

# Kalibration der Kalorimeter des Neutrino-Detektors OPERA



**bmb+f** - Förderschwerpunkt

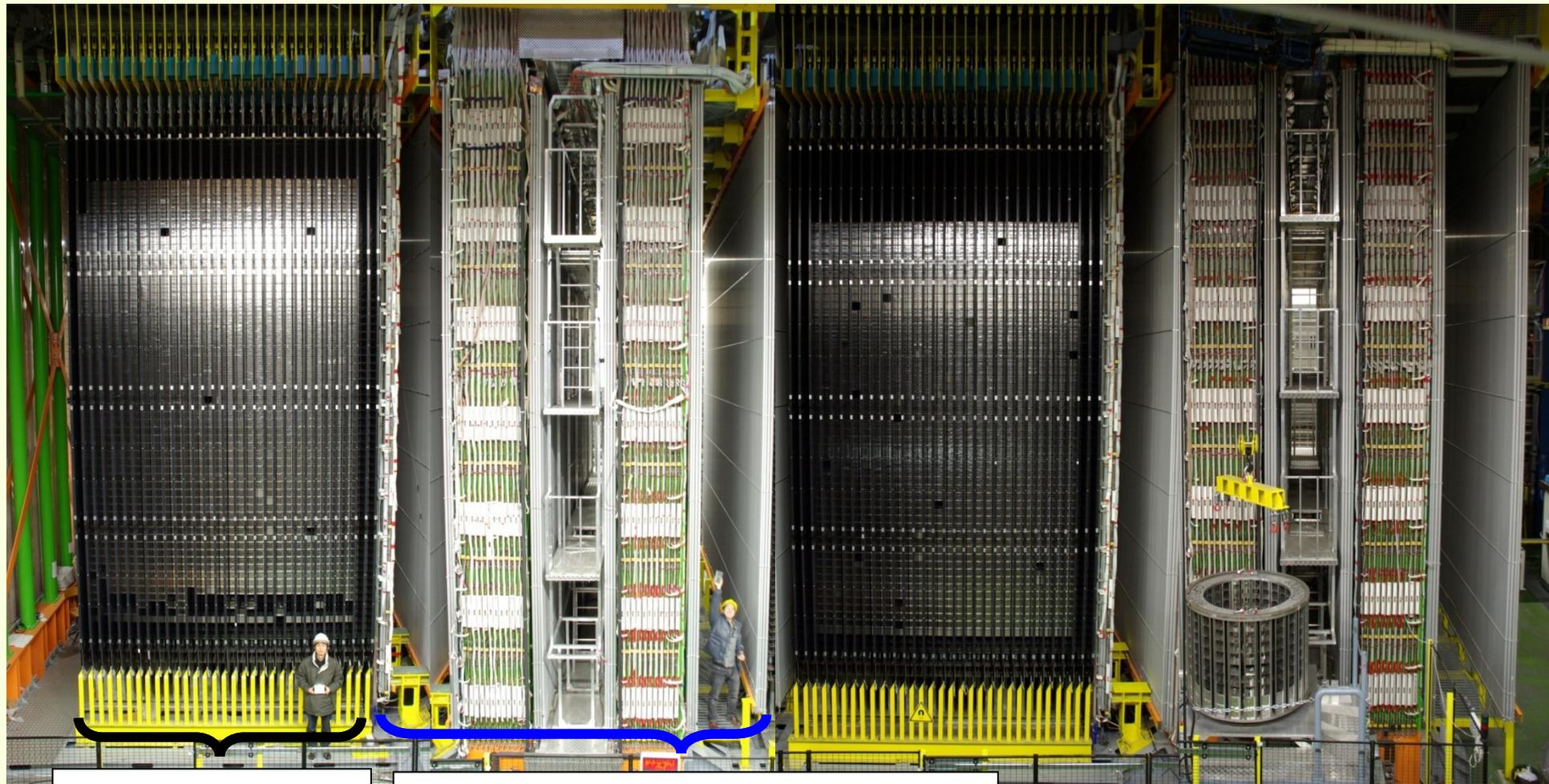
**OPERA**

Großgeräte der physikalischen  
Grundlagenforschung

**Belina von Krosigk**  
**Institut für Experimentalphysik**  
**Universität Hamburg**

SM1

SM2

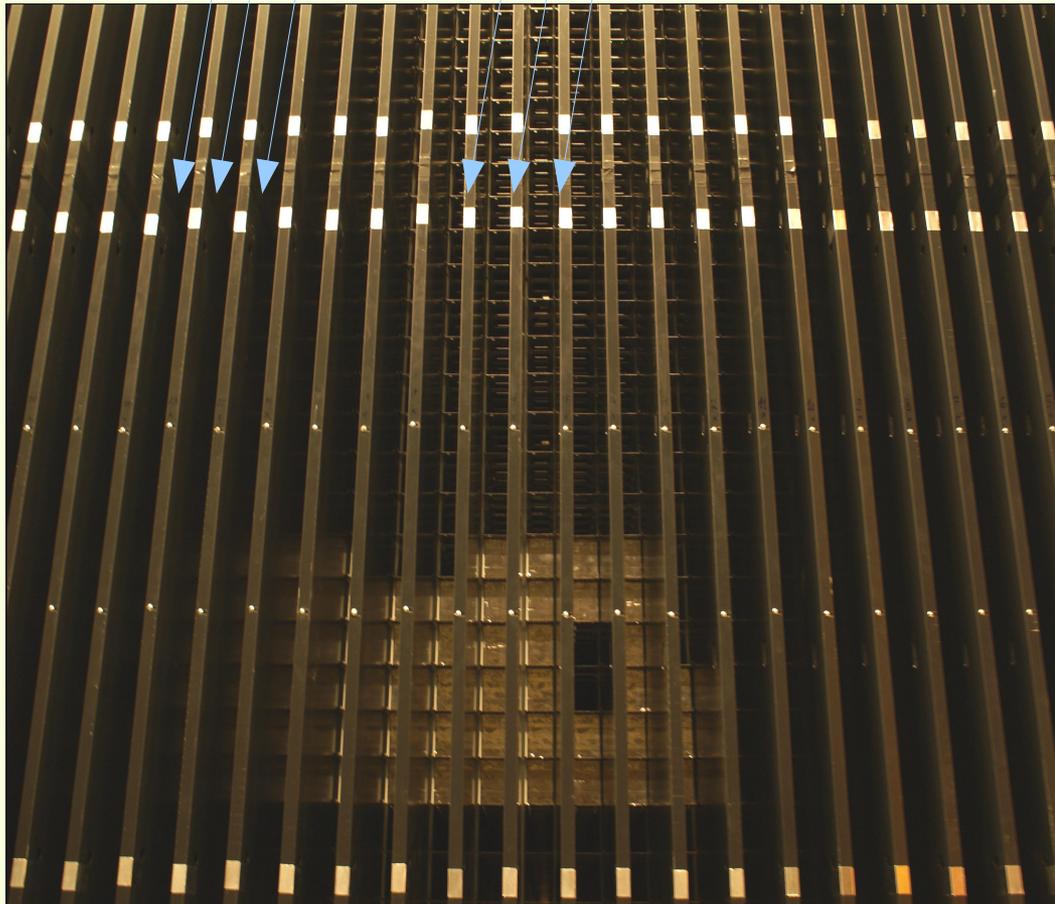


Target (Bricks)  
+ Target Tracker

Myonspektrometer:  
Magnet, RPCs, Precision Tracker

