

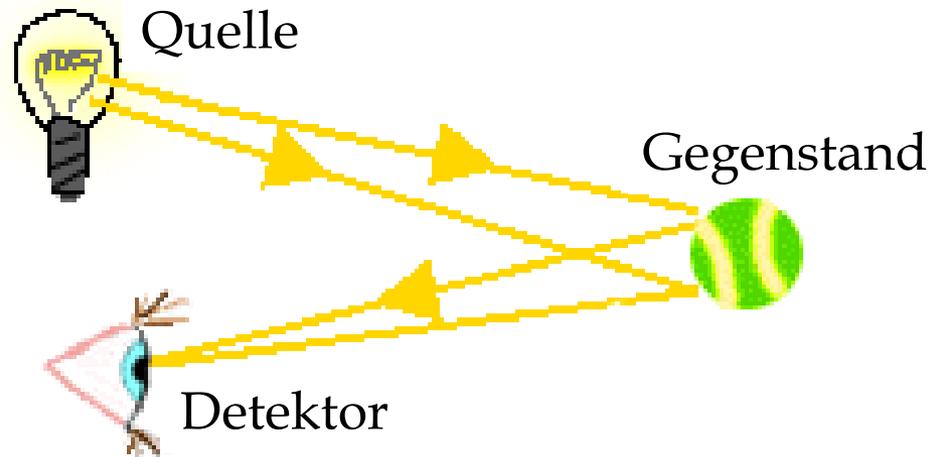
# Das Unsichtbare sichtbar machen

**Ullrich Schwanke**

**Humboldt-Universität zu Berlin**

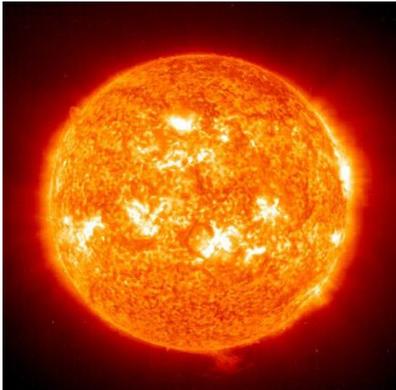


# Detektoren – die Augen der Teilchenphysiker



- **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



- **Schwerkraft:** gut für den Nachweis von Kometen, aber für Teilchen nicht sehr hilfreich, da zu schwach)
- **Elektromagnetische Kraft:**
  - Ionisation, Photoeffekt, Szintillationslicht
  - Erzeugung elektromagnetischer **Schauer** ( $e^{\pm}$ ,  $\gamma$ )
  - Aussendung von **Tscherenkow-Licht**
- **Starke Kraft:**
  - Kern-Wechselwirkung
  - hadronische **Schauer**
- **Schwache Kraft:**
  - Neutrino-Nachweis (inverser  $\beta$ -Zerfall)

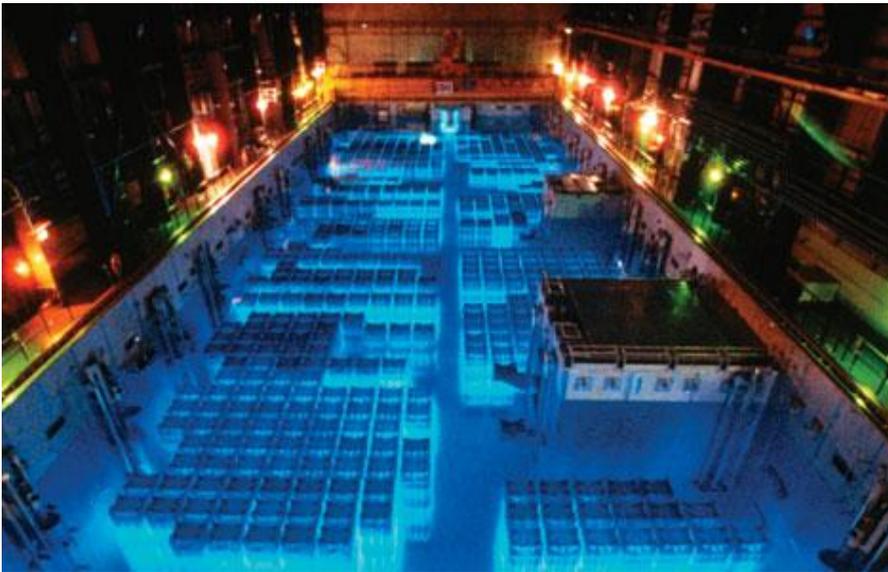
# Tscherenkow-Strahlung

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

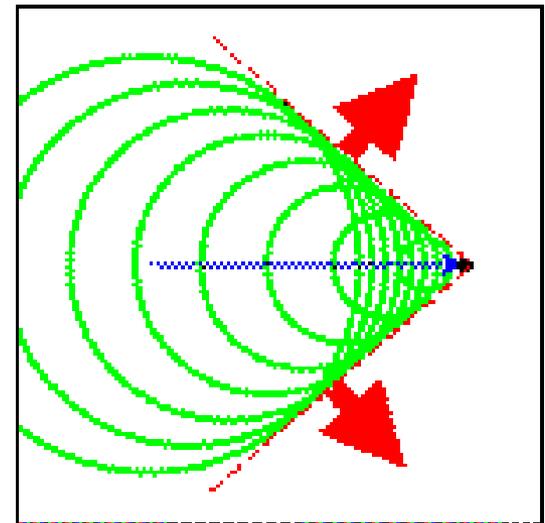
$$c_{\text{medium}} = c_{\text{vakuum}} / n$$

- **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



# Ihren Personalausweis, bitte!



- **Energie und Impuls liegen im Auge des Betrachters....**
- **$E=mc^2$ : Masse ist Energie im Ruhesystem**
- **Ladungen**
  - **Elektromagnetisch**
  - **Schwach**
  - **Stark**
  - **Gravitativ (Masse)**

