

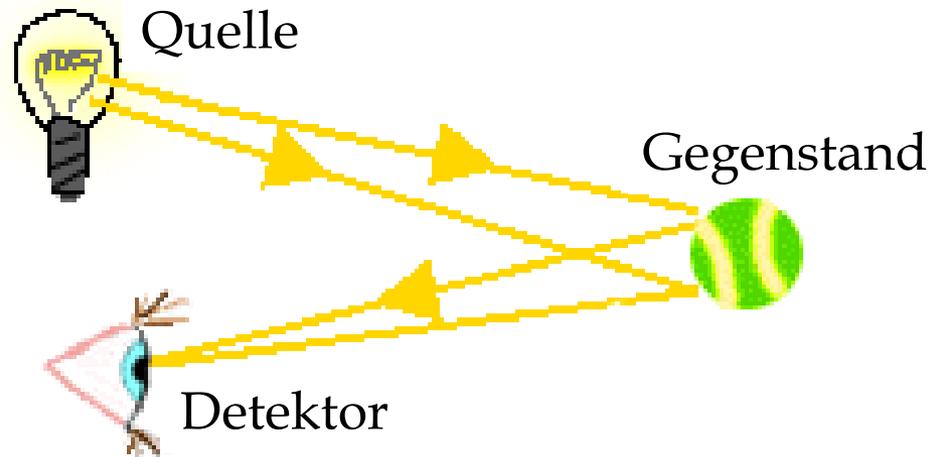
# Das Unsichtbare sichtbar machen



**Ullrich Schwanke**  
**Humboldt-Universität zu Berlin**



# Detektoren – die Augen der Teilchenphysiker



- **Teilchen sind zu klein, um sie mit bloßen Auge zu sehen**
- **Teilchen müssen wechselwirken, um nachweisbar zu sein.**

# Voraussetzung für den Nachweis: Wechselwirkung der Teilchen mit Materie

Verschiedene Arten der Wechselwirkung:

- **Schwerkraft:** gut für den Nachweis von Kometen,  
für Teilchen nicht sehr hilfreich
- **Elektromagnetisch:** Ionisation, Szintillationslicht  
Photoeffekt  
elektromagnetische Schauer ( $e^{\pm}, \gamma$ )  
**Aussendung von Tscherenkow-Licht**
- **Stark:** Kern-WW (Neutron-Nachweis),  
hadronische Schauer
- **Schwach:** Neutrino-Nachweis (inverser  $\beta$ -Zerfall)

# Tscherenkow-Strahlung

Teilchen kann in einem Medium mit Brechungsindex  $n$  **schneller** sein **als Licht**:

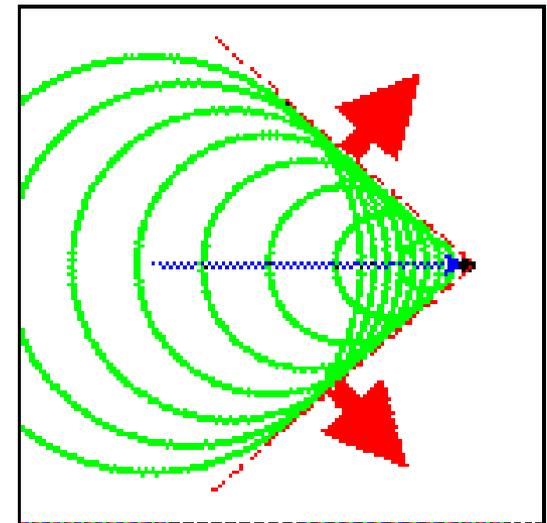
$$c_{\text{medium}} = c_{\text{vakuum}} / n$$

- Wasser:  $n = 1,33$
- Eis:  $n = 1,3$
- Diamant:  $n = 2,4$
- Gase:  $n \approx 1 + 0,001..$

⇒ Effekt wie bei Schall: „Schallmauer“ (Machscher Kegel)

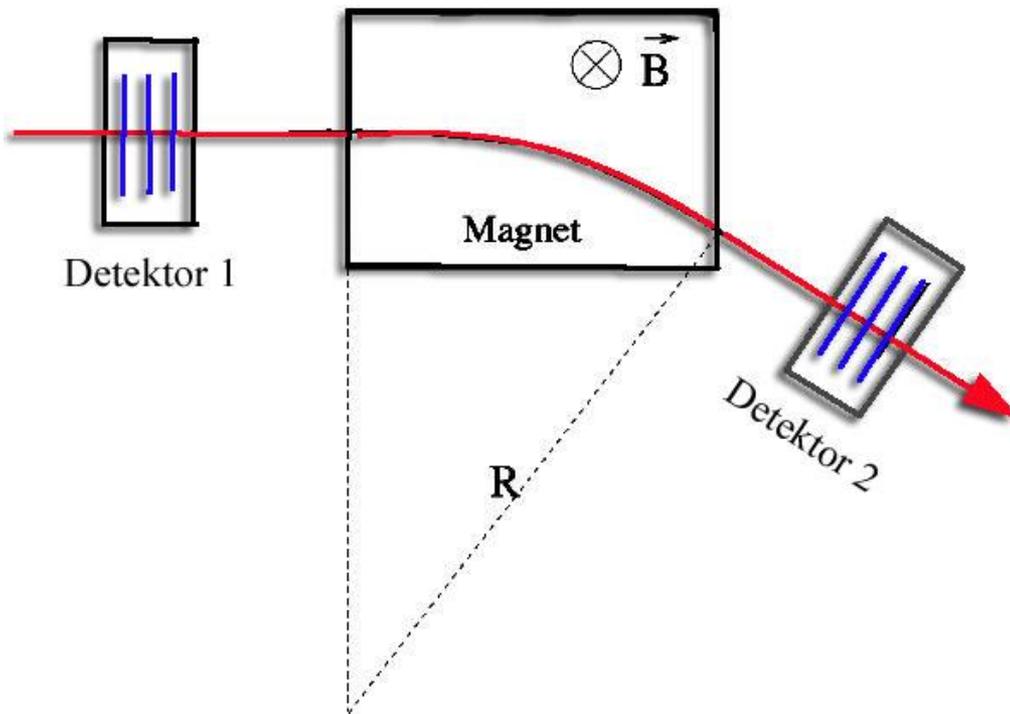


Cherenkov-Kegel



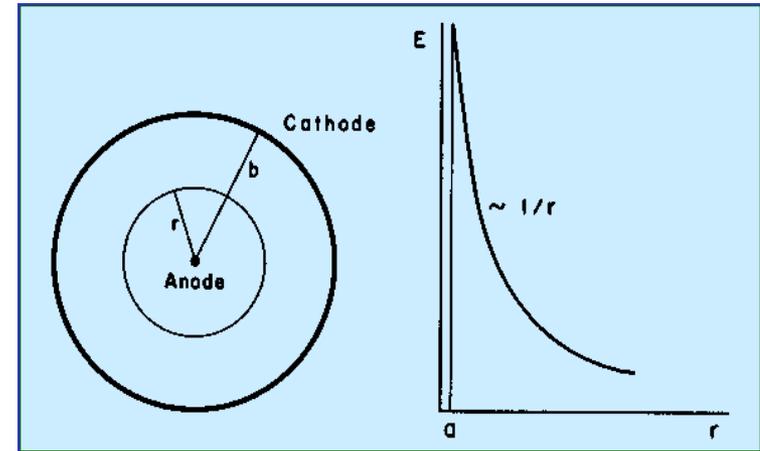
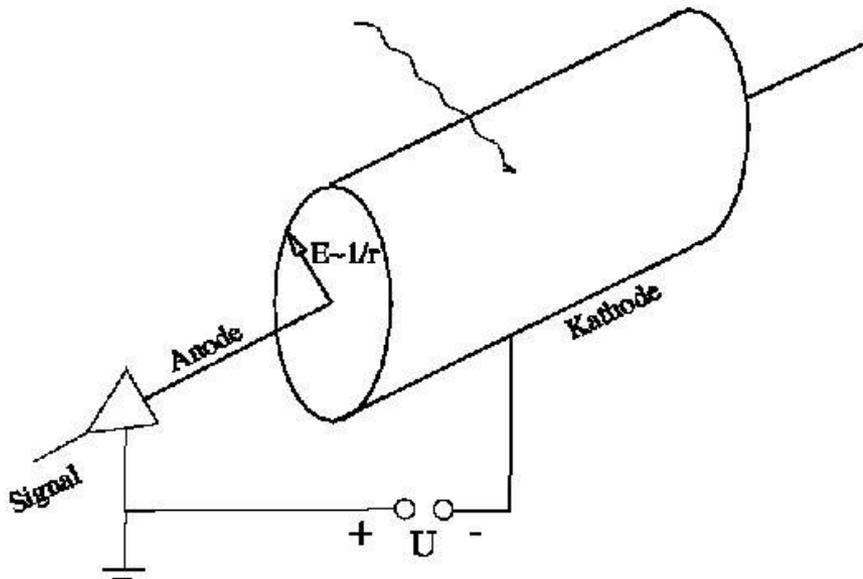


