
  - 2. Entwicklung einer PC-gestützten Offline-Analysesoftware zur Durchführung der Diskriminierung
  - 3. Untersuchung der erzielbaren Trennschärfe unter Variation verschiedener Parameter

## **Einstieg in digitale PSD Pulsformen**



- Entstehung unterschiedlicher Neutronen- und Photonensignale durch verschiedene Prozesse im Szintillator
  - Neutronen: Rückstoßprotonen
  - Photonen: Comptoneffekt
- Neutronensignal enthält langsam abklingende Komponente:







## **Einstieg in digitale PSD Ablauf**



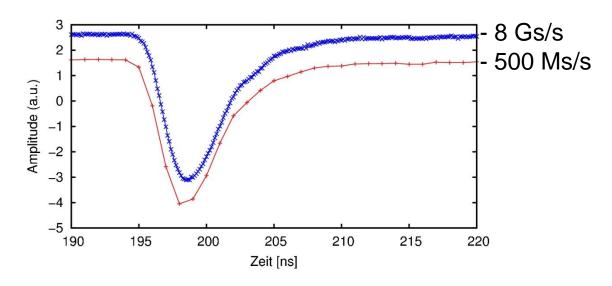
- Vier aufeinanderfolgende Schritte bis zur automatischen Diskriminierung
  - Digitalisierung der Detektorsignale mit Hilfe eines schnellen Flash-ADCs
  - Offline-Datenanalyse eines repräsentativen Datensatzes (Lerndatensatz/Training Set)
  - Bestimmung von Signalprototypen für jede Art von Signal
  - Online-Vergleich der aufgenommenen Detektorsignale mit den Prototypen



# **Einstieg in digitale PSD Aufnahme der Signale**



- Für diese Arbeit
  - Flash-ADC mit 8 Gs/s bei 10 bit Auflösung (1024 Kanäle)
- Am Experiment geplant
  - Mehrkanal-ADC mit 500 Ms/s und 12 bit Auflösung (4096 Kanäle)

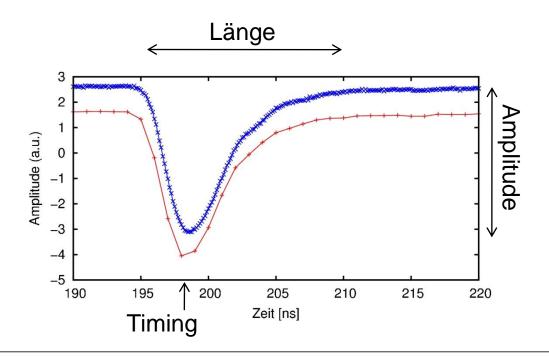




# **Einstieg in digitale PSD Offline-Signalanalyse**



- Bestimmung verschiedener Parameter der Signale
- Mehrere verschiedene Algorithmen verwendbar
- Kompromiss zwischen Genauigkeit und Geschwindigkeit