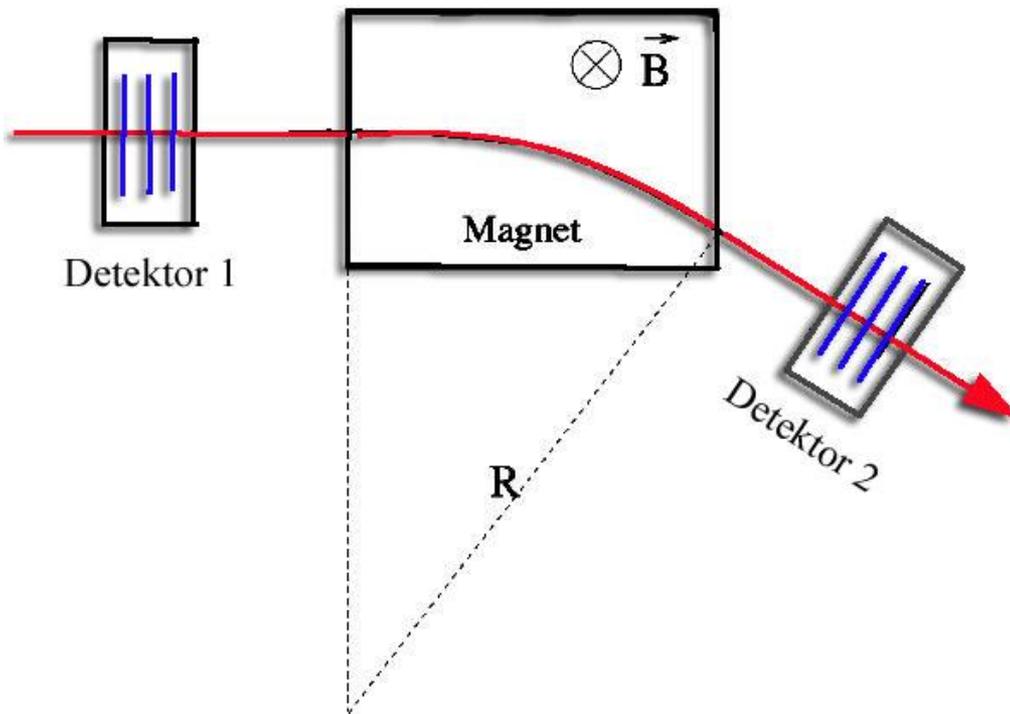
**Newtonsche Physik:**

$$E = \frac{m}{2} v^2 = \frac{m^2}{2m} v^2 = \frac{p^2}{2m}$$

**Relativitätstheorie:**

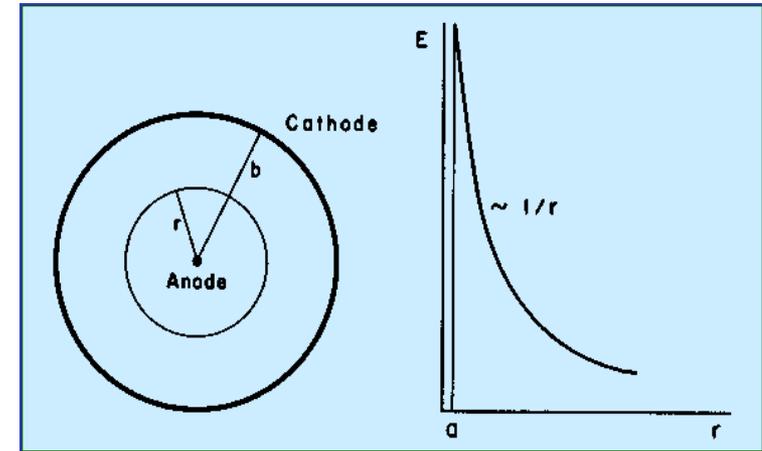
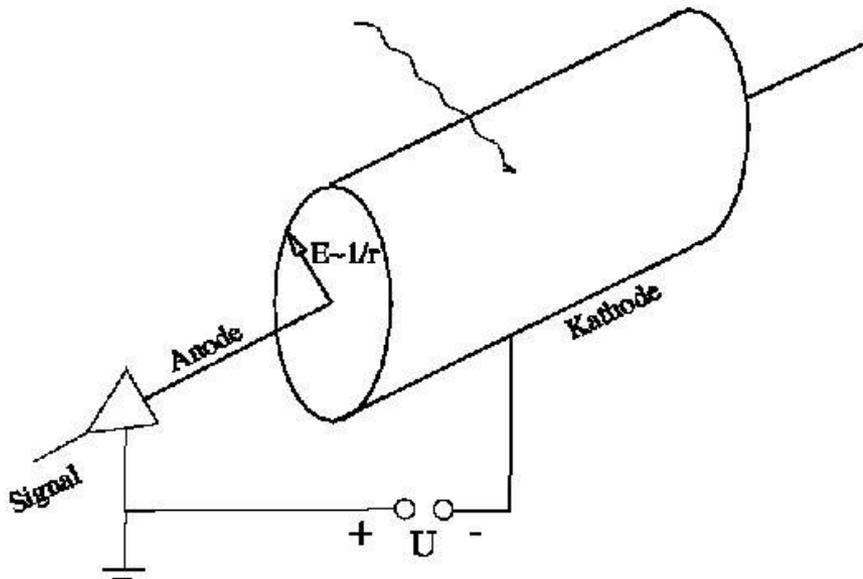
$$E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2}$$

# Prinzip der Impulsmessung

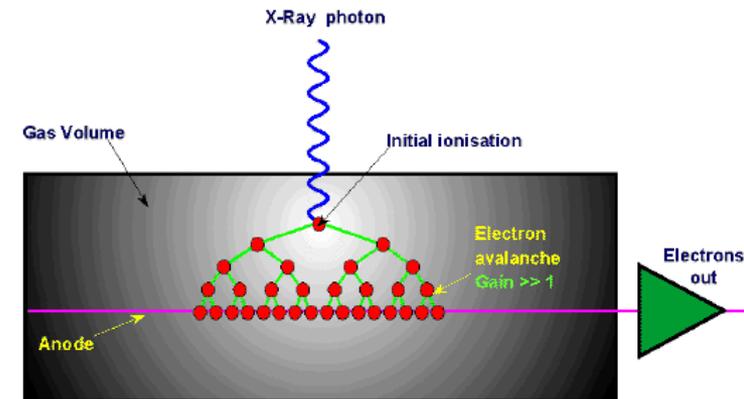


- Stärke der Krümmung → Impuls
- Richtung der Krümmung → Ladung
- Rückführung der Impulsmessung auf eine Ortsmessung
- Häufig ganze Detektoren im Magnetfeld