# Prinzip der Impulsmessung

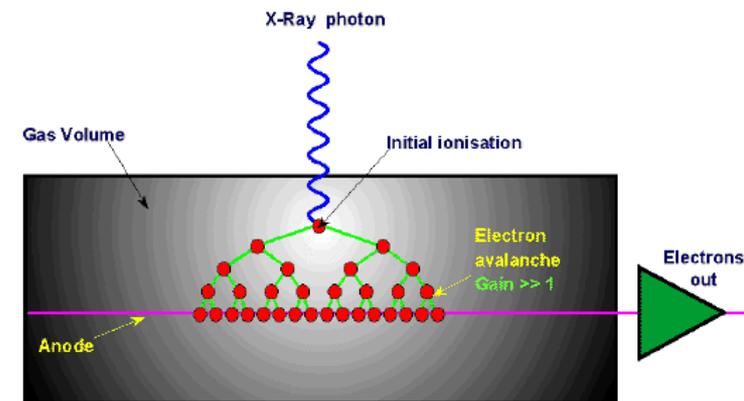


- Stärke der Krümmung → Impuls
- Richtung der Krümmung → Ladung
- Rückführung der Impulsmessung auf eine Ortsmessung
- Häufig ganze Detektoren im Magnetfeld

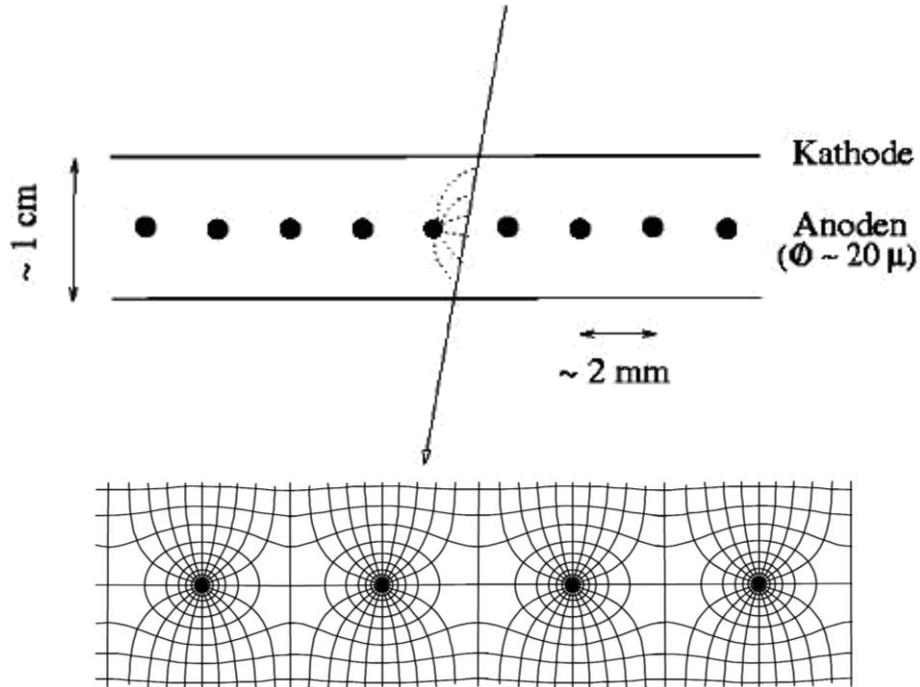
# Ortsmessung: z.B. Geiger-Müller-Zähler



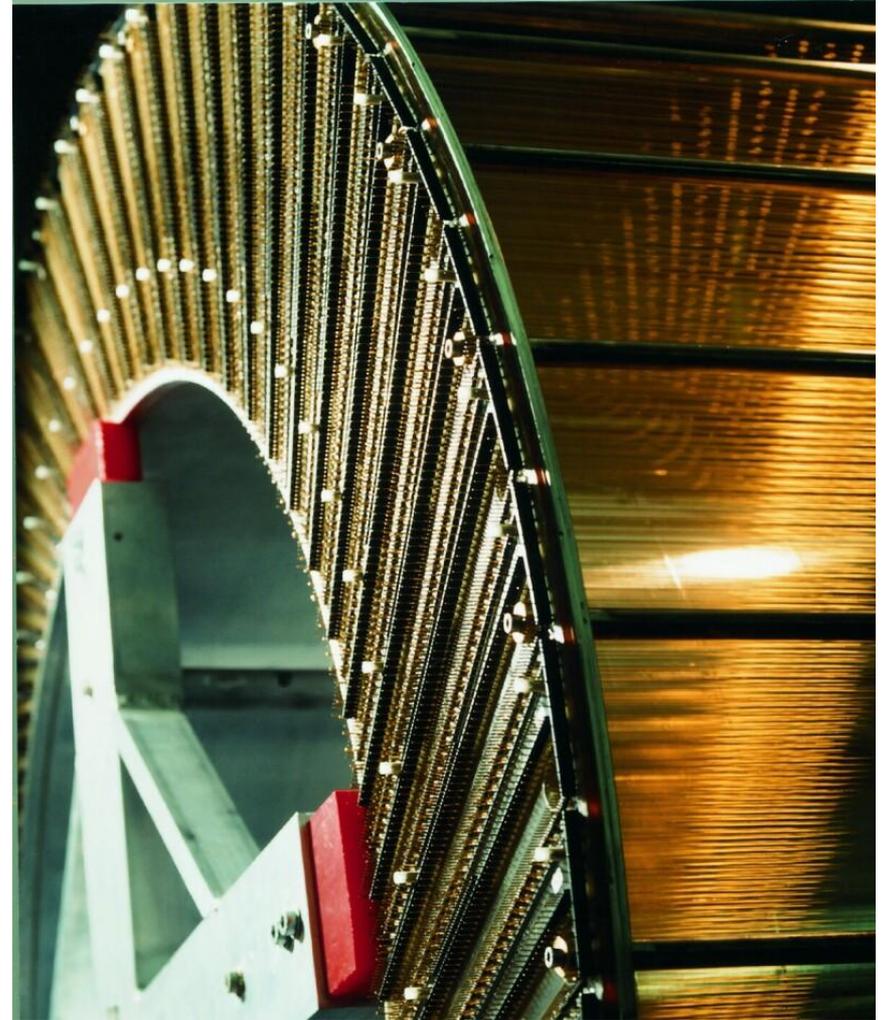
- **Ionisationsladungen driften zum Anodendraht → elektrisches Signal durch Gasverstärkung**
- **Elektronische Auslese**



