

# **Diskriminierung von NC $\pi^0$ Ereignissen im Flüssigszintillatordetektor LENA**

---

**Sebastian Lorenz**

**Universität Hamburg  
Institut für Experimentalphysik**



**Universität Hamburg**  
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

**DPG-Vortrag  
Göttingen, 2. März 2012**

# Inhaltsübersicht

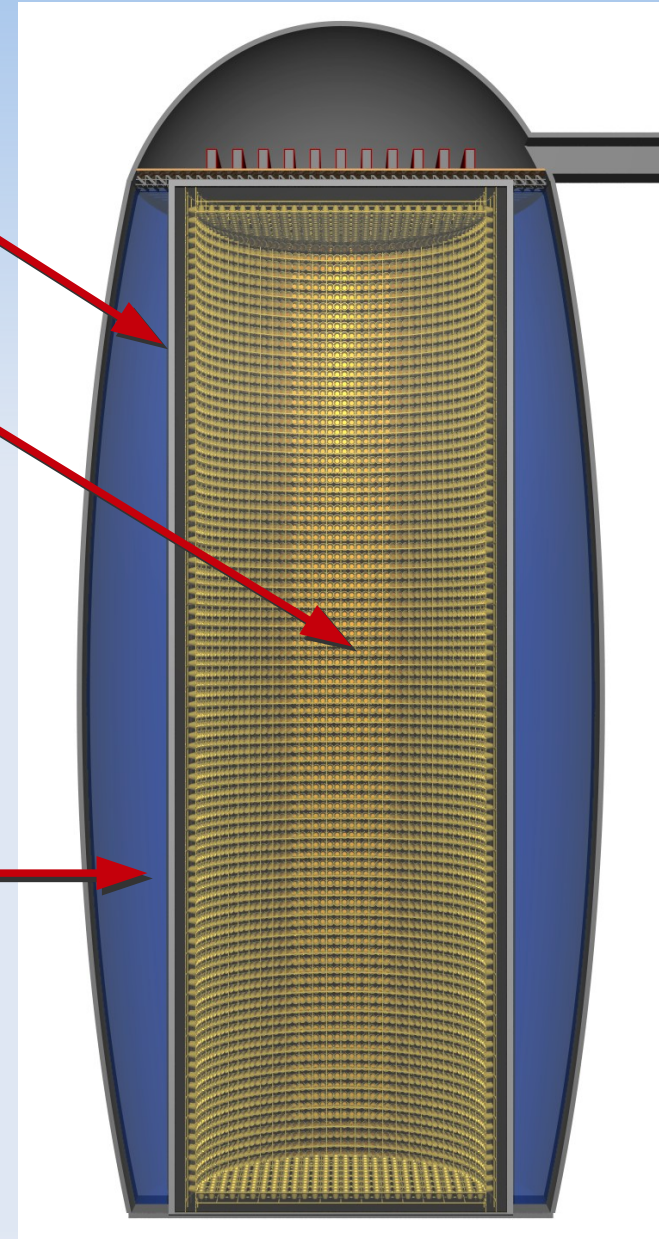
- LENA-Detektor
- $\pi^0$ -Untergrund für Suche nach  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$  Oszillation
- Multivariate Analyse mit Boosted Decision Trees zur  $\pi^0$ -Diskriminierung
- Erste Ergebnisse

# LENA-Detektor

- **LENA: Low Energy Neutrino Astronomy**
- 50 kt Flüssigszintillatordetektor
- eine Detektor-Option in der europäischen Designstudie LAGUNA-LBNO
- Forschungsprogramm:
  - Niederenergie-Neutrinos
  - Protonzerfall
  - Long-Baseline Oszillationsexperiment (Neutrinostrahl)
- möglicher Standort: Pyhäsalmi-Mine (Finnland)
  - Abschirmung vor kosmischer Strahlung: 4000 mwe

# LENA-Detektor

- zylindrischer Betontank  
[ $h_{\text{innen}} = 100 \text{ m}$ ,  $r_{\text{innen}} = 16 \text{ m}$ ]
- aktive Targetmasse: 50 kt
- Licht-Detektion durch PMTs mit  
Winston-Cones  
[30% optische Abdeckung]
  - **29,6k 12" PMTs**
- äußeres Wasservolumen als  
Myon-Veto und Abschirmung  
gegen Strahlung



# LBNO mit LENA

- Baseline CERN - Pyhäsalmi

**Distanz:** ~2300 km

**1. Oszillationsmaximum:** ~4,5 GeV

gut geeignet für Messungen bzgl.  $\Theta_{13}$ ,  $\delta_{CP}$  und  
Massenhierarchie durch  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$  Oszillation