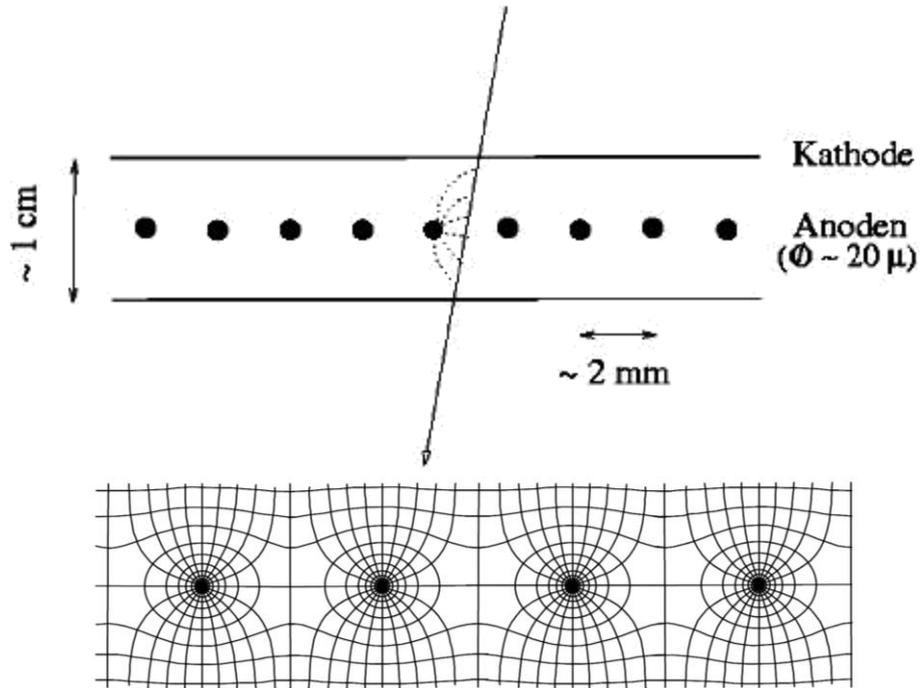
# Ortsmessung: z.B. Geiger-Müller-Zähler



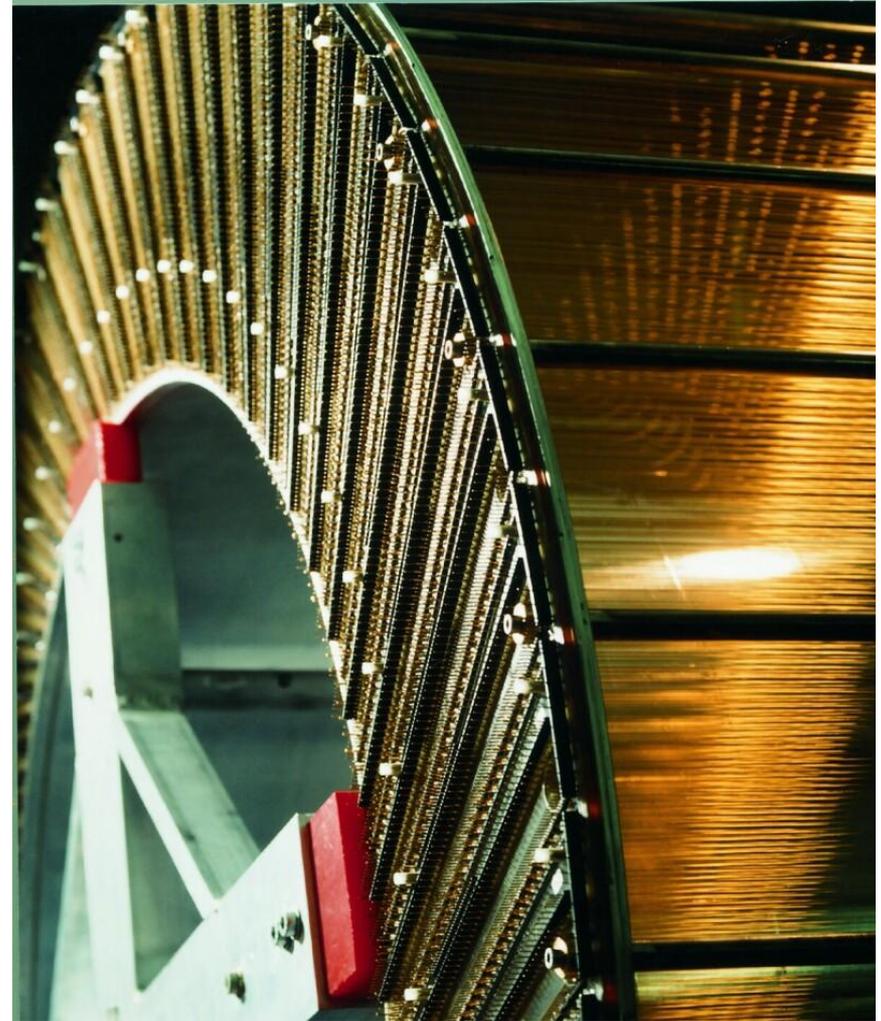
- **Ionisationsladungen driften zum Anodendraht → elektrisches Signal durch Gasverstärkung**
- **Elektronische Auslese**