Target

Target Tracker



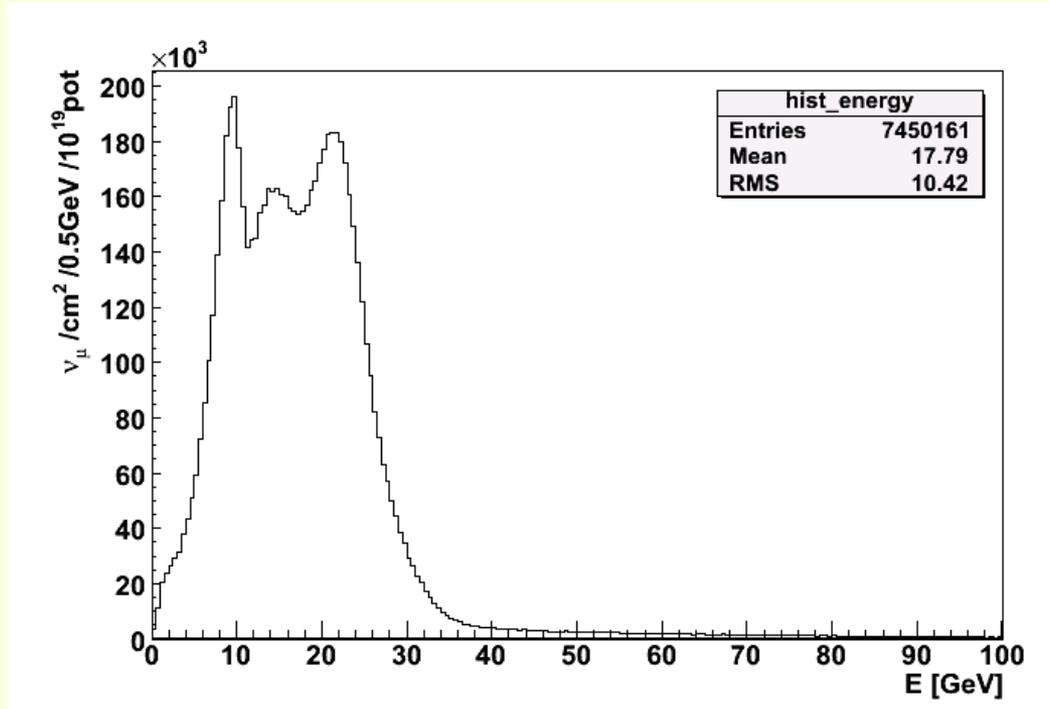
## Target

- 31 Wände à  $\sim 7,5$  cm
- Material:  $\sim 76,4\%$  Pb  
 $\sim 7,1\%$  AgBr  
 $\sim 16,5\%$  Kunststoff

## Target Tracker

- 31 Wände à  $\sim 2,8$  cm
- Plastikszintillatoren à 1,0 cm

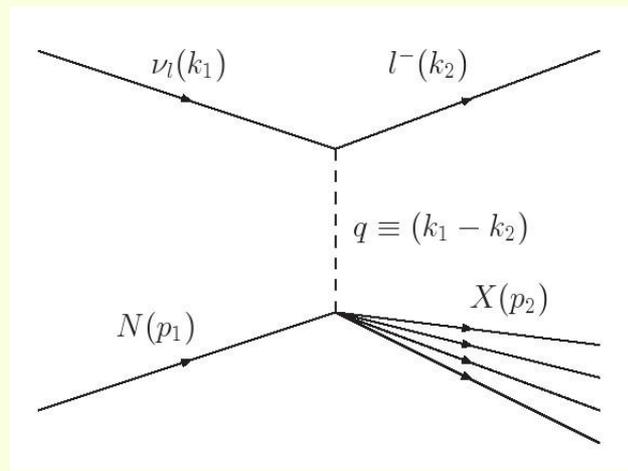
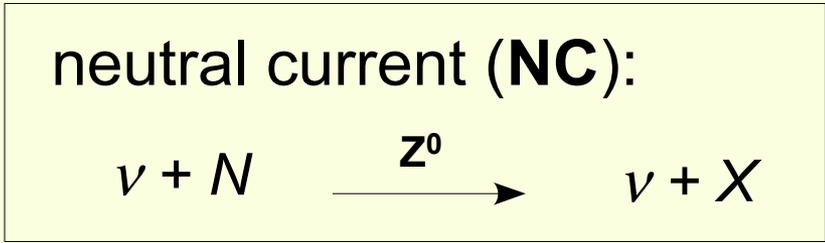
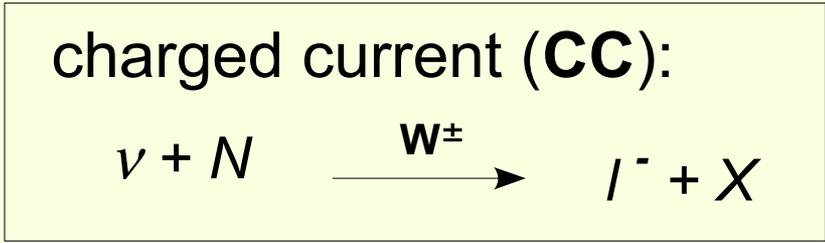
## CERN Neutrinos to Gran Sasso