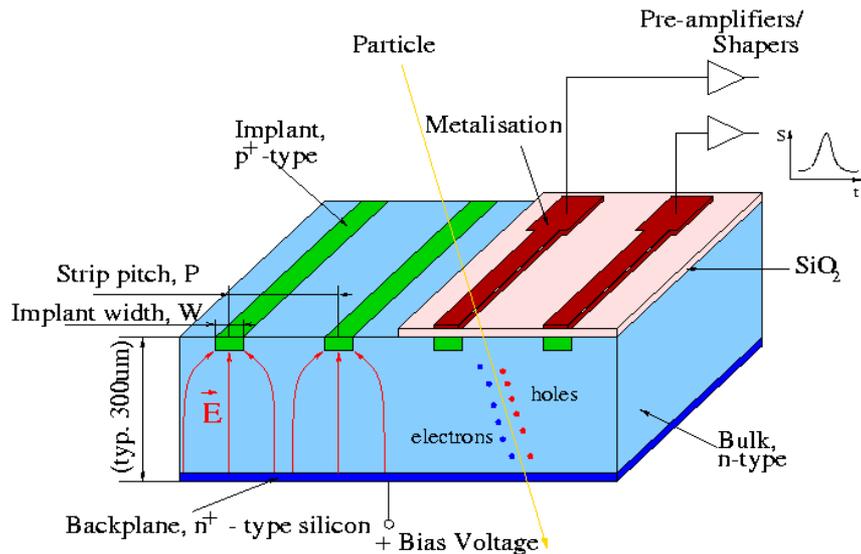
# Ortsbestimmung: Spurkammern



- **Oft mehrlagig**
- **Messung von Flugrichtung und Zerfallsstrecke**



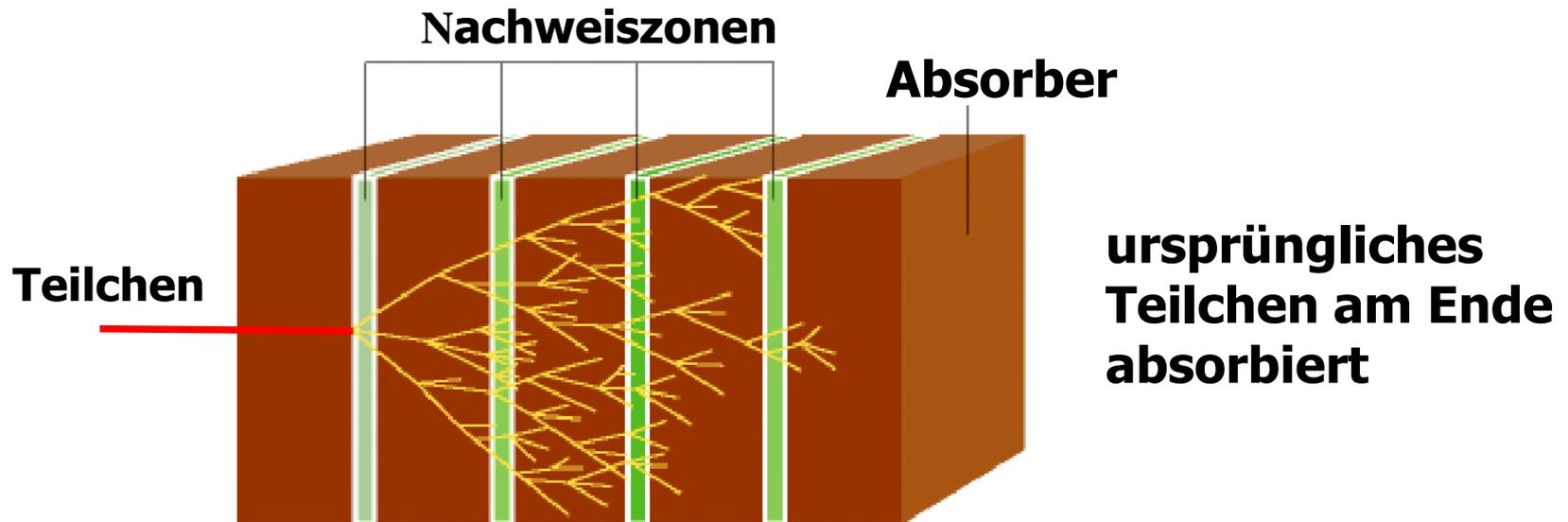
# Ortsbestimmung: Siliziumdetektoren



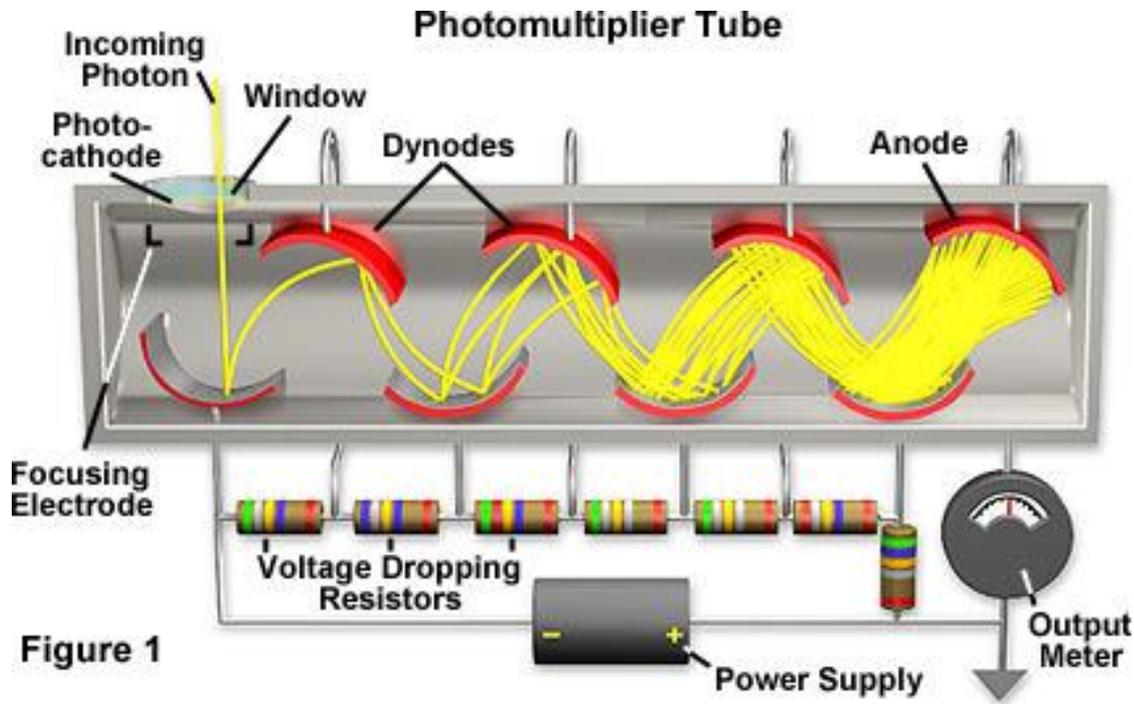
- **Funktionieren ähnlich wie eine in Sperrrichtung geschaltete Diode**
- **Ionisierende Teilchen erzeugen Elektron-Loch-Paare in Halbleiter, die über Elektroden abgesaugt werden**
- **Bessere Auflösung (Genauigkeit) als Drahtkammern (Streifenbreite  $\sim 20 \mu\text{m}$ )**
- **Oft in der Nähe des Wechselwirkungspunktes angebracht**

# Energiemessung: Prinzip

- Teilchen geben in Materie ihre Energie durch Produktion neuer Teilchen ab → Schauer
- Anzahl der Teilchen im Schauer ist proportional zur Energie
- Messung von Szintillationslicht in den Nachweiszonen



# Photovervielfacher-Röhren

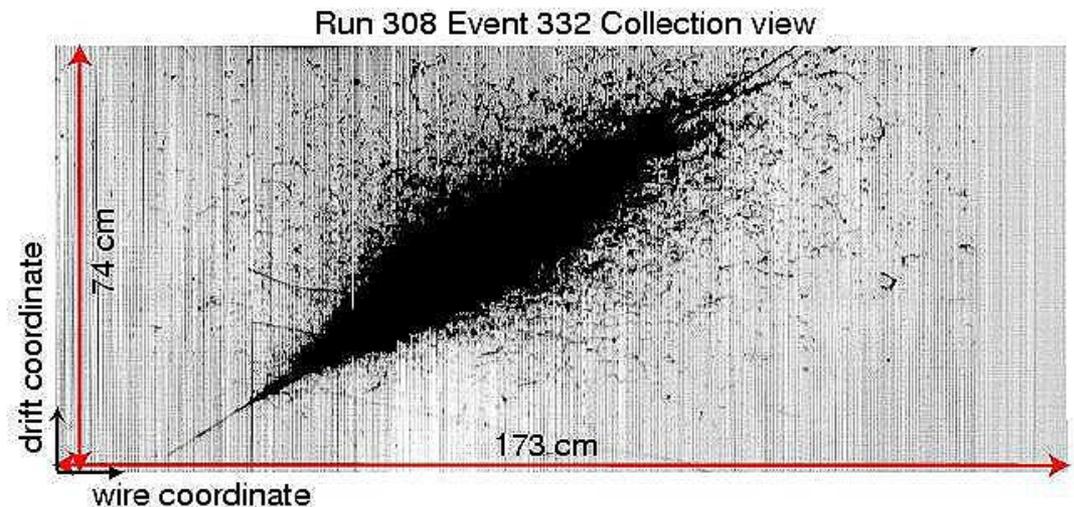
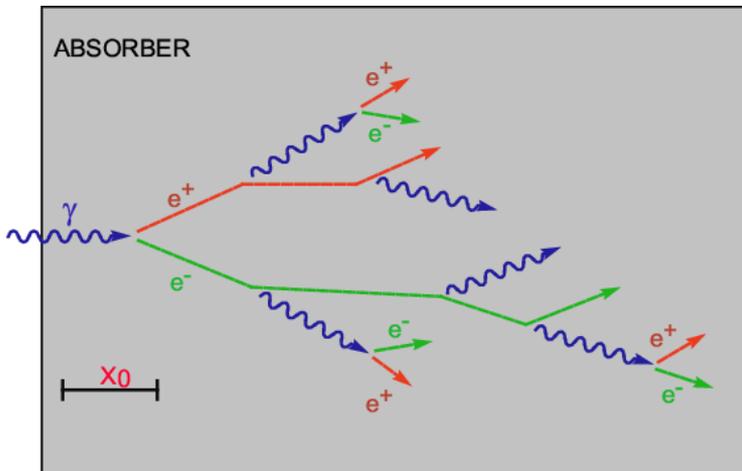