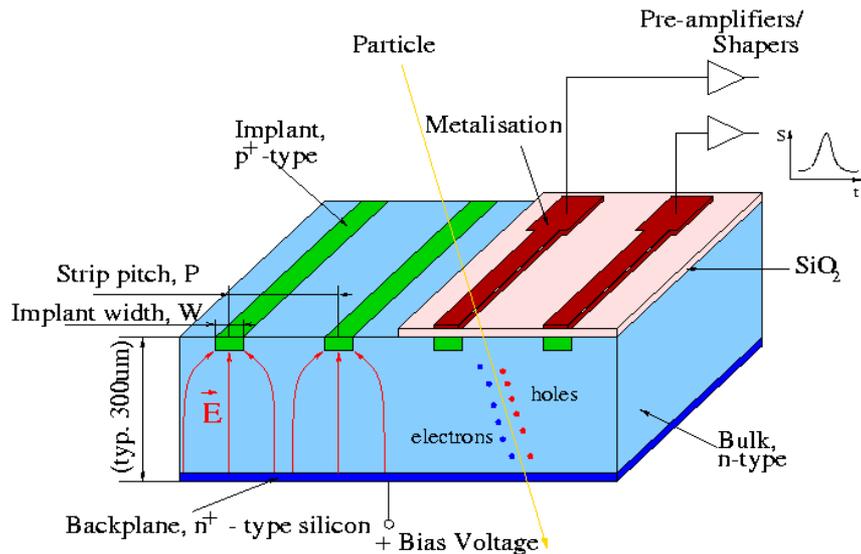
# Ortsbestimmung: Spurkammern



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



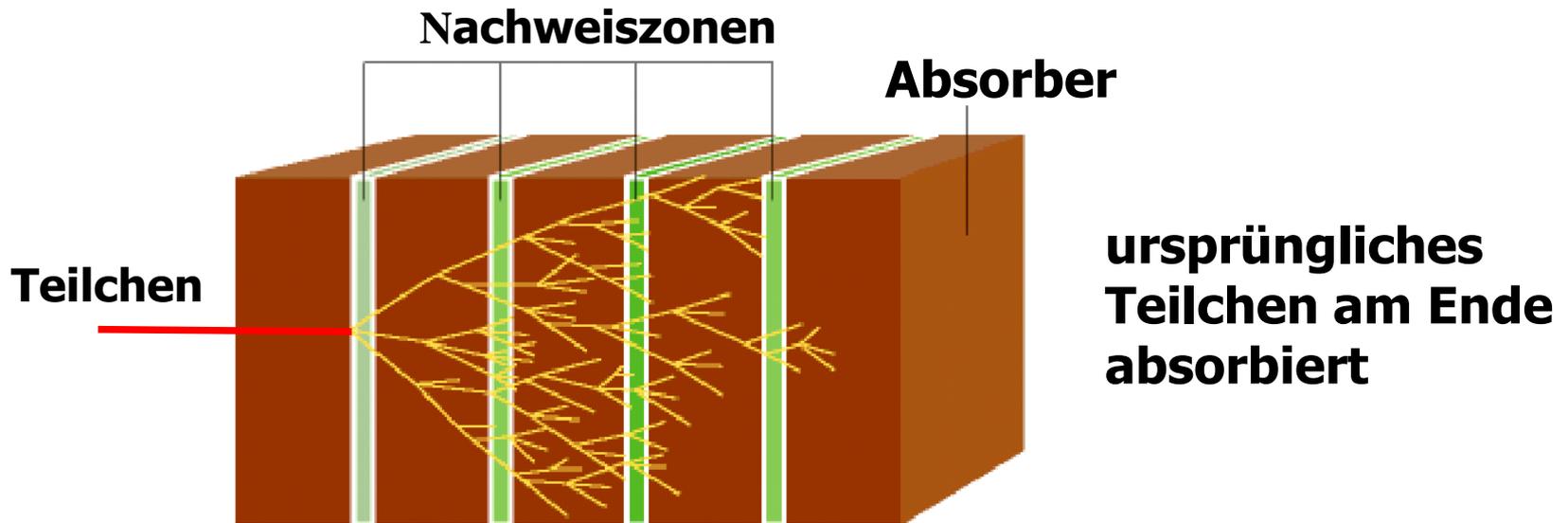
# Ortsbestimmung: Siliziumdetektoren



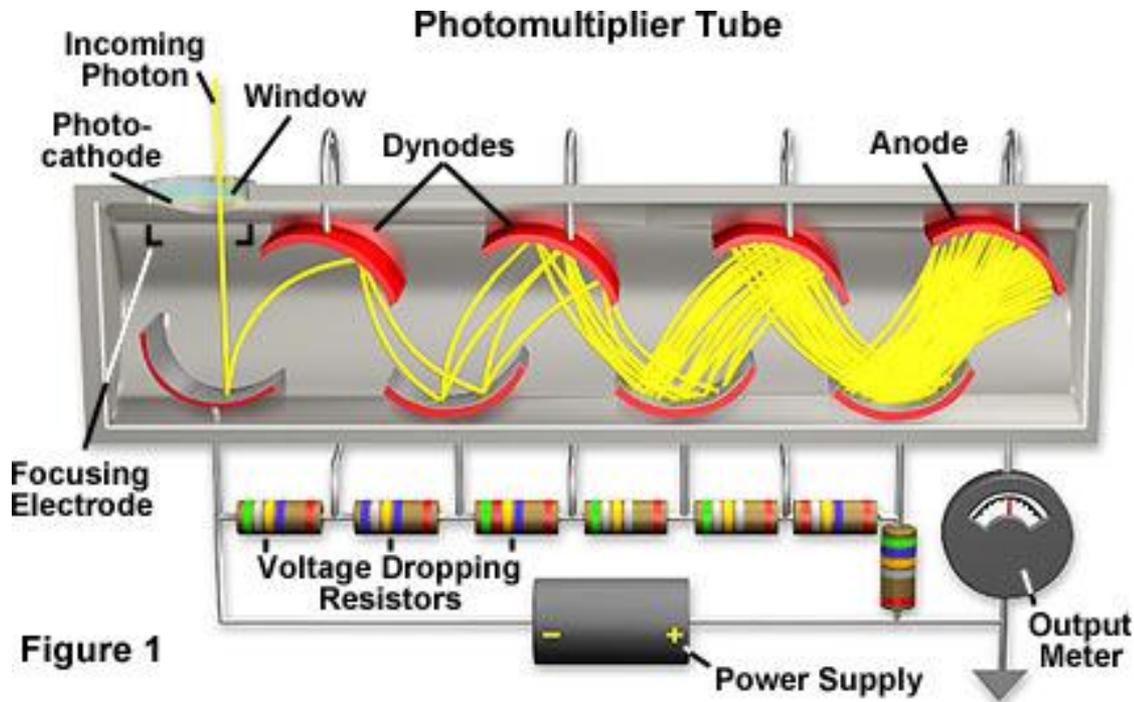
- **Funktionieren ähnlich wie eine in Sperrrichtung geschaltete Diode**
- **Ionisierende Teilchen erzeugen Elektron-Loch-Paare in Halbleiter, die über Elektroden abgesaugt werden**
- **Bessere Auflösung (Genauigkeit) als Drahtkammern (Streifenbreite  $\sim 20 \mu\text{m}$ )**
- **Oft in der Nähe des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