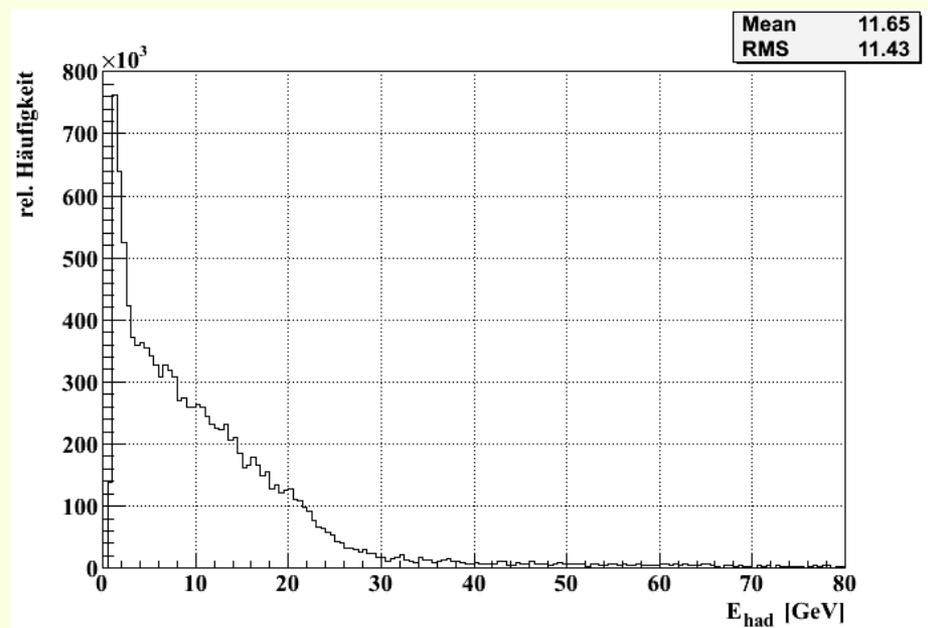
FLUKA 2005

- Bekannt: Neutrino-Energiespektrum mit  $\langle E \rangle \approx 18$  GeV
- Unbekannt: Neutrino-Energie je Ereignis

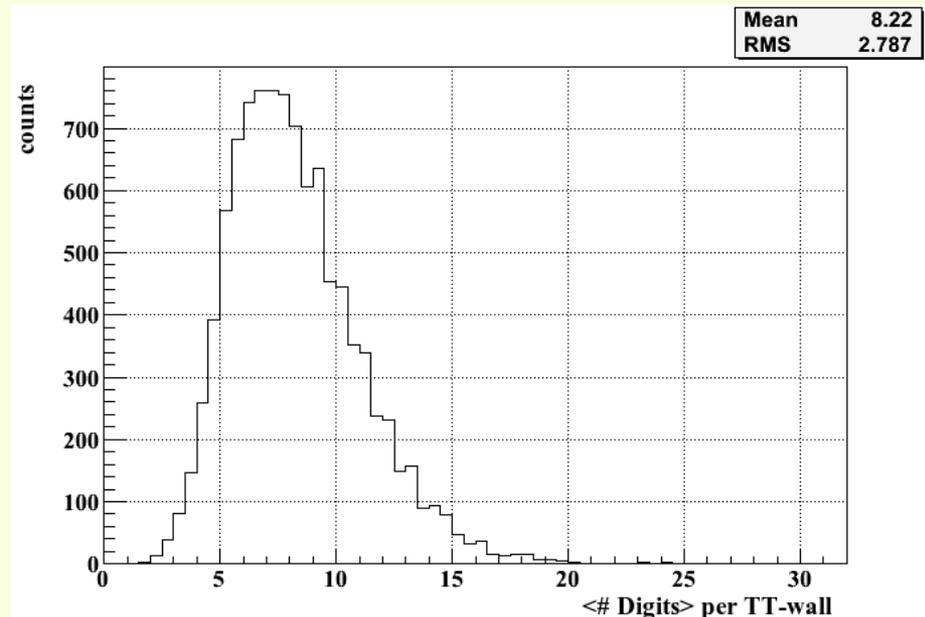
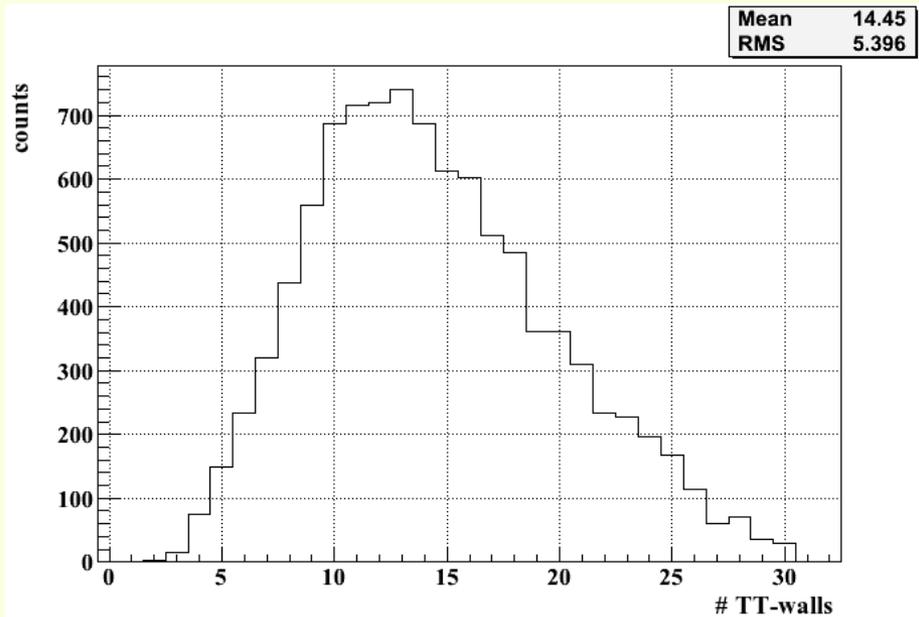
- **~92,5%** aller Streuereignisse im Blei-Target sind **tiefinelastisch** (DIS).
- In DIS Ereignissen entsteht neben dem auslaufenden Lepton ein **System von Hadronen**.
- Die primären Hadronen lösen einen **hadronischen Schauer** aus, wenn die primäre hadronische Energie  $E_{\text{had}}$  mind. wenige GeV beträgt.