- **Auch PMT ("photo multiplier tube") genannt**
- **Umwandlung von Licht in Spannungspuls**
- **Nachweis von Szintillations- und Tscherenkow-Licht**

# Energiemessung: Kalorimeter (1/3)

- **elektromagnetisches Kalorimeter**

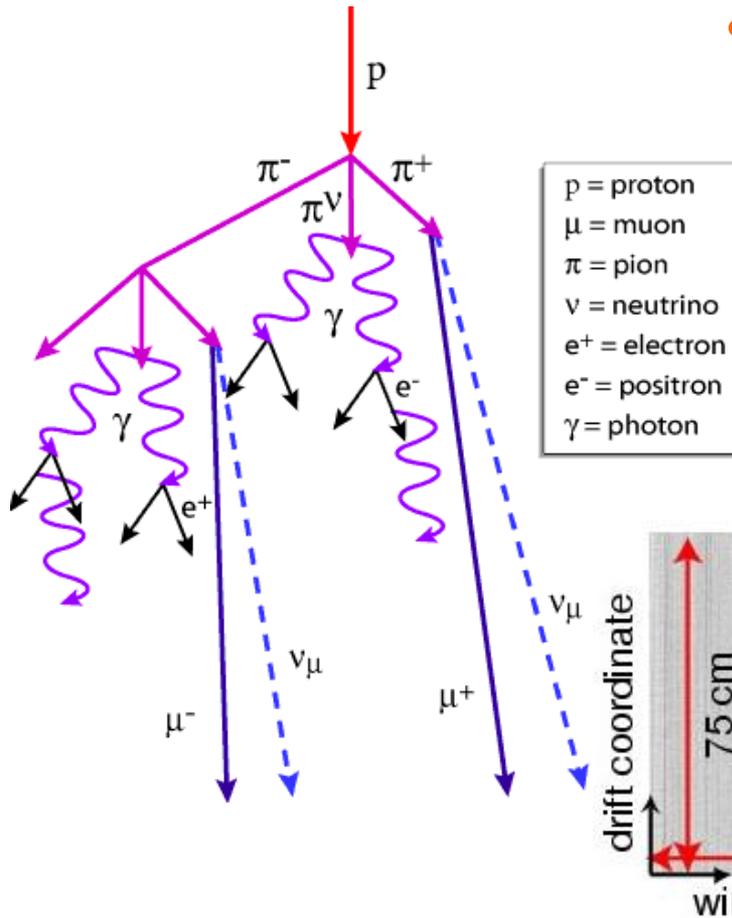
- **Elektronen/Positronen und Photonen verursachen in Materie Schauer aus Photonen und Elektron-Positron-Paaren**
- **kurze, kompakte Schauer**



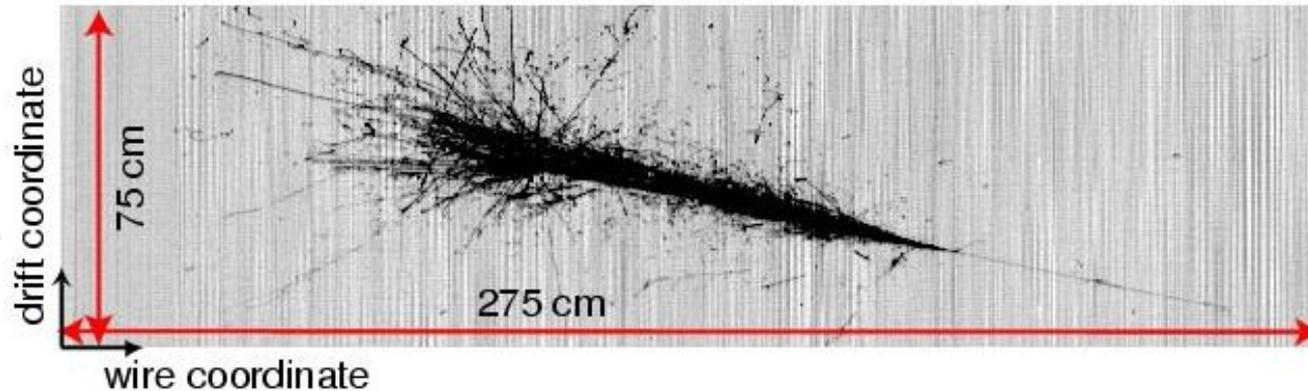
# Kalorimeter (2/3)

- **hadronisches Kalorimeter**

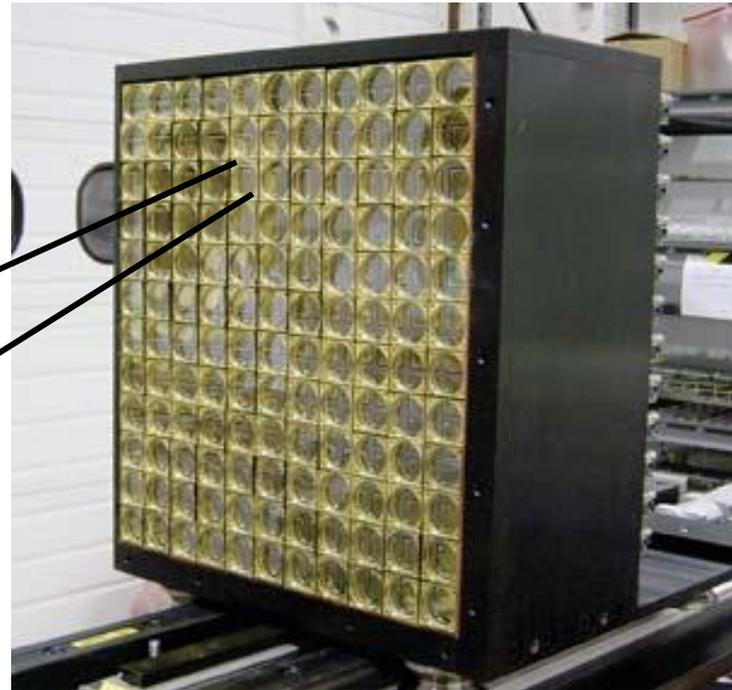
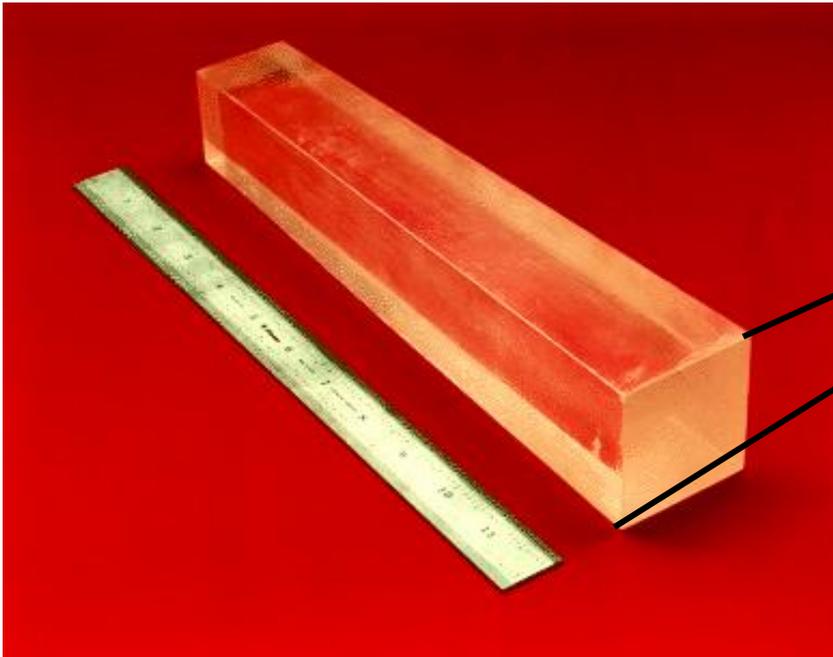
- **Hadronen (z.B. Protonen, Pionen, Neutronen) verursachen in Materie Schauer aus weiteren Hadronen**
- **tiefe, ausgedehnte Schauer**