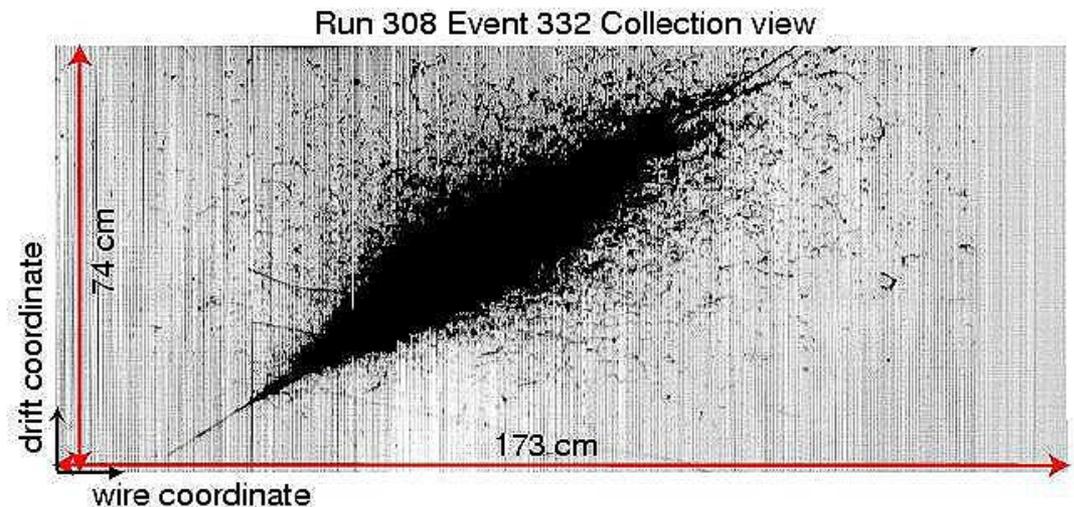
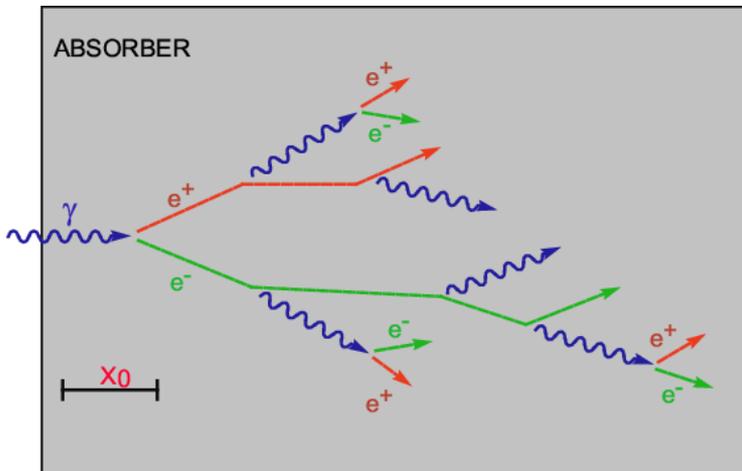


- **Auch PMT ("photo multiplier tube") genannt**
- **Umwandlung von Licht in Spannungspuls**
- **Nachweis von Szintillations- und Tscherenkow-Licht**

# Energiemessung: Kalorimeter (1/3)

- **elektromagnetisches Kalorimeter**

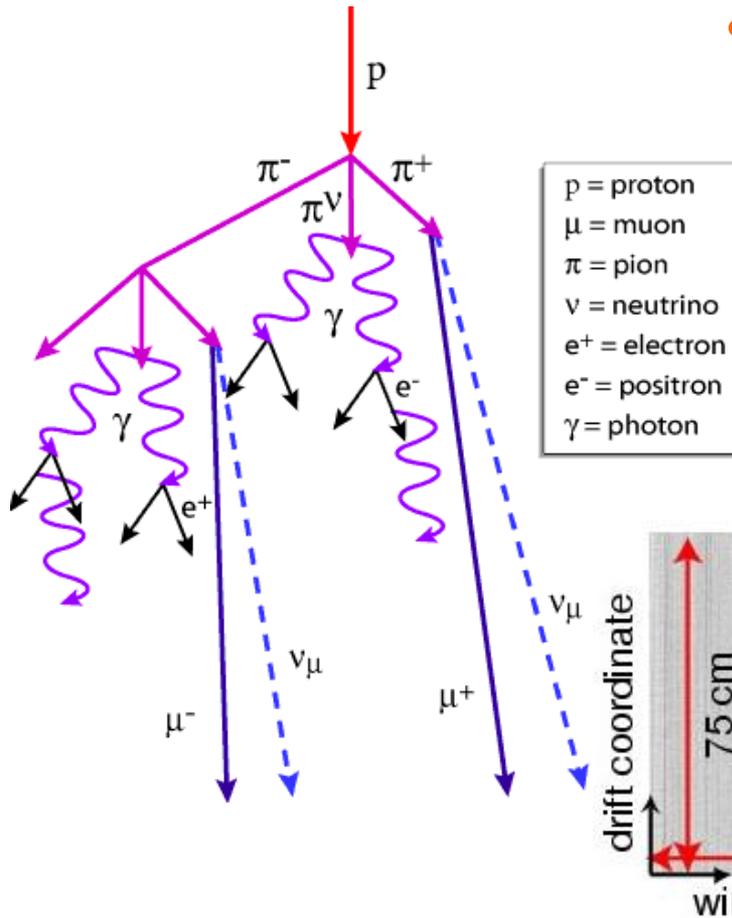
- **Elektronen/Positronen und Photonen verursachen in Materie Schauer aus Photonen und Elektron-Positron-Paaren**
- **kurze, kompakte Schauer**



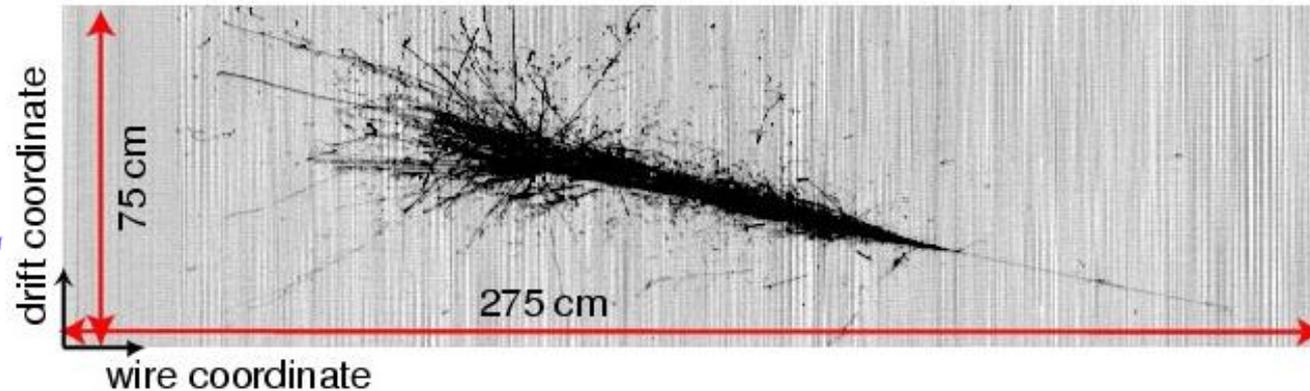
# Kalorimeter (2/3)