- $E_{had}$  wird in MC Ereignissen durch Abziehen der Lepton-Energie von der Anfangsenergie bestimmt.
- MC Studien ergeben  $\langle E_{had} \rangle \approx 12 \text{ GeV}$ .
- Daten 2008 (2009): In  $\sim 96,34\%$  ( $\sim 97,82\%$ ) von DIS Ereignissen kann ein hadronischer Schauer beobachtet werden.



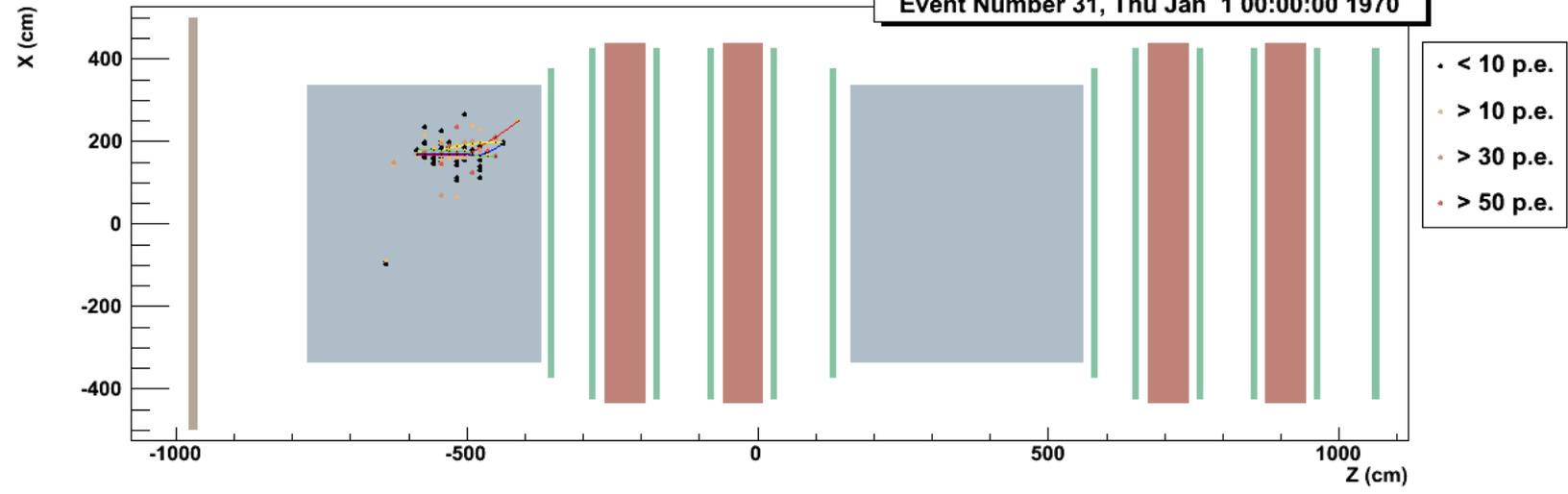
- Schauer mit  $\sim 12$  GeV Primärenergie durchdringen  $\sim 14$  TT-Wände mit durchschnittlich **8 Digits pro Wand** (ohne Leakage).
- Abweichungen trotz fester Primärenergie sind auf die Komplexität hadronischer Schauer zurückzuführen.



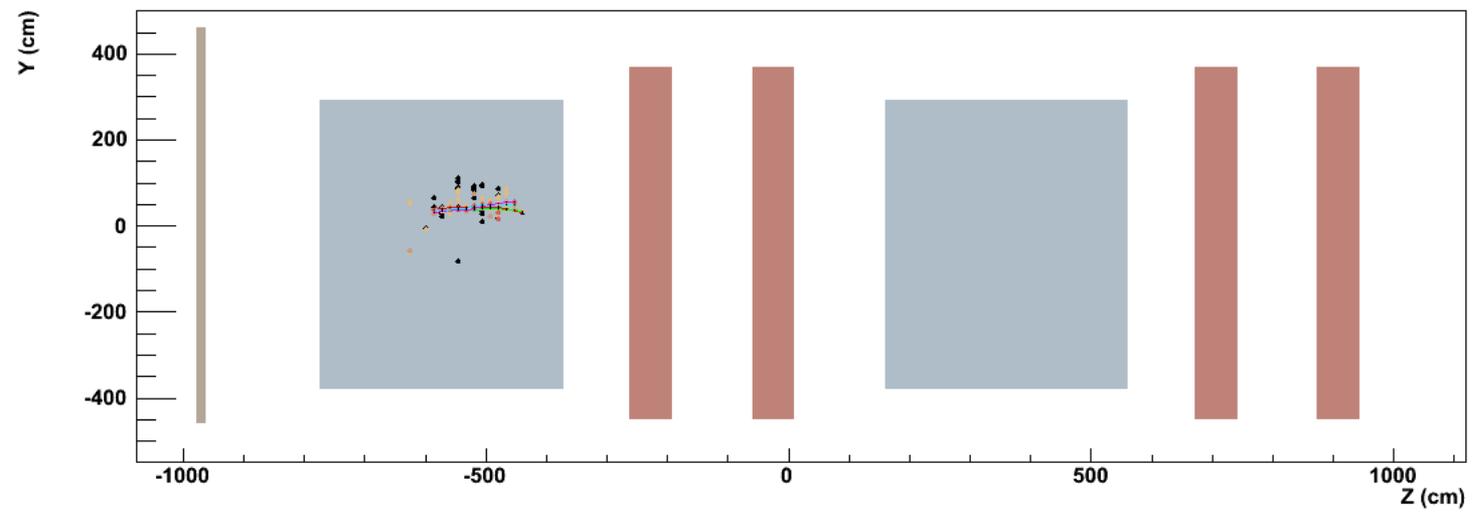
- Die Größe hadronischer Schauer fordert eine **Abschätzung von longitudinalem Leakage** durch die Einträge in den **RPCs**.