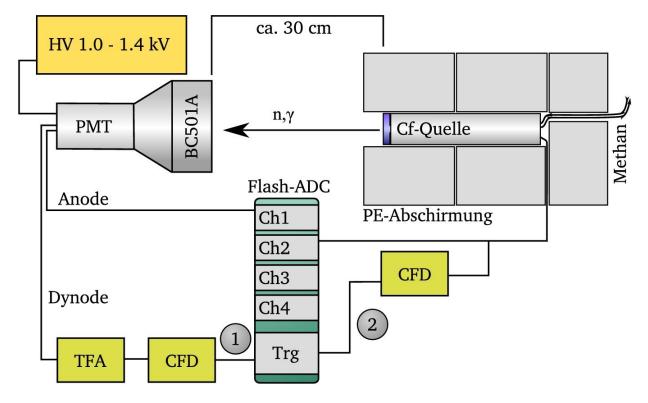




#### **Experimenteller Aufbau**



- Schematische Darstellung
  - 2 Unterschiedliche Triggermöglichkeiten 1 und 2



#### **Ziele**



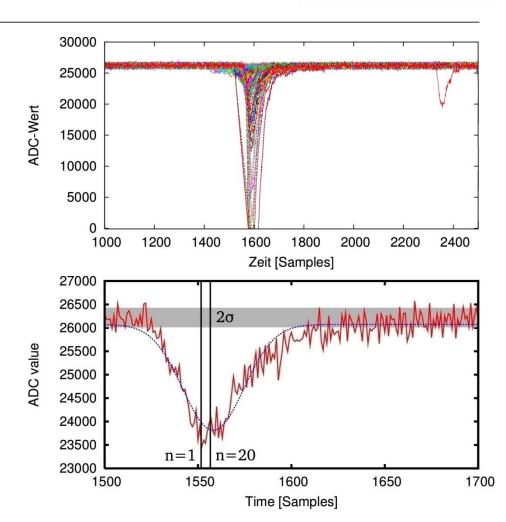
- Ziele dieser Arbeit:
  - 1. Aufnahme digitaler Signale zur Durchführung von (n,γ)-Diskriminierung unter Laborbedingungen
  - 2. Entwicklung einer PC-gestützten Offline-Analysesoftware zur Durchführung der Diskriminierung
  - 3. Untersuchung der erzielbaren Trennschärfe unter Variation verschiedener Parameter

#### **Datenauswertung**



- Rohsignale analysieren
  - Keine direkte Separation mit Rohdaten möglich
  - Aufbereitung nötig

- Grundlegende Eigenschaften der Signale bestimmen
  - Peakposition
  - Durchschnitt
  - Varianz



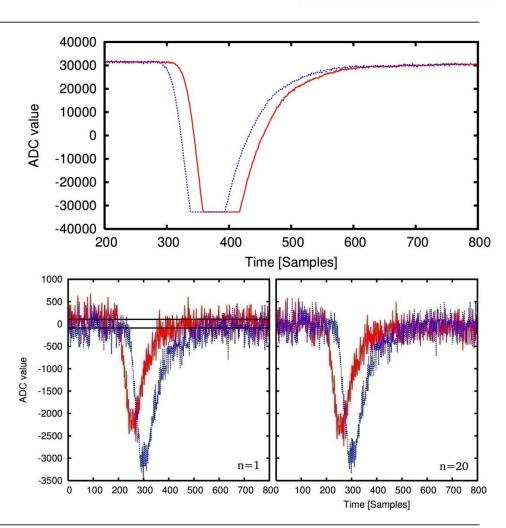


#### **Datenauswertung II**



- Clipping
  - Entfernung von Signalen außerhalb des dynamischen Umfangs

- Baseline Korrektur
  - Durchschnittswert als Näherung für Baseline
  - Baseline konstant über Länge des Signals (200 – 300 ns)



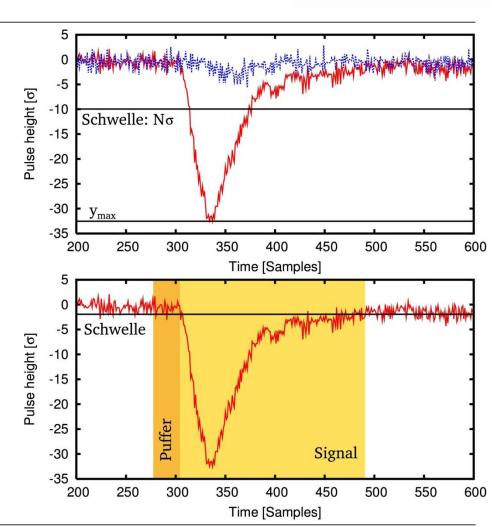


#### **Datenauswertung III**



- Statistischer Trigger
  - Triggerschwelle in Einheiten der Varianz (σ)
  - Unabhängig von Rauschpegel und Baseline

- Grenzen des Signals
  - Pufferbereich vor dem Signal
  - Bestimmung der Time over Threshold



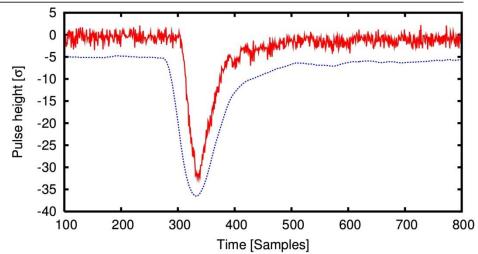


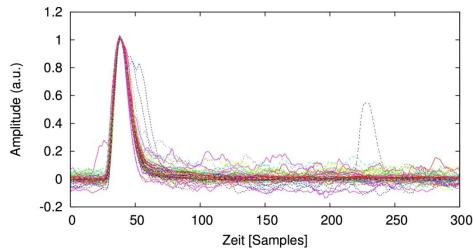
#### **Datenauswertung IV**



- Filterung
  - FIR Filter (Box oder linear)
  - Rauschunterdrückung
  - Nur langsame Komponenten wichtig