- Sensitivität bzgl. der Mischungsparameter auch von  
Detektor-Performance abhängig

# LBNO mit LENA

- Baseline CERN - Pyhäsalmi  
**Distanz:** ~2300 km  
**1. Oszillationsmaximum:** ~4,5 GeV  
gut geeignet für Messungen bzgl.  $\Theta_{13}$ ,  $\delta_{CP}$  und  
Massenhierarchie durch  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$  Oszillation
- Sensitivität bzgl. der Mischungsparameter auch von  
Detektor-Performance abhängig

Flüssigszintillatordetektoren wurde Fähigkeit  
abgesprochen geladene Teilchen auf Grundlage von  
isotropem Szintillationslicht zu tracken / identifizieren

→ **sie wurden noch nie als dedizierte  
Ferndetektoren in LBNO-Experimenten  
verwendet**

# Ereignisrekonstruktion in Flüssigszintillator

- Licht wird im Szintillator isotrop emittiert
- bei längeren Teilchentracks ist die Lichtemission ausgedehnt
- Ankunftszeiten der ersten Photonen bietet Möglichkeiten zur Ereignisrekonstruktion

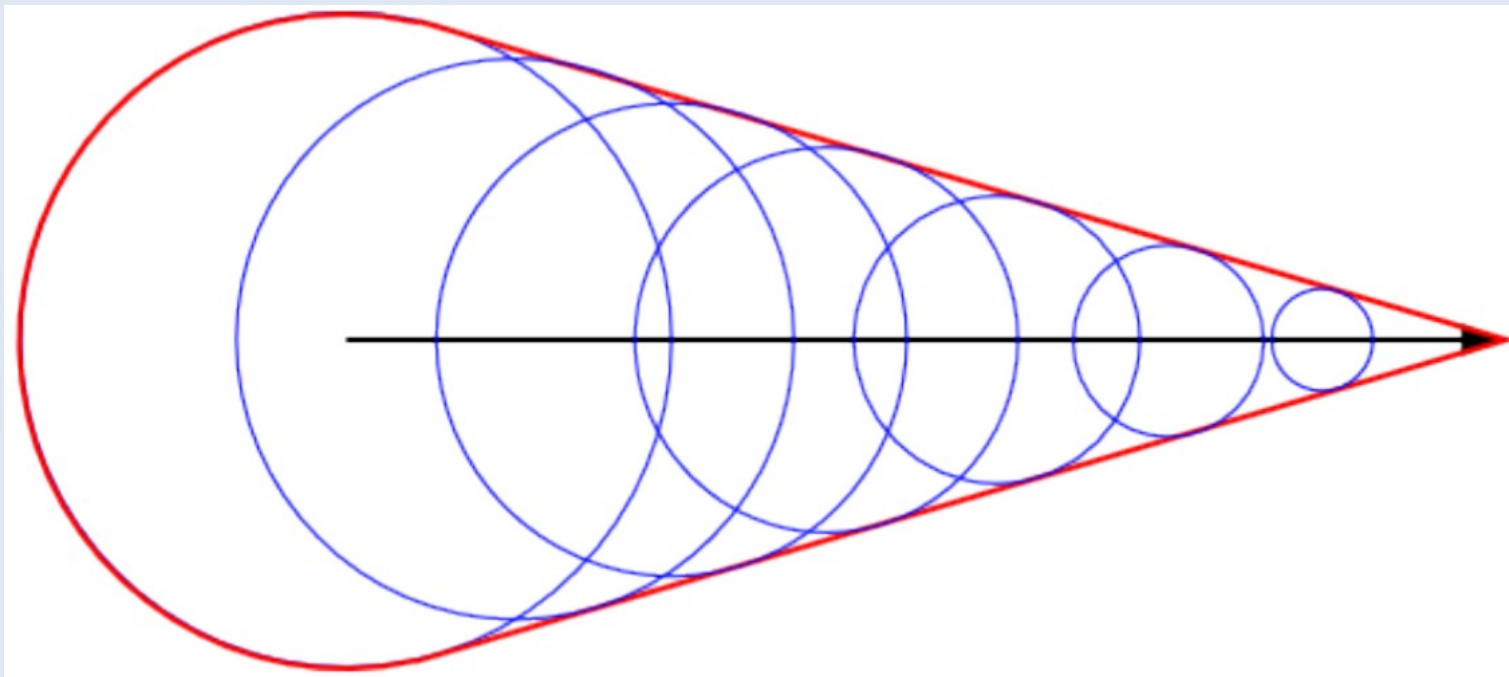


Abbildung von D. Hellgartner

# $\pi^0$ -Untergrund

- $\pi^0$ S
  - entstehen u.a. durch NC Neutrino-Interaktionen mit einem Nukleon (resonant) oder einem ganzen Kern (kohärent)
  - zerfallen nach  $\tau_\pi \approx 8 \cdot 10^{-17}$  s bevorzugt in  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$  (98,8% BR)
- stark asymmetrische Energieverteilung oder kleine Zwischenwinkel bei den  $\gamma$ s durch relativistischen Boost möglich
- „EM-Schauer“ von  $e^-$  und  $\gamma$  schwer zu unterscheiden!