TOP VIEW (Horizontal projection)

Event Number 31, Thu Jan 1 00:00:00 1970

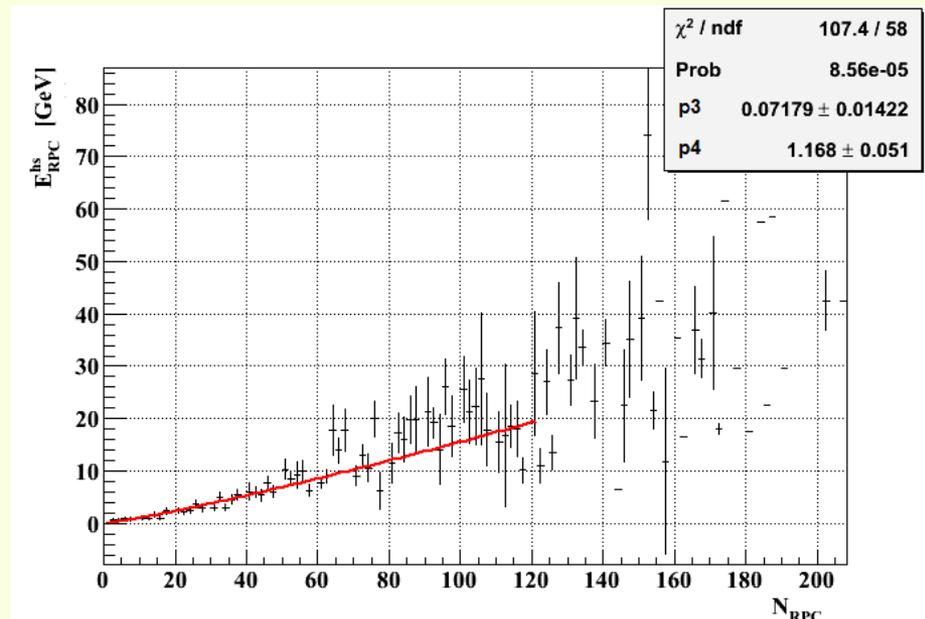
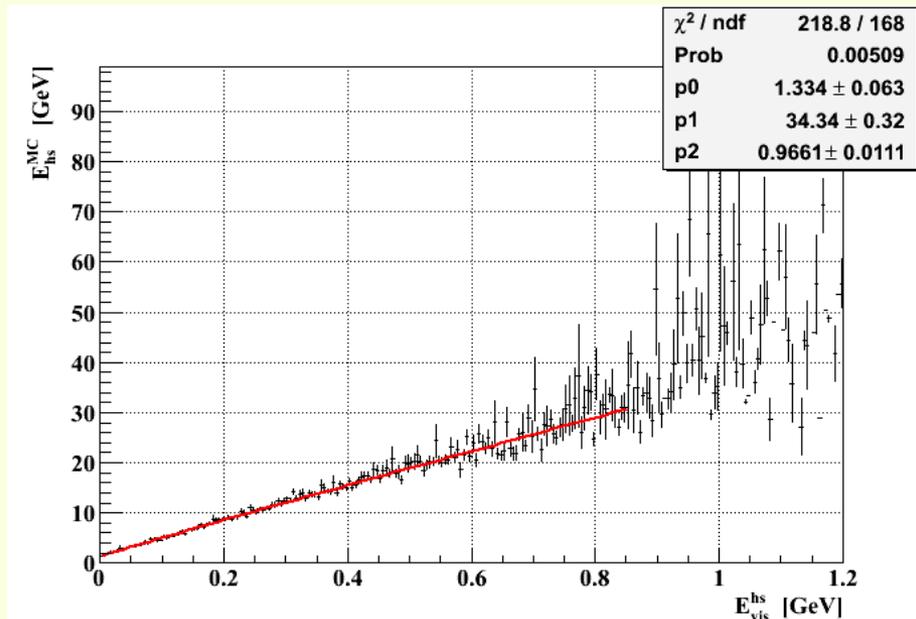


SIDE VIEW (Vertical projection)



- Sichtbare Schauerenergie  $E_{vis}$  vs.  $E_{had}$  für MC Ereignisse ohne Leakage.

- $E_{had}$  abzgl. der rekonstruierten im Target deponierten Energie vs. Anzahl RPC-Digits  $N_{RPC}$ .