- **hadronisches Kalorimeter**

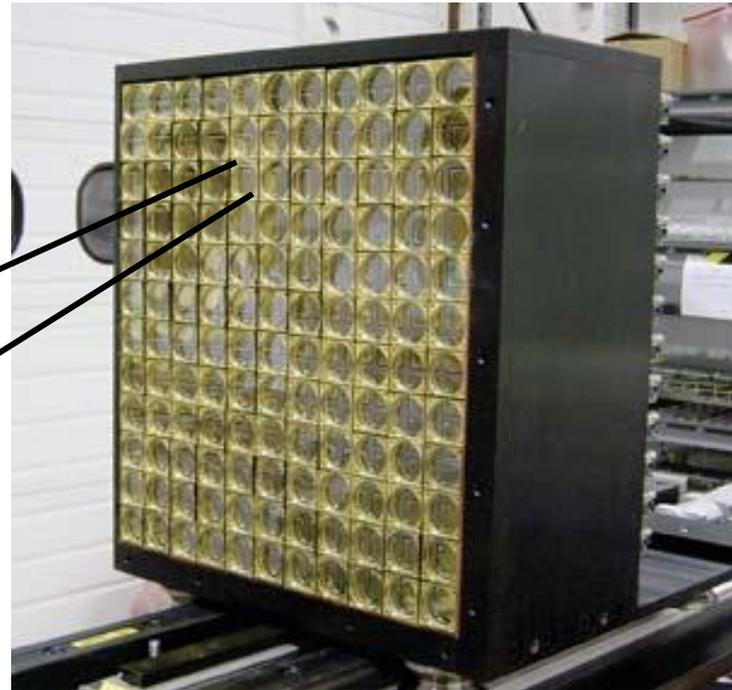
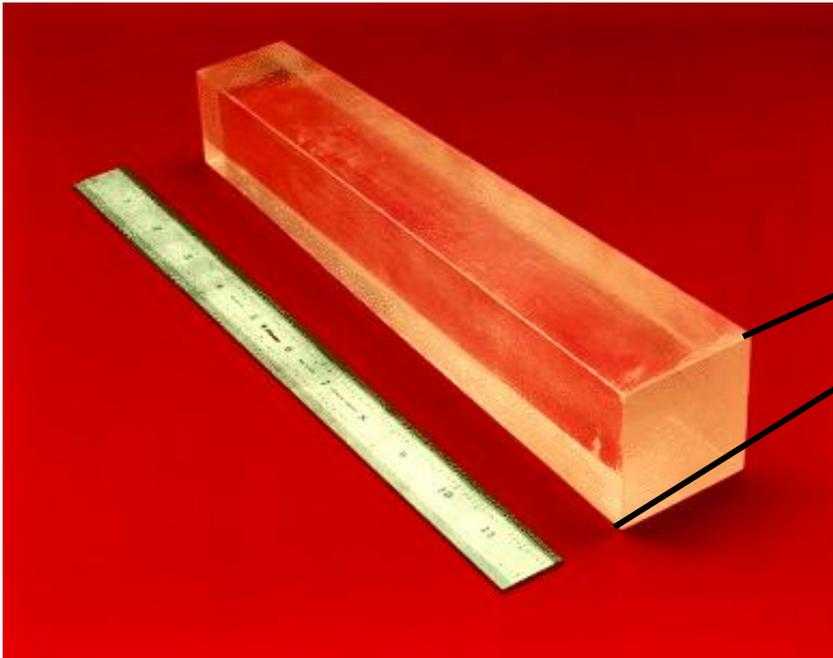
- **Hadronen (z.B. Protonen, Pionen, Neutronen) verursachen in Materie Schauer aus weiteren Hadronen**
- **tiefe, ausgedehnte Schauer**