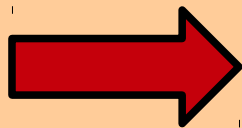
# $\pi^0$ -Untergrund

- $\pi^0$ S

- ent... mit
- e... n
- z... (I
- z... n
- $\pi$

**Wenn die beiden  $\gamma$ s nicht einzeln identifiziert werden, ist das Ereignis nicht von einem CC-QEL  $\nu_e$ -Ereignis zu unterscheiden!**

- star... ost
- Zwis... ost
- mög... ost



**Untergrund für Suche nach  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$  Oszillation**

- „EM-S... ost

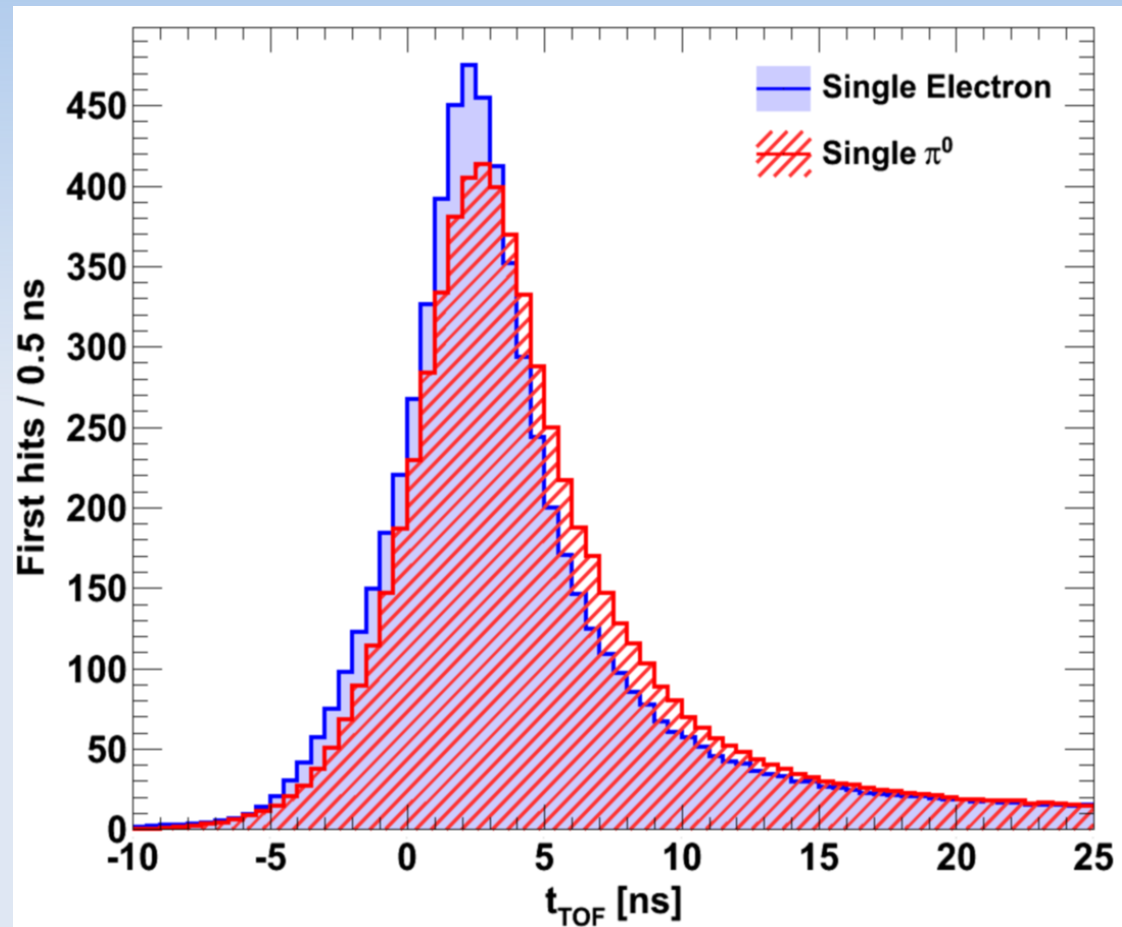
# $\pi^0$ -Diskriminierung

- Multivariate Analyse (MVA) mit **Boosted Decision Trees** (BDTs) zur Klassifizierung der Ereignisse als  $e^-$  (Signal) oder  $\pi^0$  (Untergrund)
  - 1) Konstruktion von Ereignis-Variablen auf Grundlage der Verteilung der Ladung über die PMTs / TOF-korrigierten Ankunftszeiten der ersten Photonen