- Ausrichten der Signale
  - Peakposition
  - Anstiegsflanke
  - Trennung der Klassen möglich







## Pulsform-Diskriminierung Fuzzy C-Means Einleitung



 Nutzung des ISODATA Fuzzy C-Means Algorithmus zur Klassifizierung der Datensätze [1]

- Klassifizierungsalgorithmus der multivariaten Statistik
- Fuzzy-Logik (Unscharfe Klassifizierung erlaubt)
- Iterativ
- Selbstlernend
- Universell

[1] R. O. Duda, P. E. Hart and D. G. Stork: Pattern Classification. John Wiley and Sons Inc., 2nd Ed., New York 2001

## Pulsform-Diskriminierung Fuzzy C-Means Einleitung

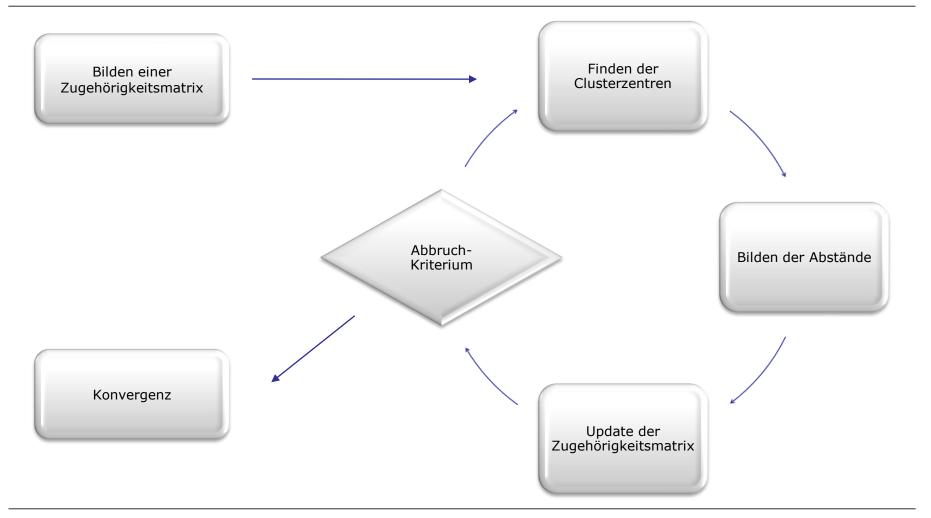


- Signale a<sub>i</sub> sind Vektoren im n-dimensionalen Phasenraum
  - Ähnliche Signale bilden ähnliche Vektoren
  - Statistische Verteilung im Phasenraum als Punktwolken
  - Unterschiedliche Pulsformen erzeugen getrennte Punktwolken
  - Mittelpunkte c<sub>j</sub> dieser Punktwolken sind gesuchte Prototypen der Signalklassen