Run 308 Event 7 Collection view



# Kalorimeter (3/3)



- **Kalorimeter-Materialien: Kristalle, Blei, ...**
- **Ortsauflösung:  $\sim 5$  cm**

# Besondere Teilchen



Myon (1/10 Protonmasse)



Neutrinos (fast masselos)



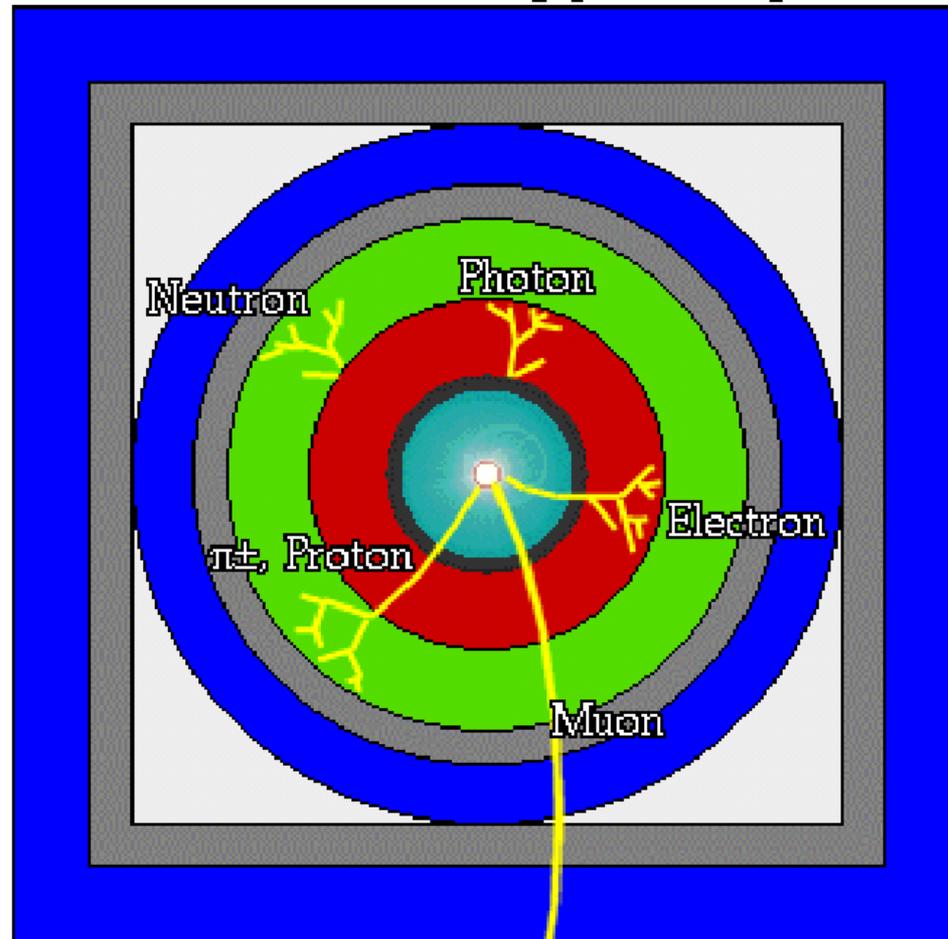
Tau ( $\sim 2$  Protonmassen)

- **Schwerere Ausgabe des Elektrons**
- **wenig Wechselwirkung mit Materie**
- **durchdringen fast alles**
- **hinterlassen nur wenig Energie**
  
- **elektrisch neutral, schwache Wechselwirkung mit Materie**
- **entkommen unerkannt und machen sich durch „verschwundene“ Energie bemerkbar**
  
- **Schwerere Ausgabe des Myons**
- **Viele Zerfallskanäle, Zerfallskaskaden**
- **Neutrinos, leichtere Leptonen und Hadronen entstehen**

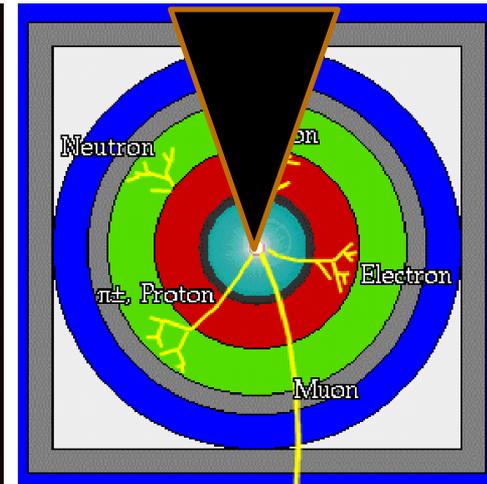
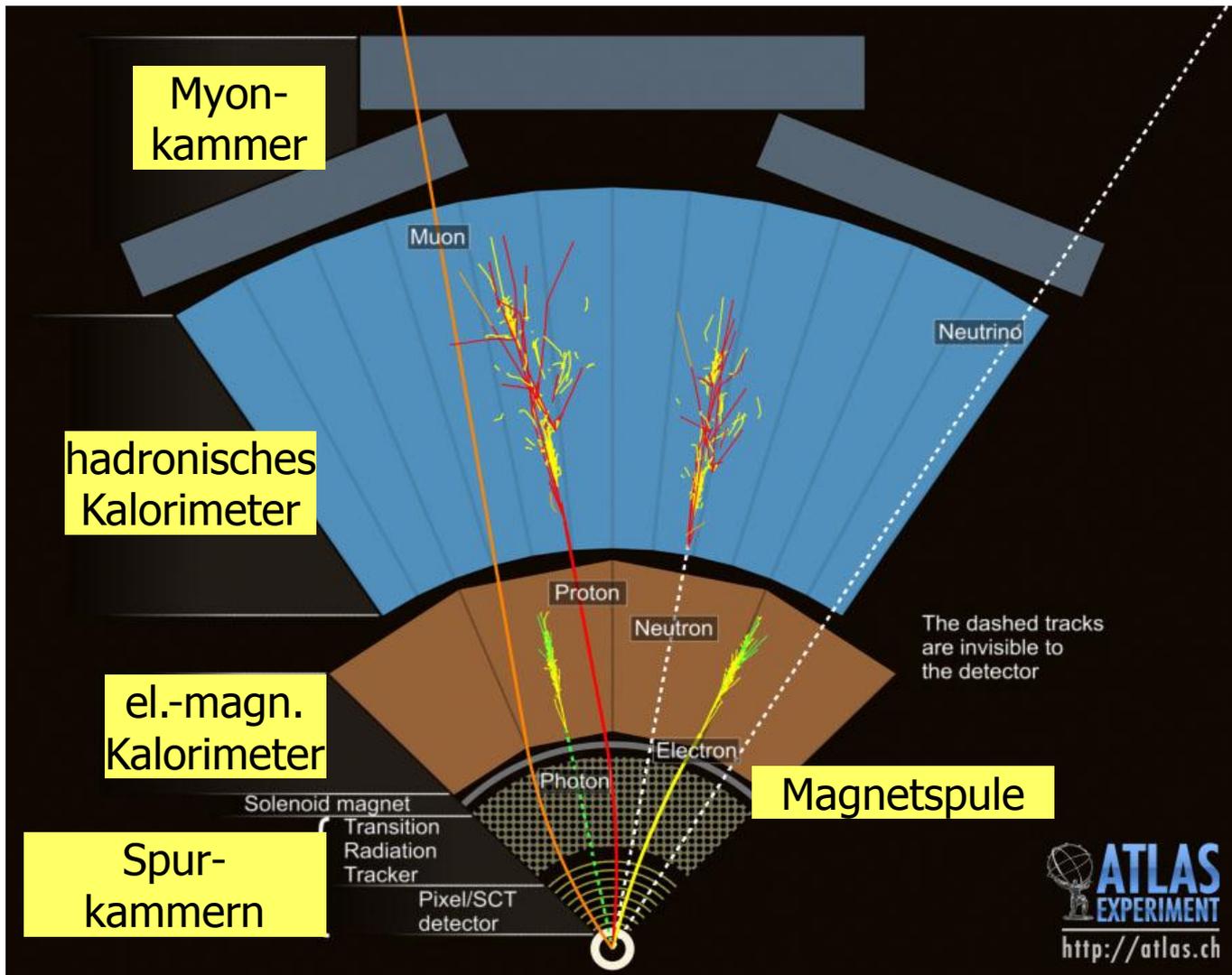
# Schematischer Aufbau eines Detektors