# $\pi^0$ -Diskriminierung

- Multivariate Analyse (MVA) mit **Boosted Decision Trees** (BDTs) zur Klassifizierung der Ereignisse als  $e^-$  (Signal) oder  $\pi^0$  (Untergrund)
  - 1) Konstruktion von Ereignis-Variablen auf Grundlage der Verteilung der Ladung über die PMTs / TOF-korrigierten Ankunftszeiten der ersten Photonen
  - 2) Training & Test eines Klassifikators mit MC-Daten
    - GEANT4 Detektorsimulation
    - $\sim 210\text{k } e^-$  &  $\sim 210\text{k } \pi^0$  im Zentrum des Detektors mit horizontalem Impuls direkt simuliert
    - flaches Spektrum der deponierten Energie  
 $E_{\text{dep}} \in [135 \text{ MeV}, 1000 \text{ MeV}]$

# Ereignis-Variablen für MVA



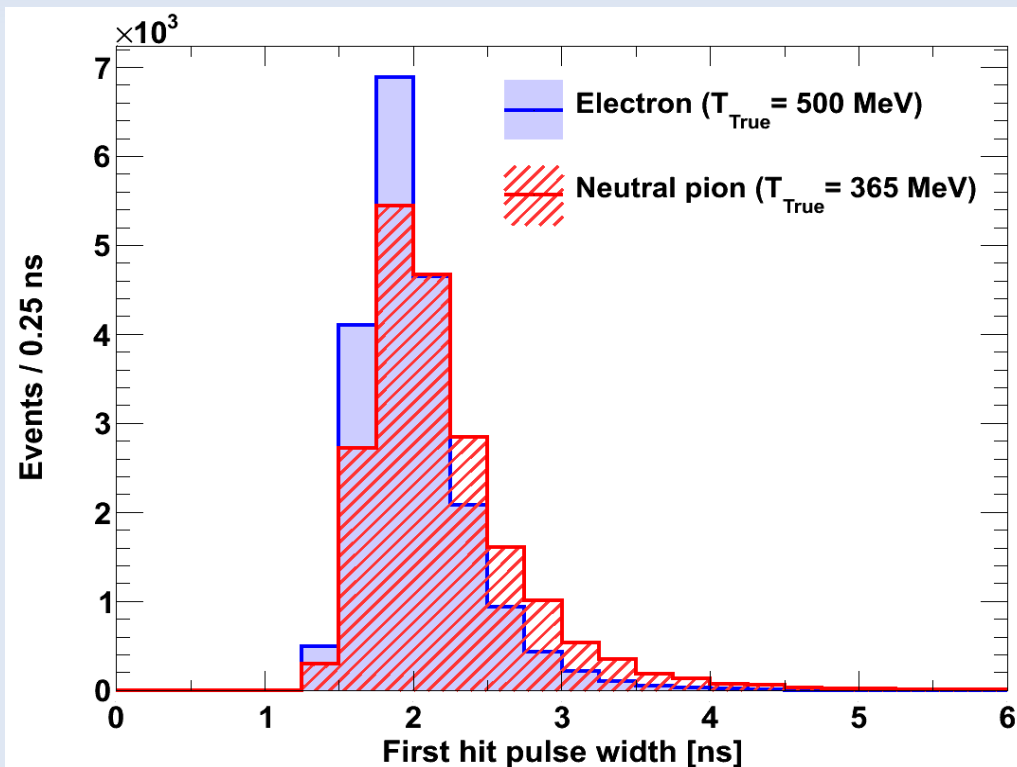
- Insgesamt 9 Ereignis-Variablen, u.a.
  - rekonstruierte Energie
  - 5 Variablen aus TOF-korrigierter Pulsform der ersten Photonen an den PMTs

Mittlere TOF-korrigierte Pulsformen von 100  $\pi^0$  &  $e^-$  Ereignissen mit 500 MeV deponierter Energie