## Pulsform-Diskriminierung Fuzzy C-Means Überblick

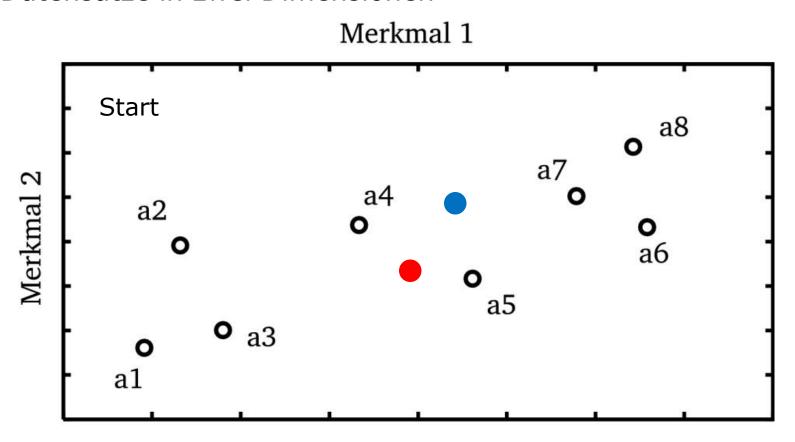




## Pulsform-Diskriminierung Fuzzy C-Means Beispiel



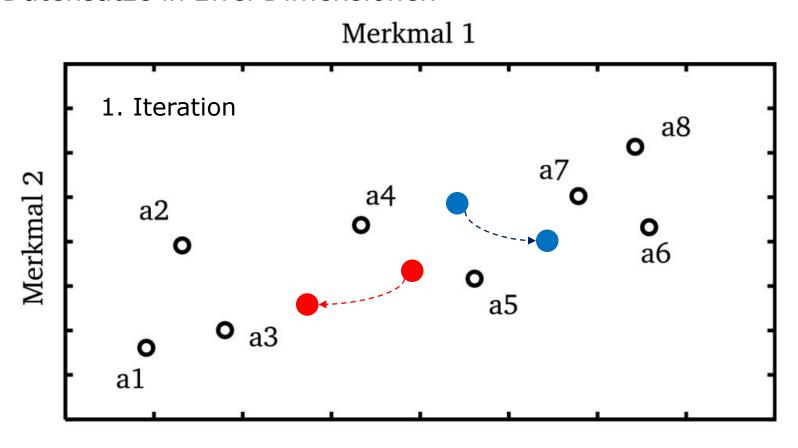
8 Datensätze in zwei Dimensionen



## Pulsform-Diskriminierung Fuzzy C-Means Beispiel



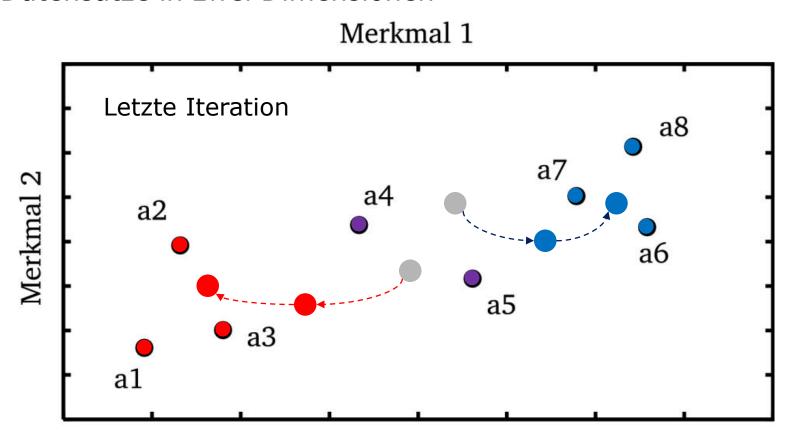
8 Datensätze in zwei Dimensionen



## Pulsform-Diskriminierung Fuzzy C-Means Beispiel



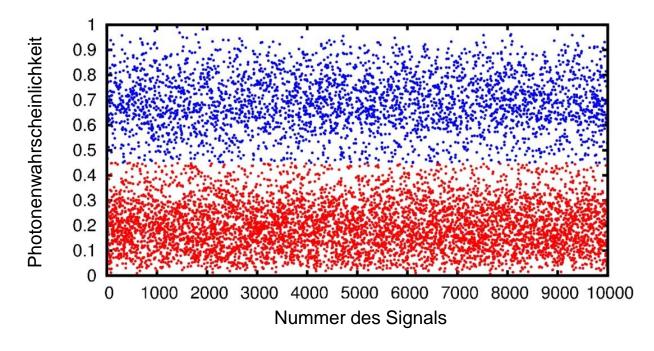
8 Datensätze in zwei Dimensionen



## Pulsform-Diskriminierung Fuzzy C-Means Ergebnis



Zugehörigkeitsmatrix nach Konvergenz



 Auftragung als Histogramm ermöglicht Aussage über Trennschärfe



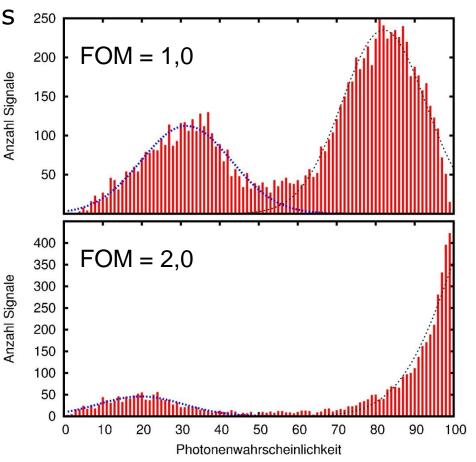
## Pulsform-Diskriminierung Figure of Merit