Zwiebelschalenartiger Aufbau aus verschiedenen Komponenten

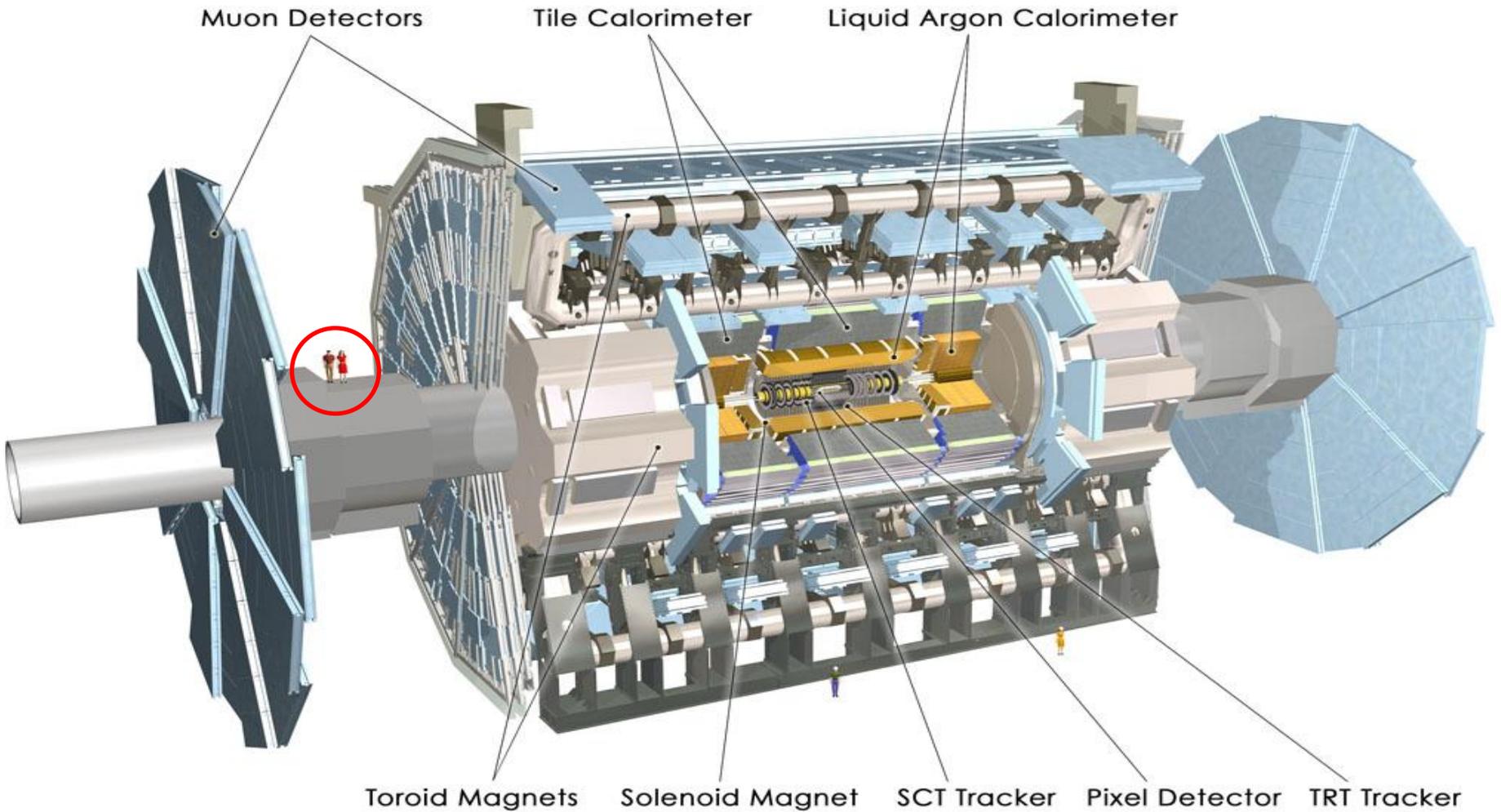
-  Strahlrohr
-  Spur-  
kammer
-  Magnet
-  el.-magn.  
Kalorimeter
-  hadron.  
Kalorimeter
-  Eisenjoch
-  Myon-  
kammer