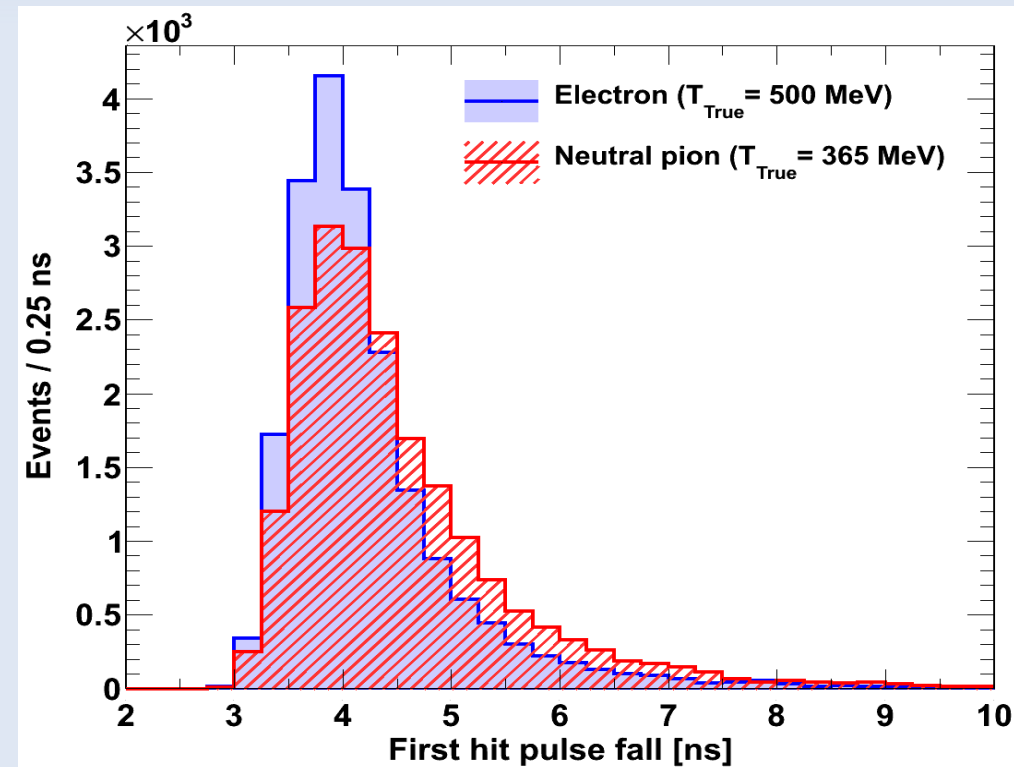
# Ereignis-Variablen für MVA

- Verteilung der Pulsbreite und der Pulsabfallszeit für 20k  $e^-$  & und 20k  $\pi^0$  mit 500 MeV deponierter Energie