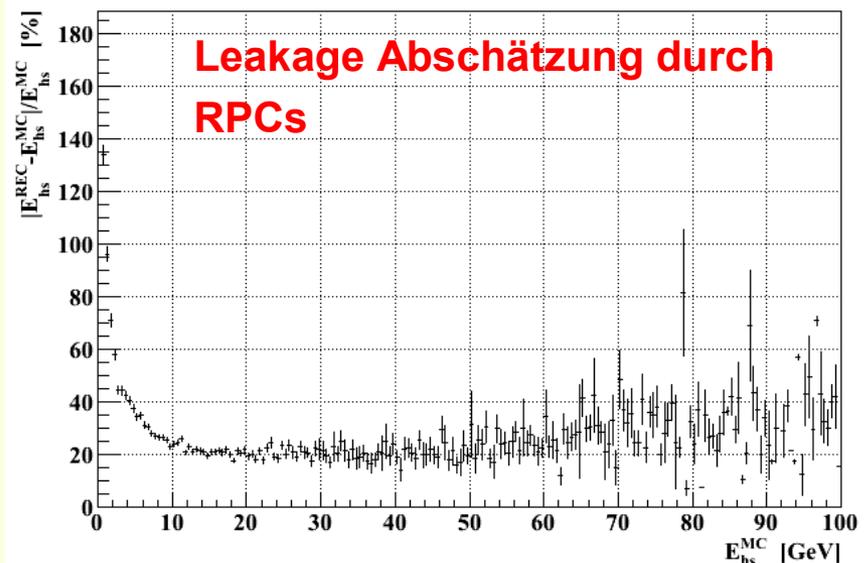
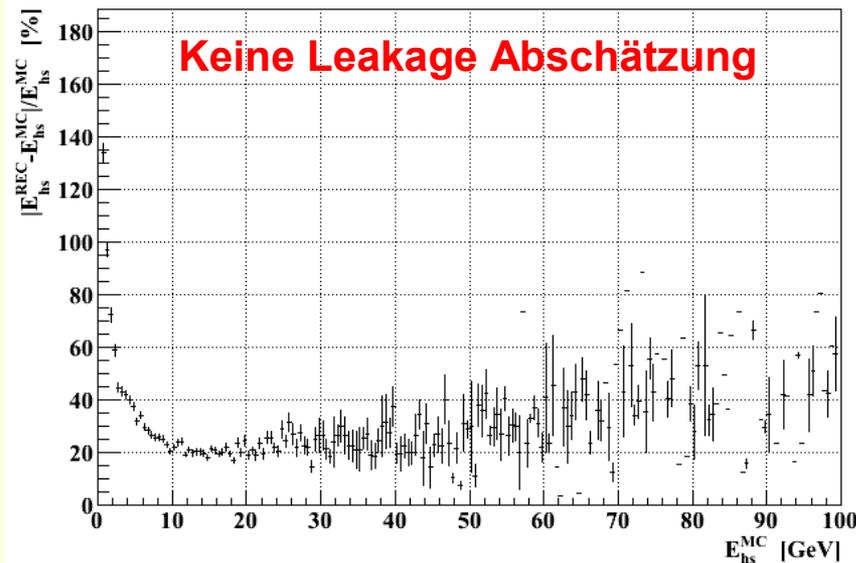


$$E_{hs} = p_0 + p_1 \cdot (E_{vis}^{hs})^{p_2}$$

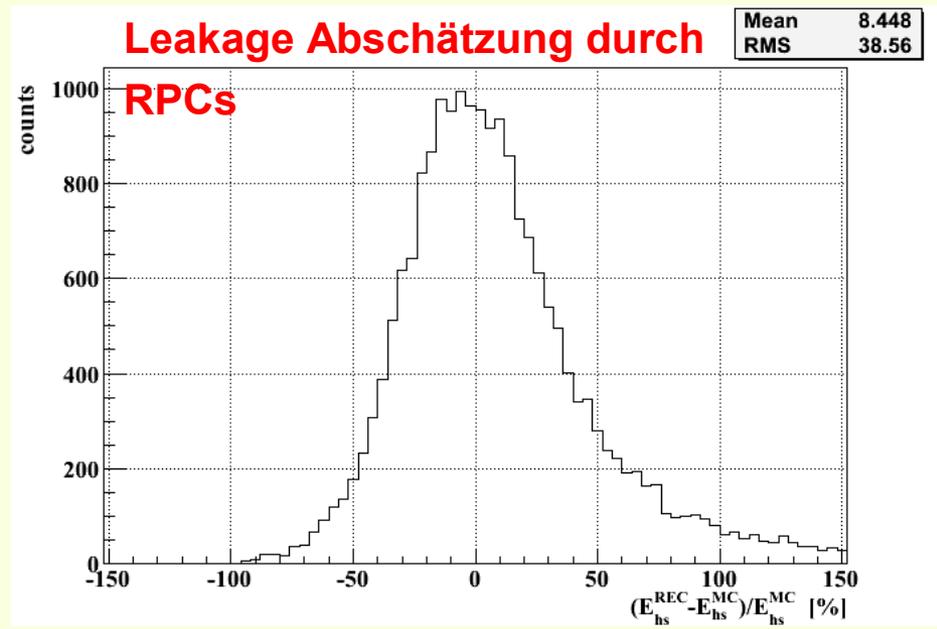
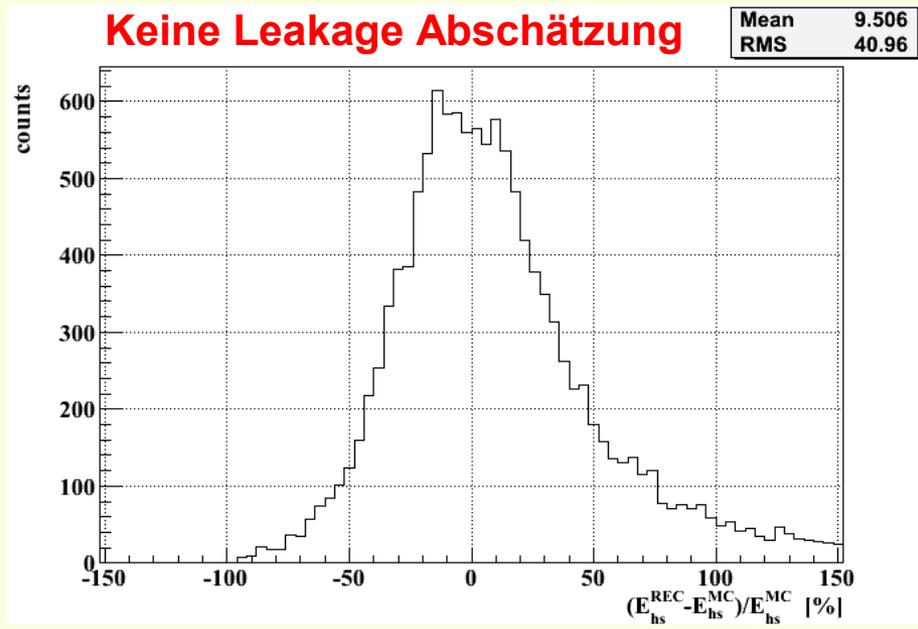
$$E_{RPC}^{hs} = p_3 \cdot (N_{RPC})^{p_4}$$