Run 308 Event 7 Collection view



# Kalorimeter (3/3)



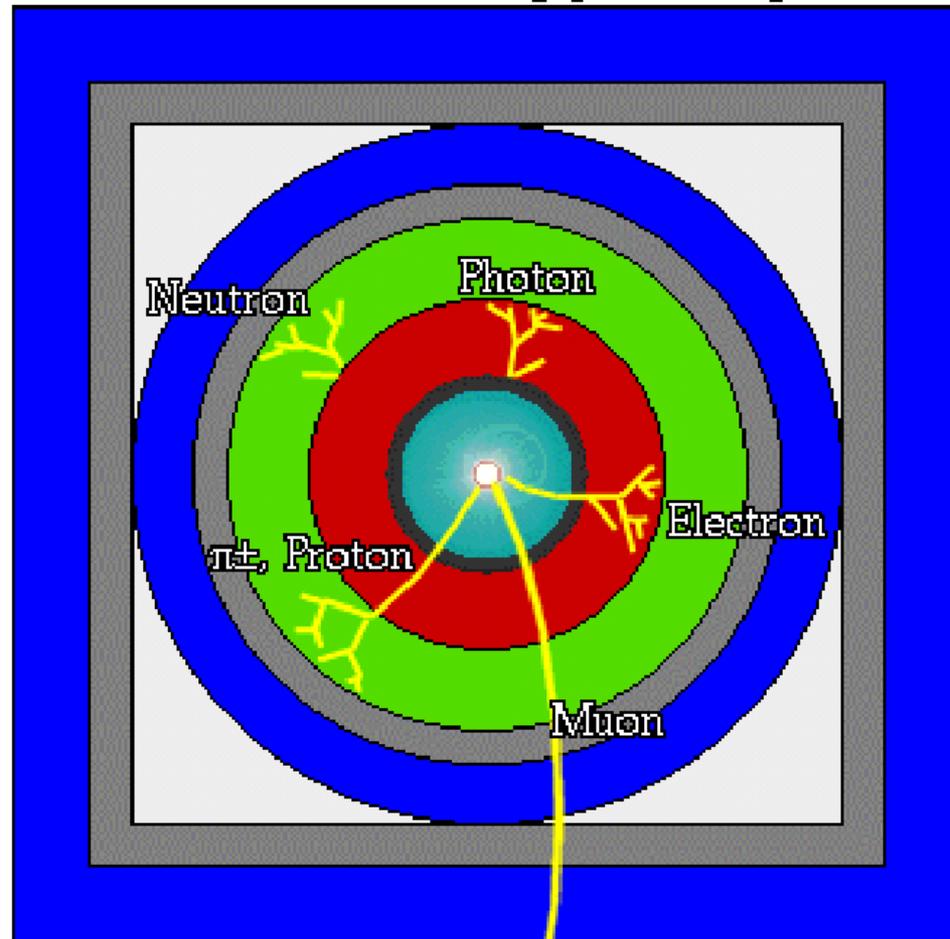
1 m

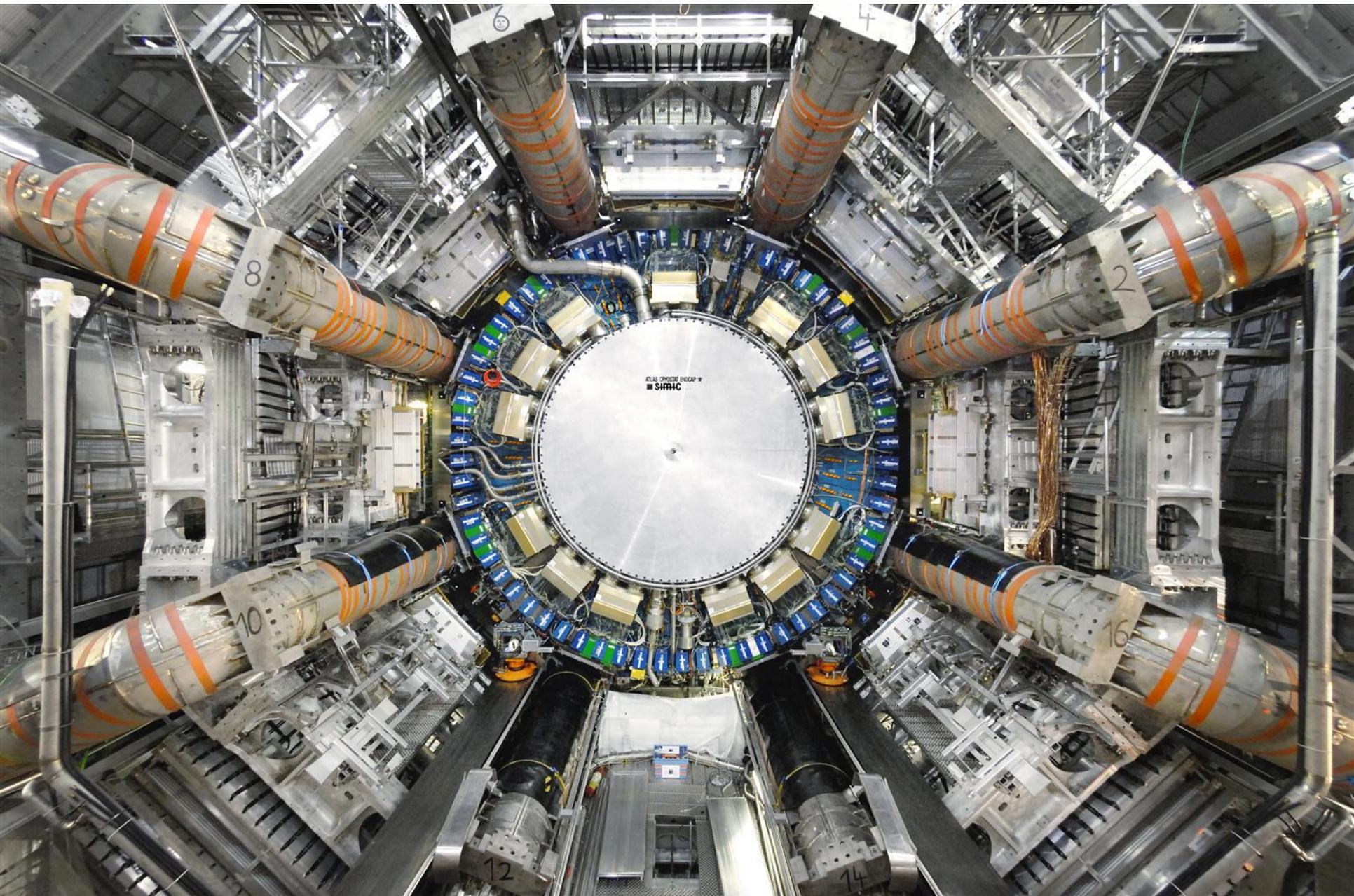
- **Kalorimeter-Materialien: Kristalle, Blei, ...**
- **Ortsauflösung:  $\sim 5$  cm**