Pulsbreite @ 80% Level



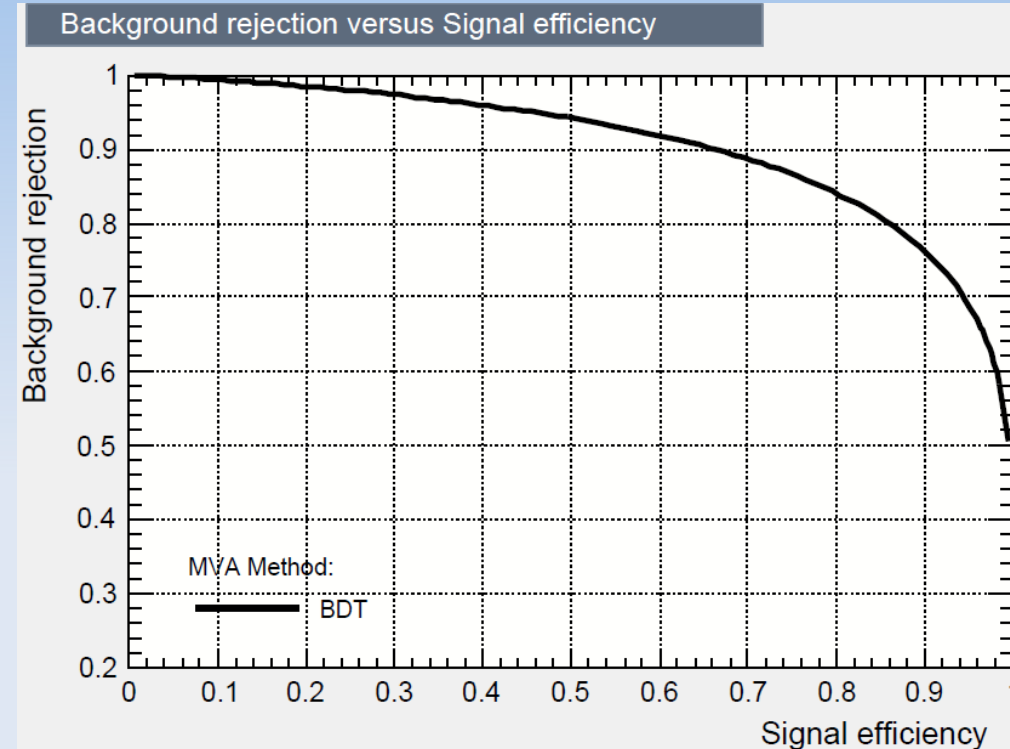
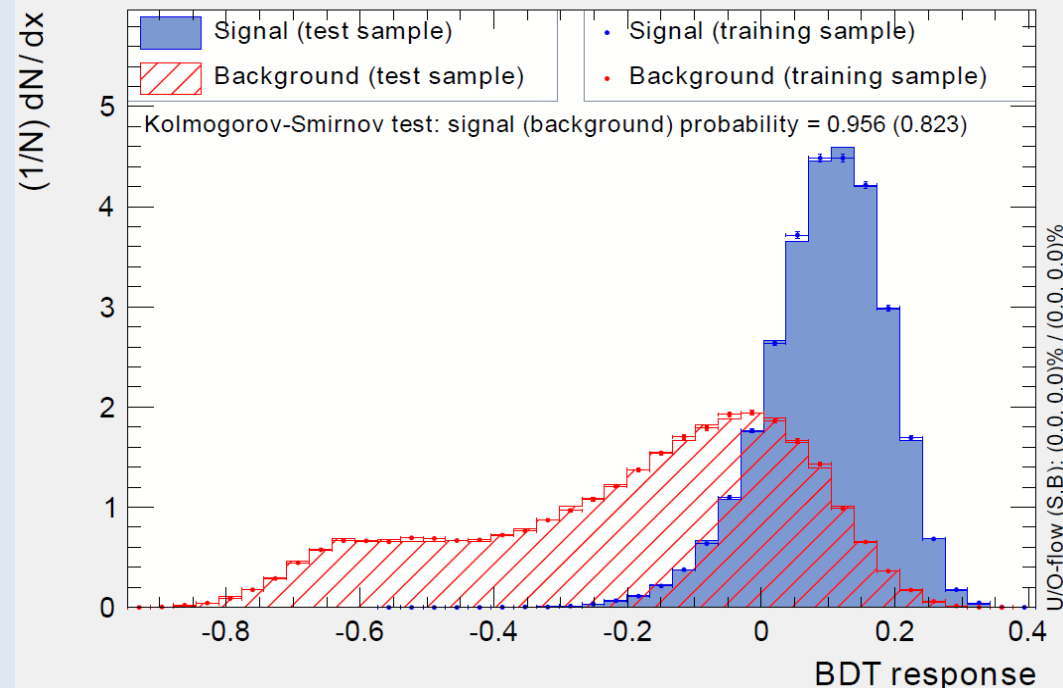
Pulsabfallszeit 90%  $\rightarrow$  20% Level



# MVA mit Boosted Decision Trees

- Klassifikatoren mit 25, 100 oder 400 BDTs der max. Tiefe 2 oder 3
- 50% der MC-Ereignisse jeweils zum Training und Testen der Klassifikatoren zufällig ausgewählt

TMVA overtraining check for classifier: BDT



Plots mit Hilfe vom TMVA-Toolkit erstellt  
[physics/0703039]

Generelle Gefahr:  
„Übertraining“!

# MVA mit Boosted Decision Trees

	Signal-Effizienz					
	30% Untergrund		10% Untergrund		1% Untergrund	
	(Test)	(Training)	(Test)	(Training)	(Test)	(Training)
Trees: 25 Tiefe : 2	85,5% +/- 1,1%	85,6% +/- 1,0%	49,6% +/- 1,2%	50,0% +/- 1,3%	8,8% +/- 1,0%	8,8% +/- 1,0%
Trees: 25 Tiefe : 3	87,9% +/- 0,9%	87,8% +/- 0,8%	53,5% +/- 1,3%	53,7% +/- 1,5%	10,2% +/- 0,9%	10,2% +/- 0,9%
Trees: 400 Tiefe : 2	91,9% +/- 0,5%	92,0% +/- 0,5%	59,3% +/- 1,0%	59,6% +/- 1,1%	11,3% +/- 0,5%	11,6% +/- 0,7%
Trees: 400 Tiefe : 3	94,1% +/- 0,2%	94,3% +/- 0,3%	65,3% +/- 0,4%	65,8% +/- 0,6%	14,2% +/- 0,6%	15,2% +/- 0,3%