- Die Auflösung für Ereignisse hoher Schauer-Energie wird durch Abschätzen von longitudinalem Leakage durch die RPCs verbessert.
- Auflösung bei  $\sim 5 \text{ GeV} - 45 \text{ GeV}$ :  $<30\%$  (rechts)
- Auflösung bei  $< 5 \text{ GeV}$ :  $>40\%$  (links + rechts)

└─▶ Grund: grobe Segmentierung der Kalorimeter.



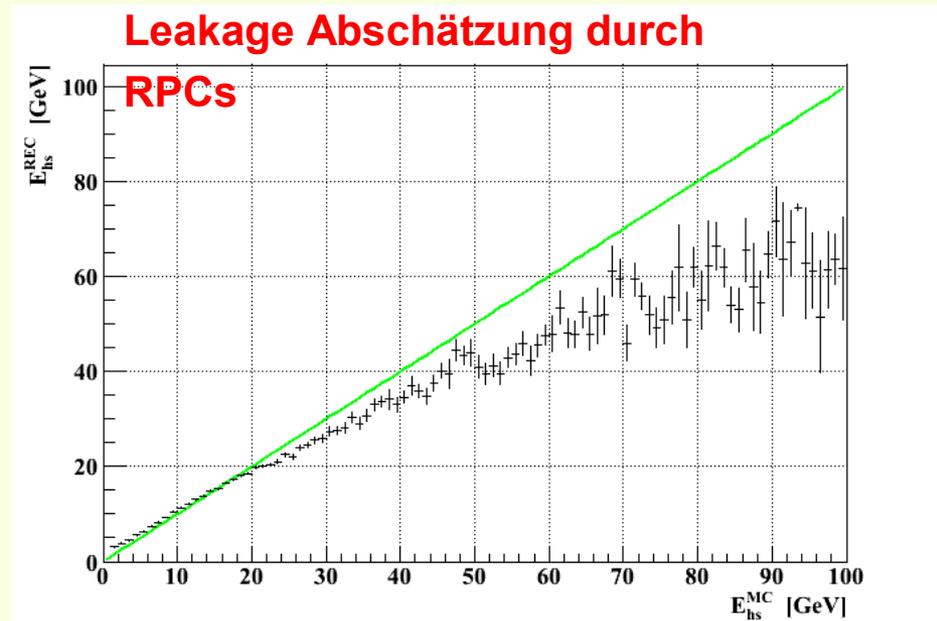
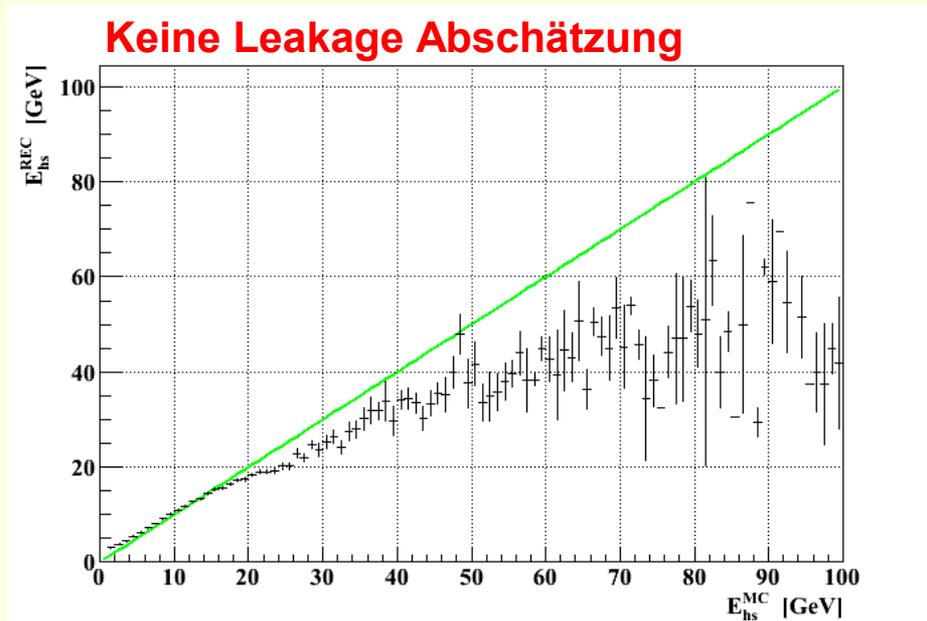
- Durch Verbesserung der Auflösung für Ereignisse hoher Energie durch Abschätzen von Leakage wird die mittlere Auflösung von  $\sim 41\%$  (links) auf  $\sim 39\%$  (rechts) erhöht.