- Trennschärfe des Algorithmus
  - Figure of Merit (FOM) als Maß für die Trennschärfe

$$FOM = \frac{d(n, \gamma)}{\sum_{i} FWHM_{i}}$$

Übliche Werte zwischen 0,8 und 1,8

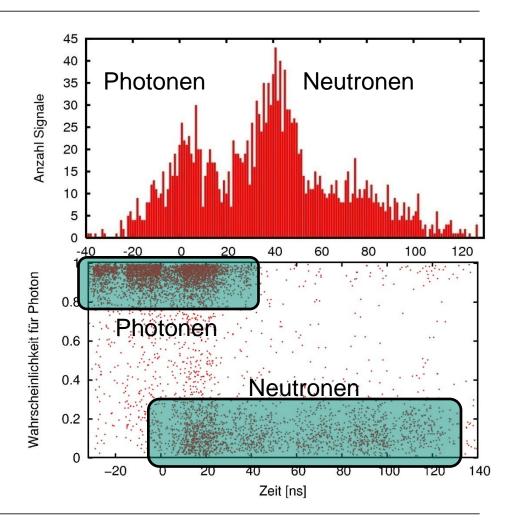


#### Pulsform-Diskriminierung Time of Flight



- Flugzeitanalyse zur Bestätigung der Trennung
  - Flugzeitdaten durch geringe Zeitauflösung nur unscharf

- Kombinierte Flugzeitanalyse und FCM-Klassifizierung
  - Trennung ist in beiden Dimensionen sichtbar





#### **Ziele**



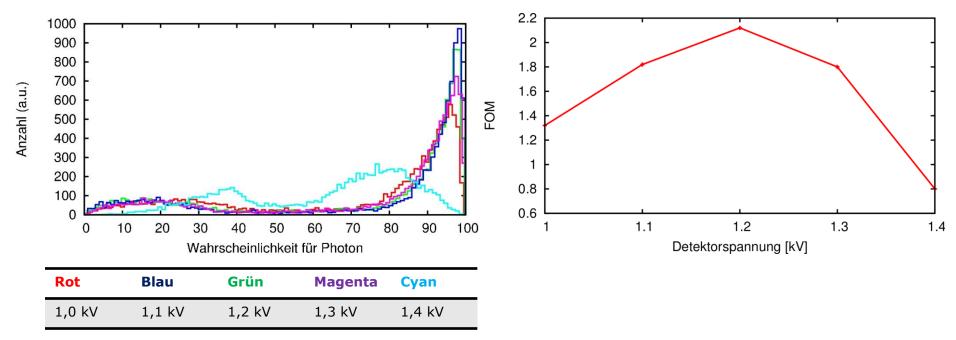
#### Ziele dieser Arbeit:

- 1. Aufnahme digitaler Signale zur Durchführung von (n,γ)-Diskriminierung unter Laborbedingungen
- Entwicklung einer PC-gestützten Offline-Analysesoftware zur Durchführung der Diskriminierung
- 3. Untersuchung der erzielbaren Trennschärfe unter Variation verschiedener Parameter

#### Ergebnisse Hochspannung



Variation der Hochspannung am Detektor zwischen 1 und 1,4 kV



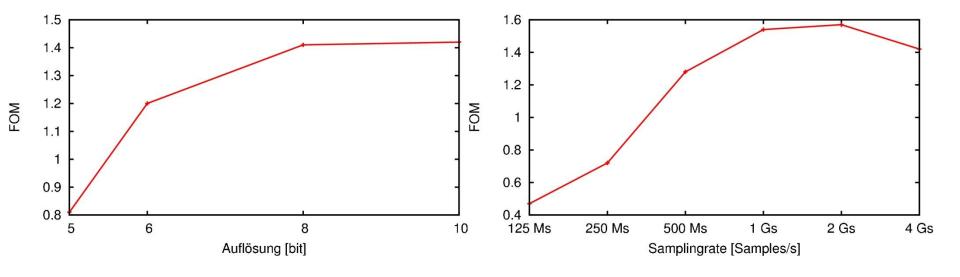
- FOM bildet Plateau zwischen 1,1 und 1,3 kV Hochspannung
- Angegebene Detektorspannung liegt bei 1,3 kV



# **Ergebnisse Bit- und Samplingraten**



 Variation der Bitanzahl zwischen 4 und 10 bit und der Samplingraten zwischen 75 Ms/s und 4 Gs/s



- Sättigung: mehr als 8 bit oder mehr als 500 Ms/s
- Bitanzahlen kleiner als 5 bit und Samplingraten kleiner als 125 Ms/s nicht auswertbar