# Unterscheidung der Teilchensorten



# Der ATLAS-Detektor

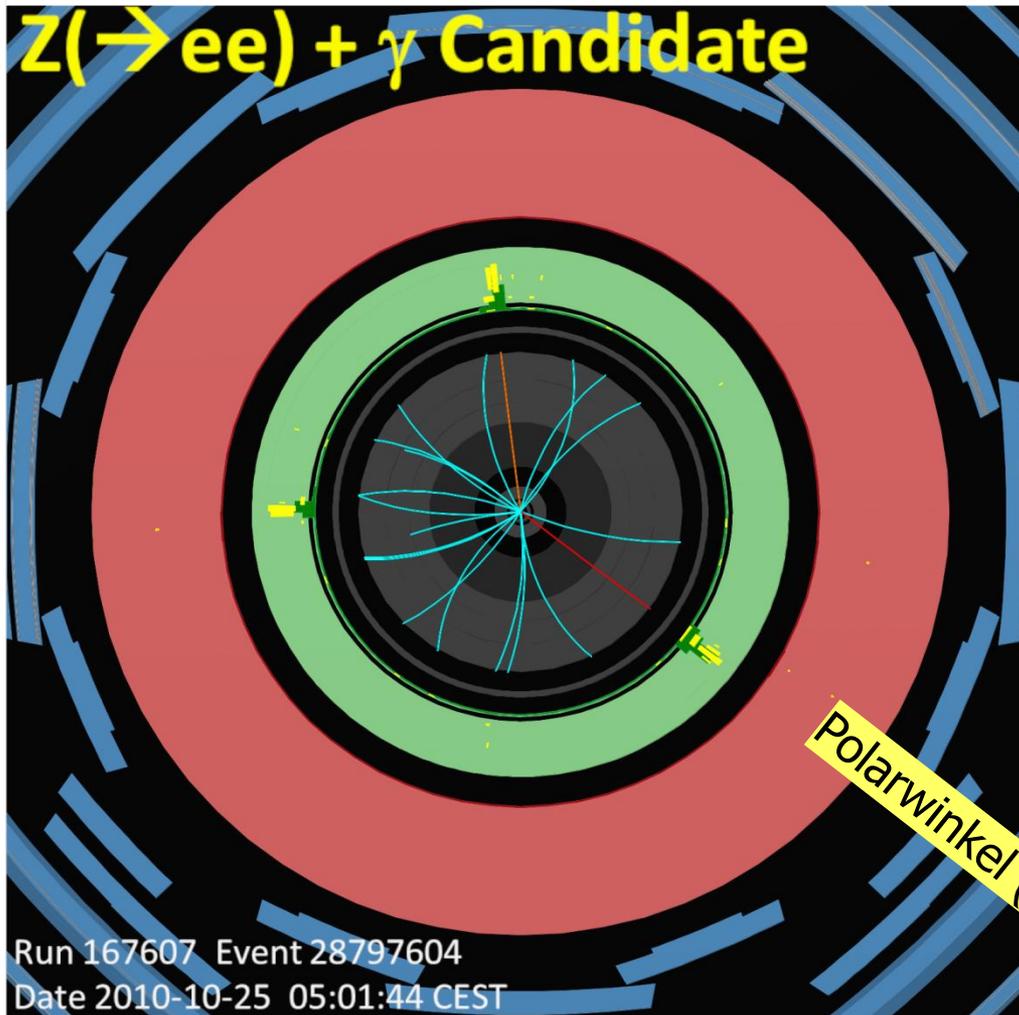


Ullrich Schwanke

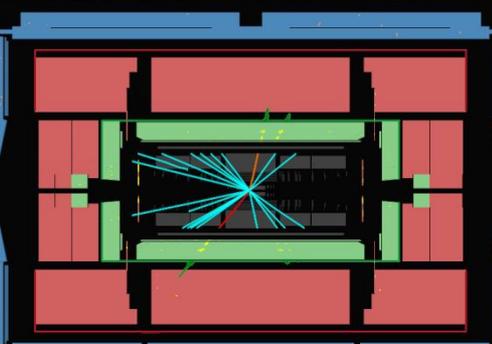
**ATLAS = A Toroidal LHC ApparatuS**

# Ereignisse im ATLAS-Detektor (1/3)

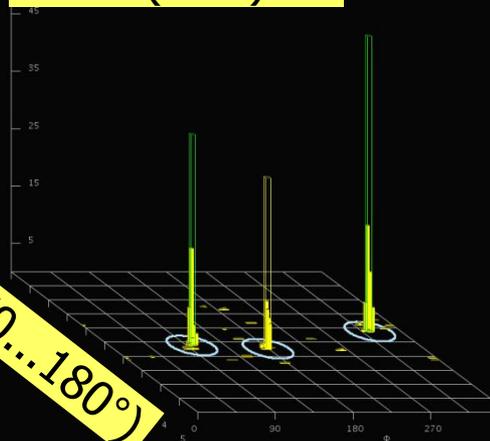
$Z(\rightarrow ee) + \gamma$  Candidate



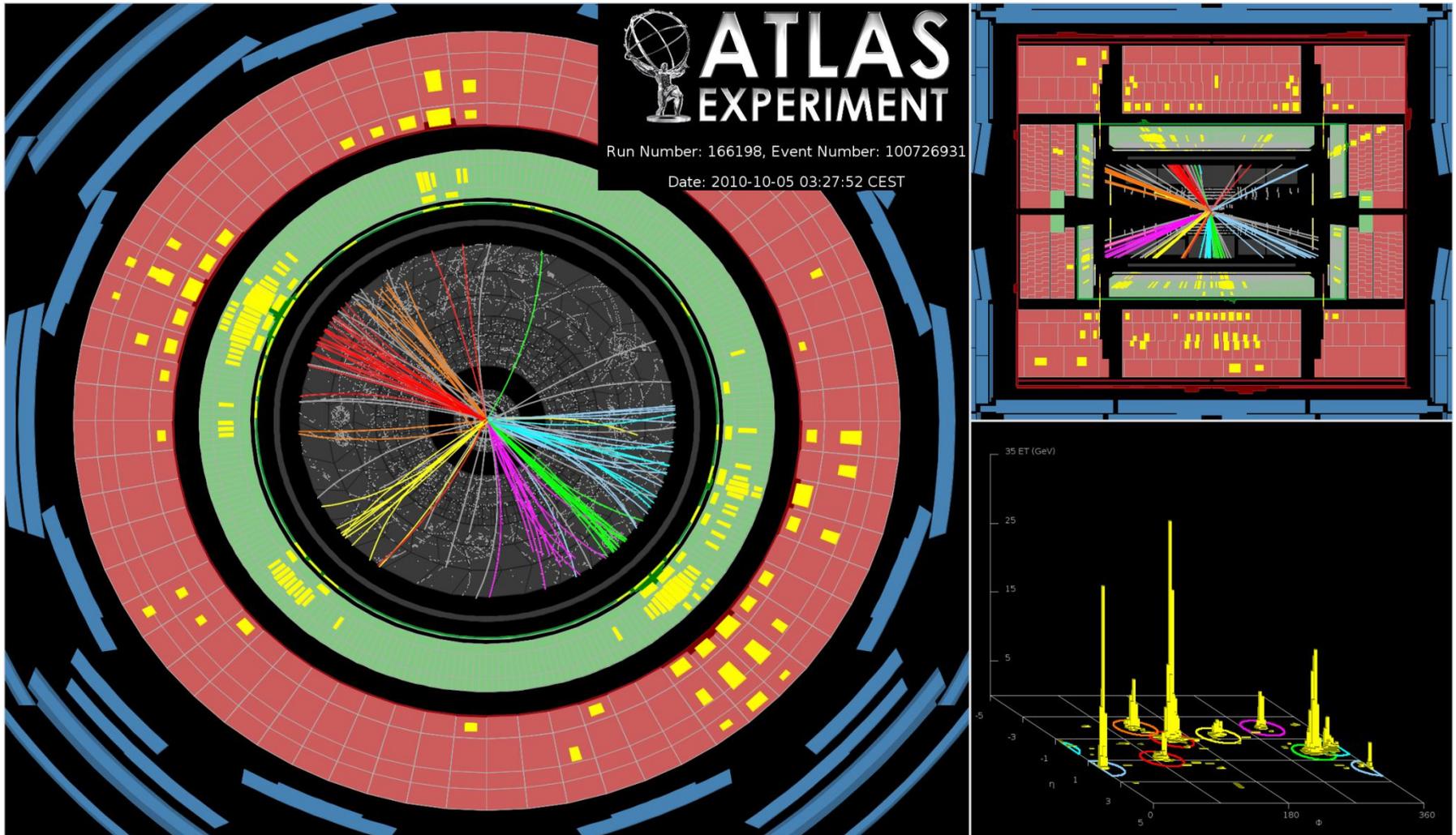
ATLAS  
EXPERIMENT



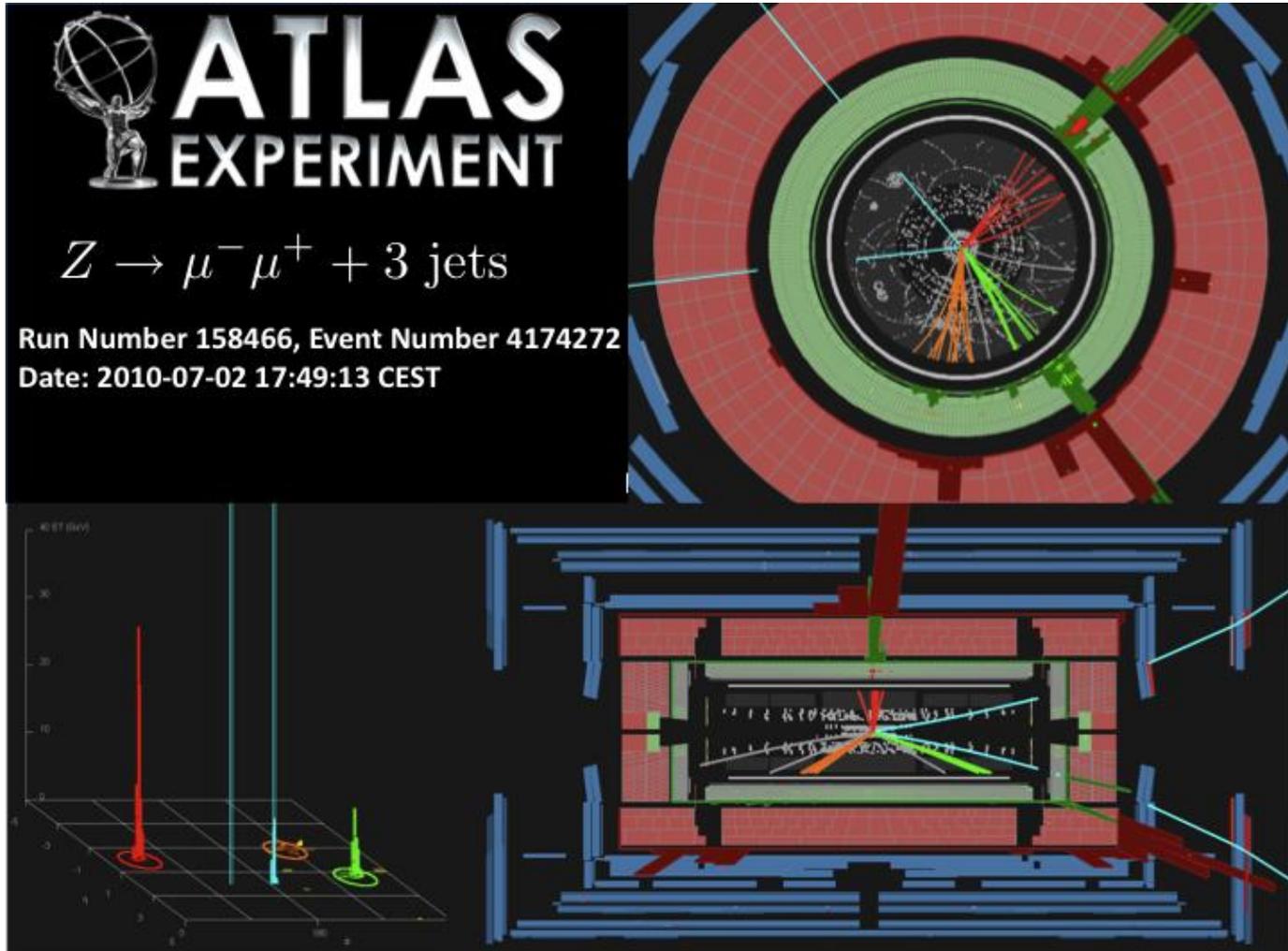
Et (GeV)