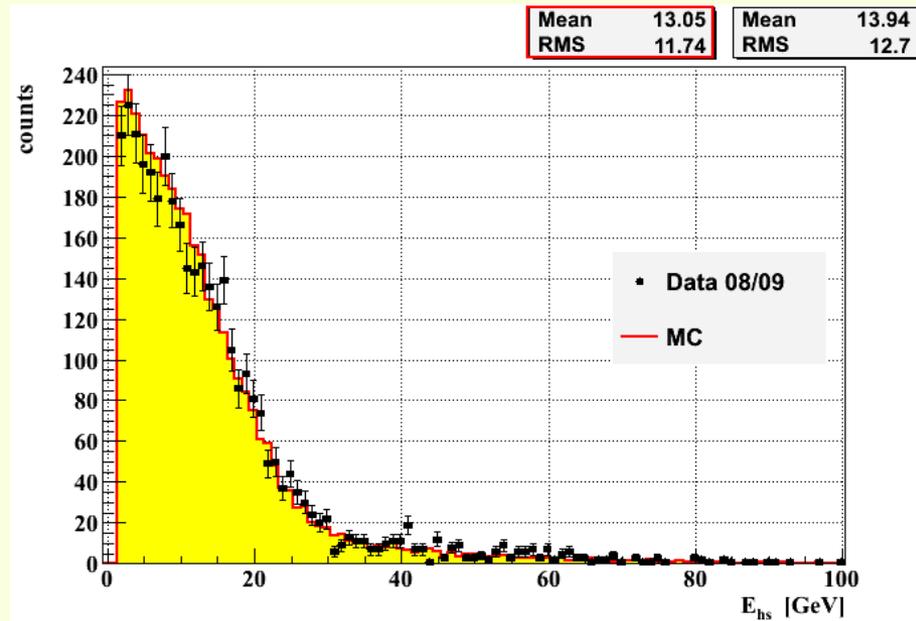
$$E_{hs} = p_0 + p_1 \cdot (E_{vis}^{hs})^{p_2}$$

$$E_{hs} = p_0 + p_1 \cdot (E_{vis}^{hs})^{p_2} + p_3 \cdot (N_{RPC})^{p_4}$$

- Unter  $\sim 40$  GeV (rechts) wird eine gute Übereinstimmung zwischen MC und rekonstruierter Energie erreicht.

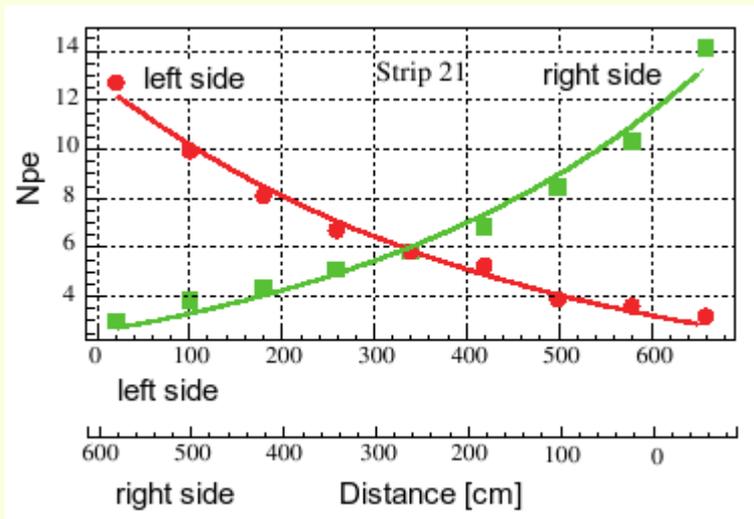


- Im Bereich von ~1-2 GeV wird kein hadronischer Schauer ausgelöst.
- Gute Übereinstimmung der rekonstruierten primären Schauer-Energiespektren für MC Ereignisse und Daten (2008/2009).



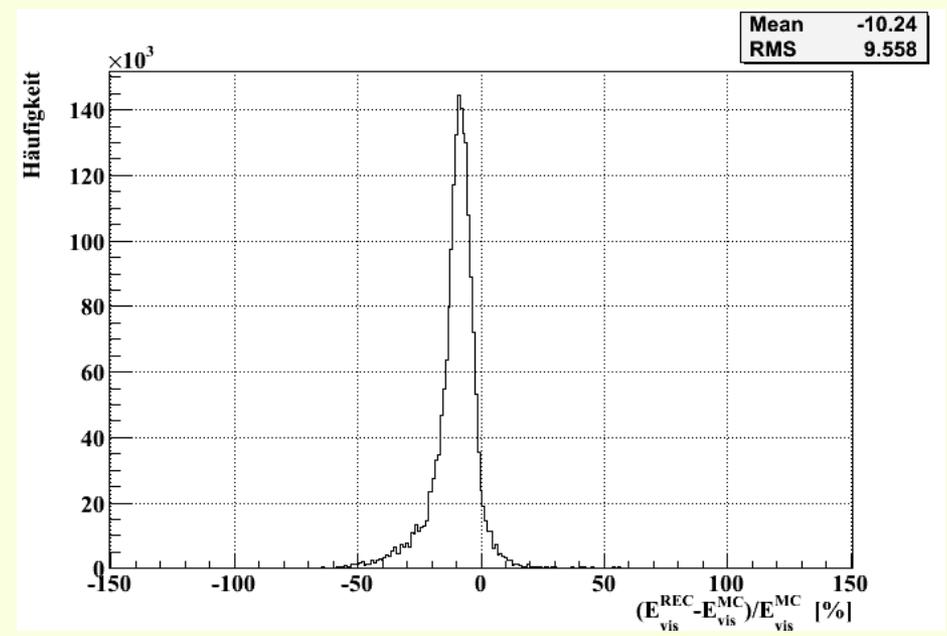
$$E_{hs} = p_0 + p_1 \cdot \left(E_{vis}^{hs}\right)^{p_2} + p_3 \cdot \left(N_{RPC}\right)^{p_4} .$$

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



$$E_L = 2,15 \cdot \frac{Npe_L}{\alpha_0 \cdot e^{-\beta_0(X_L+X)} + \alpha_1 \cdot e^{-\beta_1(X_L+X)}}$$

$$E_R = 2,15 \cdot \frac{Npe_R}{\alpha_0 \cdot e^{-\beta_0(X_R-X)} + \alpha_1 \cdot e^{-\beta_1(X_R-X)}}$$



## Aussortieren von Events mit:

< 4 Treffern in den TT pro Projektionsebene

mit nur Treffern in den letzten beiden Wänden

## Einteilen der Events:

Klasse 1:

Ereignis mit <3 getroffenen TT-Wänden (X und Y als eine Wand)

Klasse 2 (meistens **QES**):

Ereignis mit  $\geq 3$  getroffenen TT-Wänden und Treffer/Wand < 2.5

Klasse 3 (meistens **DIS**):

Ereignis mit  $\geq 3$  getroffenen TT-Wänden und Treffer/Wand > 2.5