- Erstes Ergebnis (400 Trees der Tiefe 2):

**(91,9 +/- 0,5)%** Sig.-Eff. @ 30% Untergrund

**(59,3 +/- 1,0)%** Sig.-Eff. @ 10% Untergrund

**(11,3 +/- 0,5)%** Sig.-Eff. @ 1% Untergrund

# Zusammenfassung & Ausblick

- LENA: 50 kt Flüssigszintillatordetektor
- LBNO-Experiment zur Suche nach  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$  Oszillation
  - Unterscheidung von  $\pi^0$  und  $e^-$  notwendig
- $\pi^0$ -Diskriminierung: erste Ergebnisse aus multivariater Analyse mit Boosted Decision Trees für vereinfachte MC-Ereignisse bis 1 GeV
- Zukunft: realistischere Analyse-Bedingungen (Neutrino-Vertex, höhere Energien, ...) & Optimierung der Boosted Decision Trees



**Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit!**

# **Backup Folien**

# TOF-Korrektur

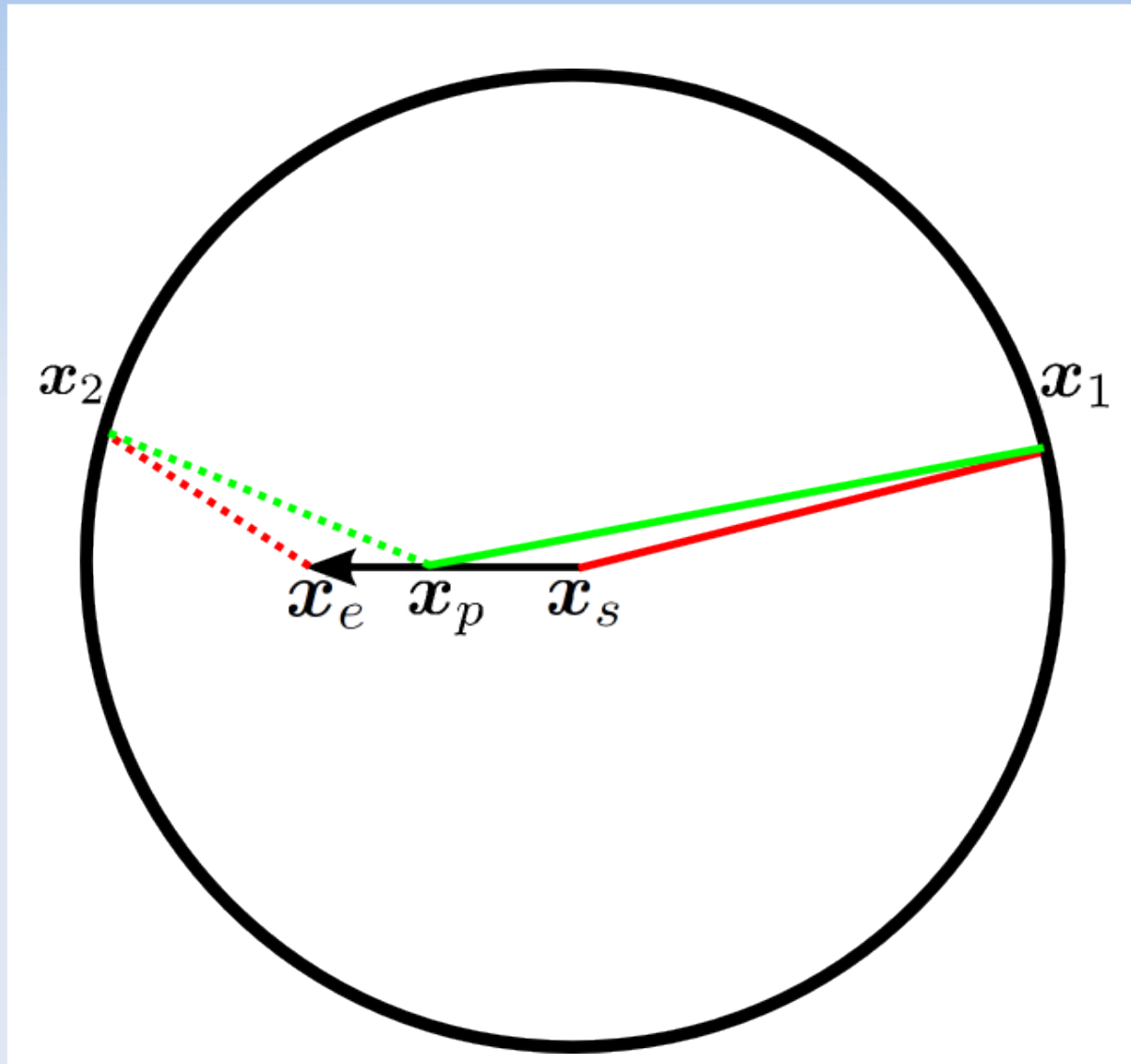


Abbildung von D. Hellgartner

# Boosted Decision Trees

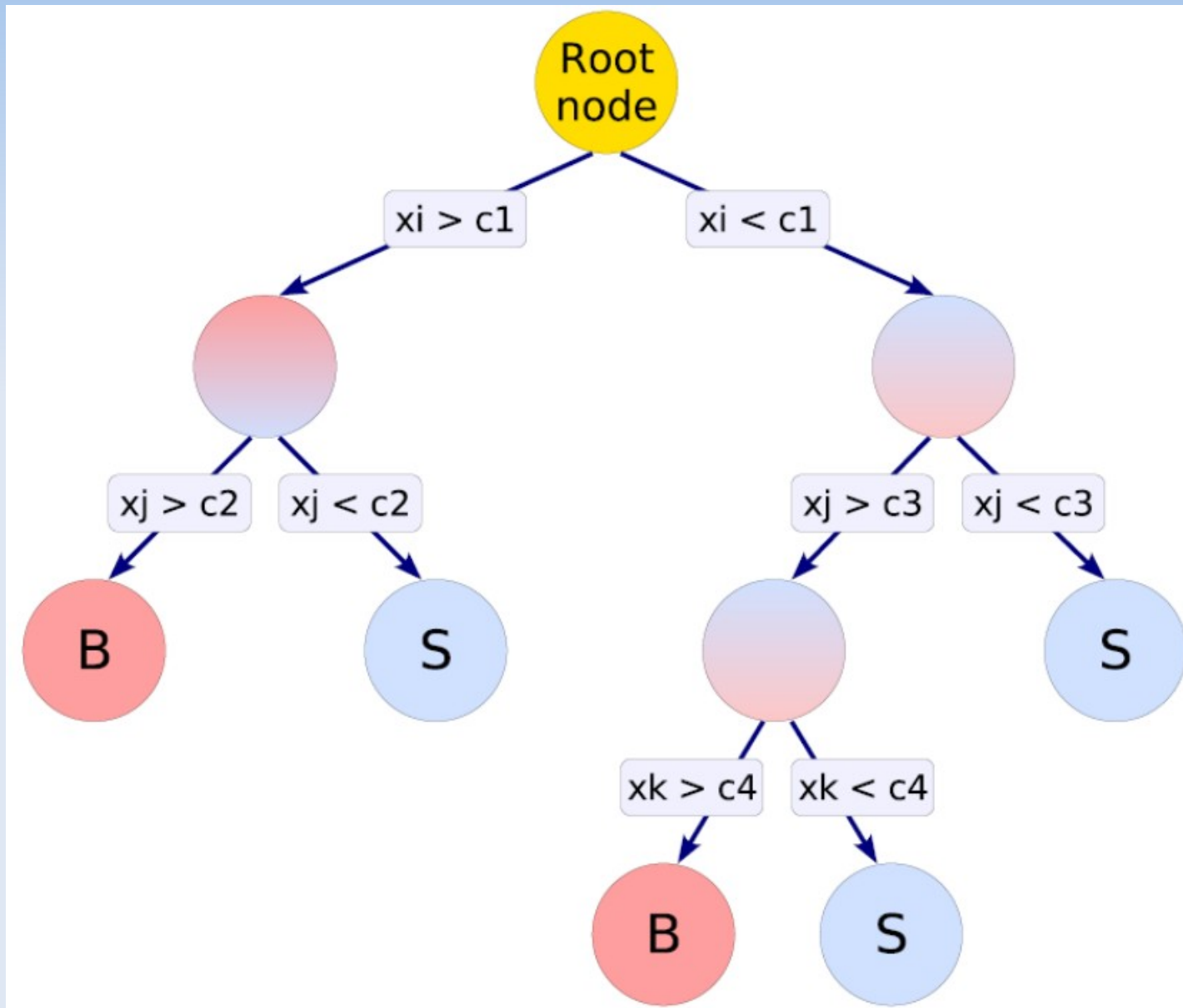


Abbildung aus [physics/0703039]