# Ereignisse im ATLAS-Detektor (2/3)



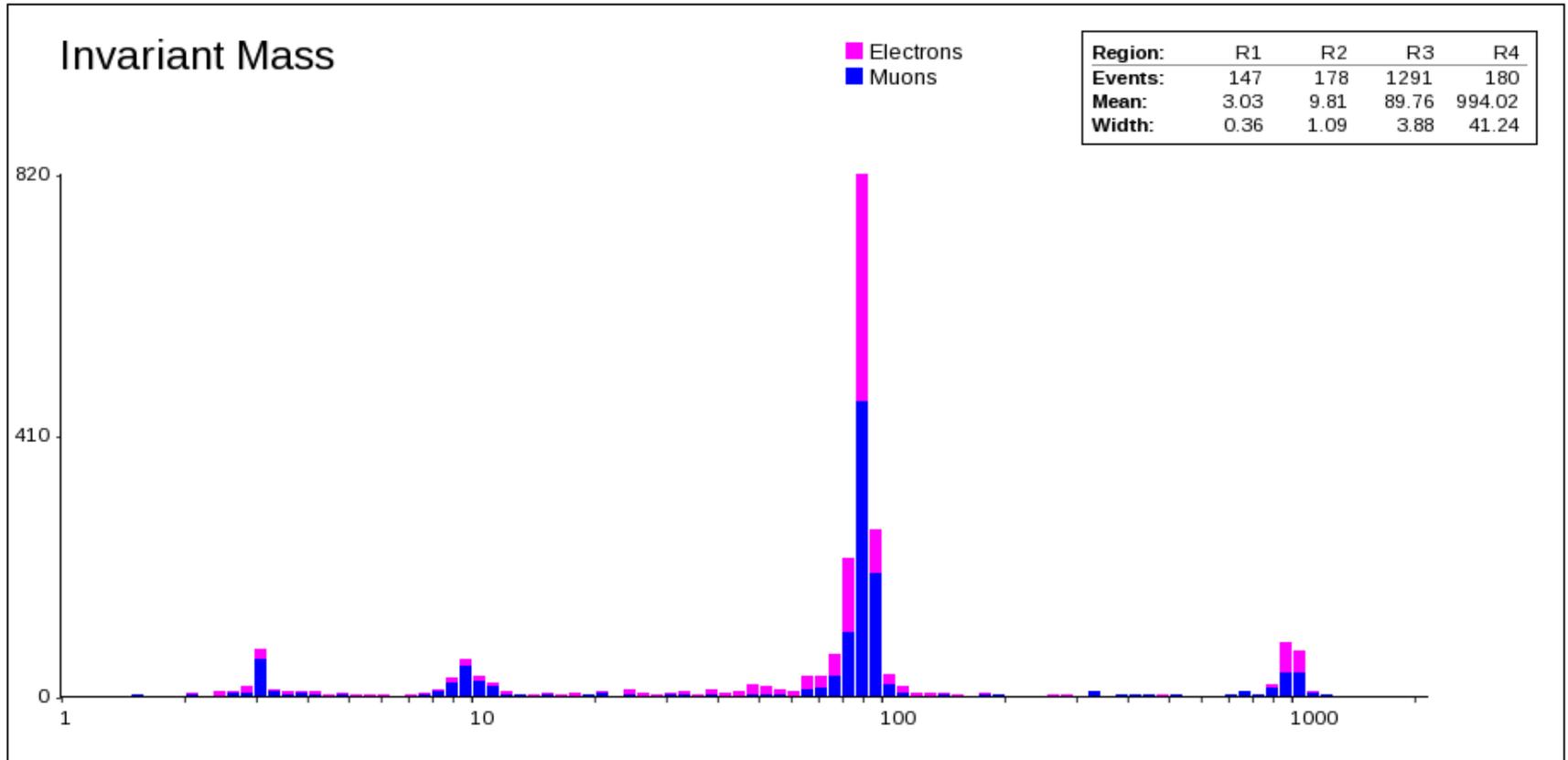
# Ereignisse im ATLAS-Detektor (3/3)



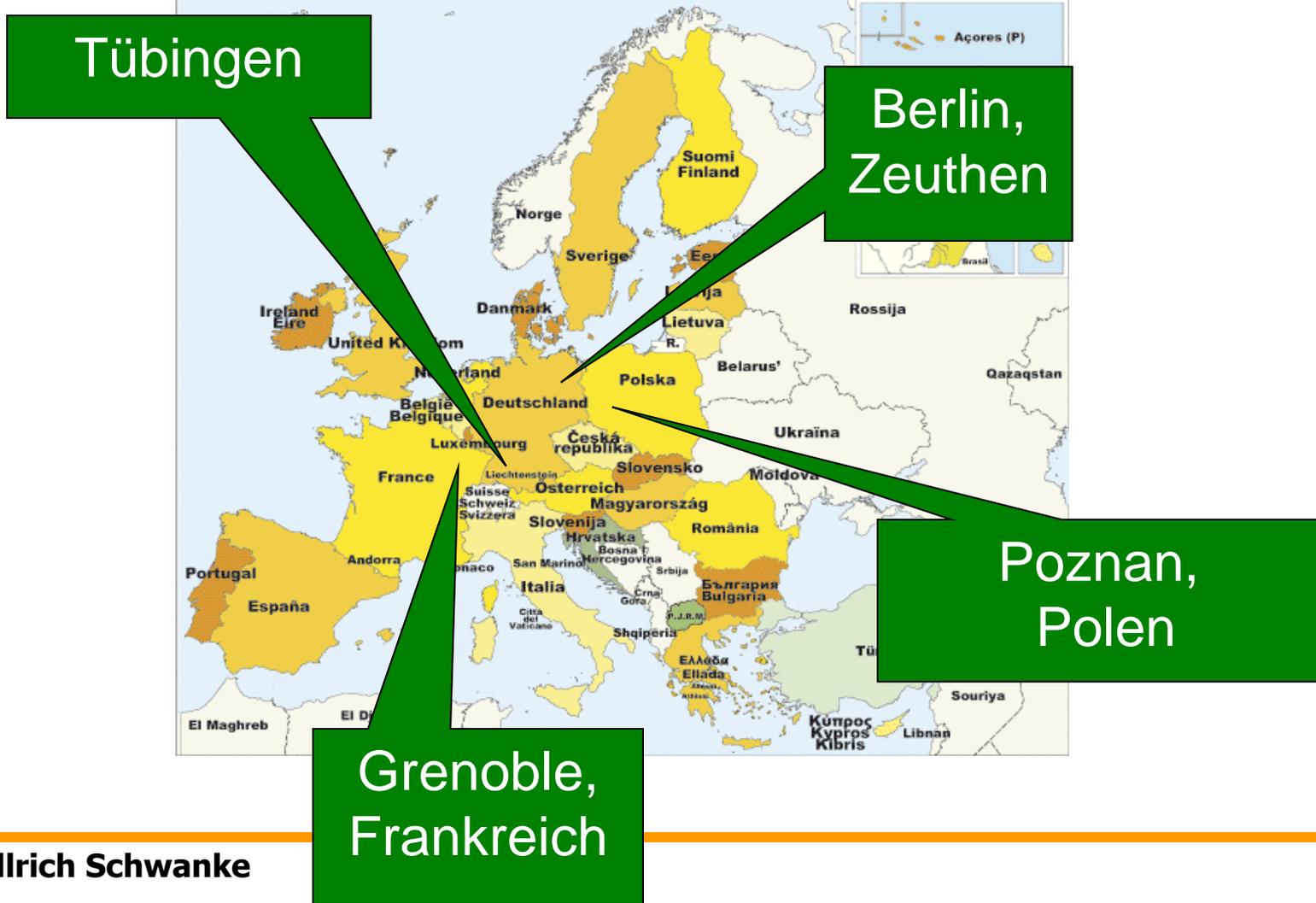
# PC-Übung

- **Viel Spass beim Klassifizieren der Z-Zerfälle bei der PC-Übung!**
- **Treffen uns um 12:45 Uhr wieder vor dem Raum**
- **Sachen am besten im Raum lassen**

# Auswertung



# Videokonferenz (1/2)



# Videokonferenz (2/2)

- **Vier weitere Standorte, die an der Videokonferenz teilnehmen**
- **Überblick der Videokonferenz:**
  - **Besprechung**
  - **Quiz**
- **Stellen Sie Fragen, wenn Sie wollen!**