#### Zusammenfassung



- Digitale Pulsformdiskriminierung mit Neutronendetektoren erfolgreich durchgeführt
- Zweckgebundene Software basierend auf universellen Methoden entwickelt
- Figure of Merit unter Variation verschiedener Parameter untersucht
  - Flash-ADC mit 500 Ms/s bei 10 bit Auflösung zur Diskriminierung von Photonen gegenüber Neutronen geeignet
- FCM-Methode durch Time of Flight Auswertung bestätigt



#### **Ausblick**

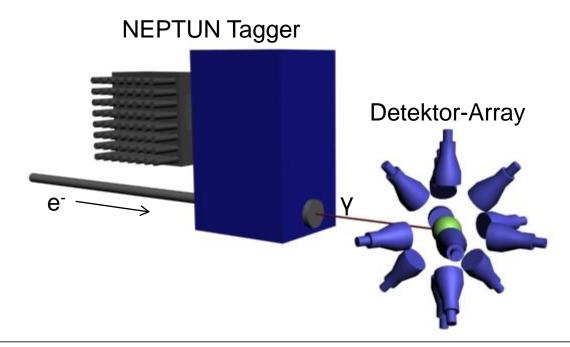


- Neutroneneffizienz und Mindestenergie
  - Bessere Flugzeitmessungen werden Bestimmung ermöglichen
- Anwendung an NEPTUN

### Ausblick Aufbau am Photonentagger



- Masterarbeit von V. Simon
  - Neutronendetektor-Array in  $4\pi$  Geometrie
  - Mischung von BC501A und BC523A Detektoren
  - Mischung unterschiedlicher ADCs





#### **Ausblick**



- Neutroneneffizienz und Mindestenergie
  - Bessere Flugzeitmessungen werden Bestimmung ermöglichen
- Anwendung an NEPTUN
  - Implementierung einer Datenaufnahmesoftware für digitale ADCs in der Entwicklung
  - Zunächst Archivierung der vollen Signalspuren und anschließende Offline-Analyse
  - Mittelfristig Online-Signalanalyse in Hardware, Kollaboration mit M.Vencelj und M.Miklavec (Institut Jožef Stefan, Slovenien)
- Untersuchung der Eignung weiterer Detektortypen zur Pulsformdiskriminierung (ZnS, Li-Glass)



#### **Ende**



#### Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## Pulsform-Diskriminierung Fuzzy C-Means Algorithmus



- Zugehörigkeitsmatrix U:
  - Zugehörigkeit des i-ten Datensatzes zur j-ten Klasse
  - zu Beginn mit Zufallswerten gefüllt

$$U = \begin{pmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1c} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1} & \cdots & u_{nc} \end{pmatrix}$$

- Ziel
  - Möglichst gute Approximation der Klassenmittelpunkte finden

## Pulsform-Diskriminierung Fuzzy C-Means Algorithmus II



- Minimierungsproblem:
  - Gewichteter quadratischer Abstand jedes Signals zu jedem Klassenmittelpunkt c<sub>i</sub> soll minimiert werden:

$$J = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{c} u_{ij}^{m} d(i, j)^{2}$$

Nebenbedingung

$$\sum_{i=1}^{c} u_{ij} - 1 = 0 \quad \forall i$$

- Ansatz: Lagrange'sches Lösungsverfahren
  - Variationsproblem unter n Nebenbedingungen

$$L = J - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_i = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{c} u_{ij}^{m} d(i, j)^2 - \lambda_i \left( \sum_{j=1}^{c} u_{ij} - 1 \right)$$



## Pulsform-Diskriminierung Fuzzy C-Means Algorithmus III



- Gradient von L muss verschwinden
  - Lösungen des Problems stellen Iterationsschritte dar
  - Klassenmittelpunkte c<sub>i</sub>
  - Zugehörigkeitswerte uii

$$c_{j} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_{i} u_{ij}^{m}}{\sum_{i=1}^{n} u_{ij}^{m}}$$

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{c} \left(\frac{d(i,j)}{d(i,k)}\right)^{\frac{2}{m-1}}}$$

- c<sub>i</sub> werden den Mittelpunkten iterativ angenähert
- Abbruchkriterium beim r-ten Iterationsschritt:

$$||U(r-1)-U(r)|| < \varepsilon$$

Die u<sub>ij</sub> enthalten zum Schluss die Zugehörigkeitswerte