# Schematischer Aufbau eines Detektors

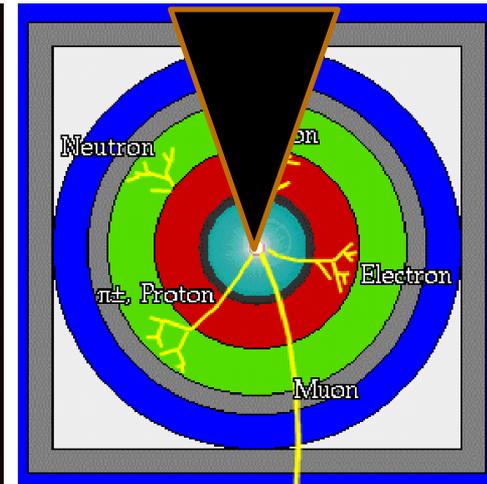
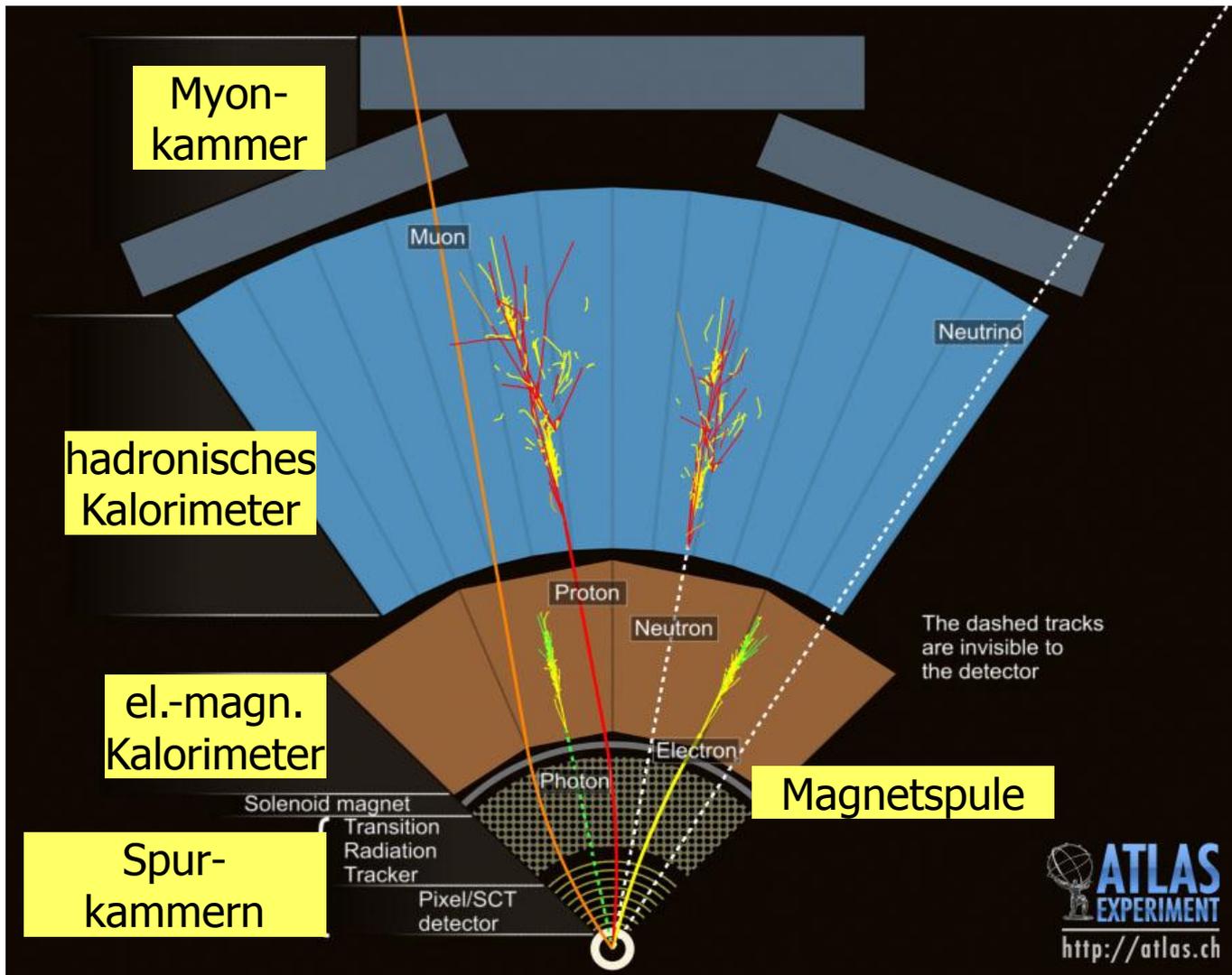
Zwiebelschalenartiger Aufbau aus verschiedenen Komponenten

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

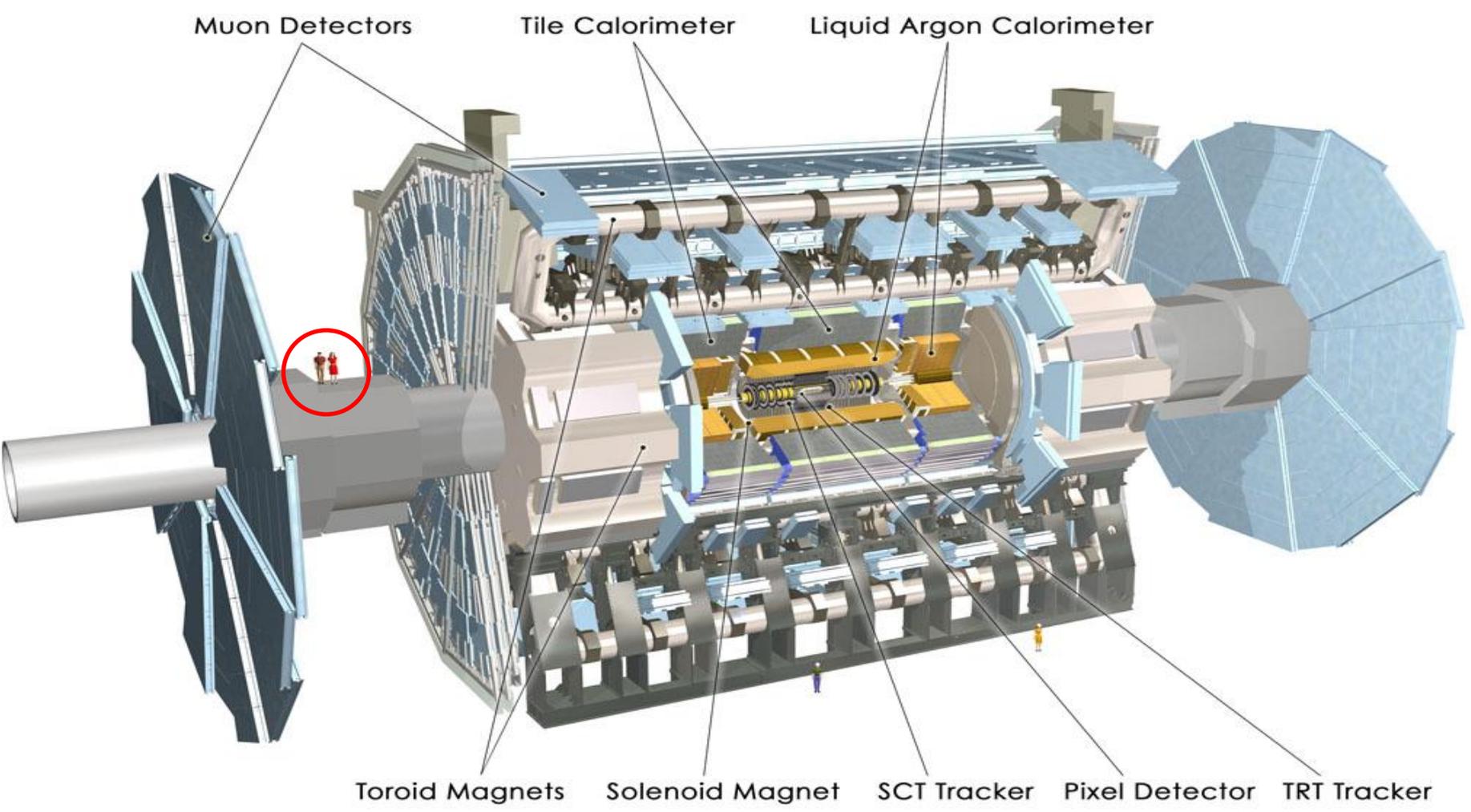




# Unterscheidung der Teilchensorten



# Der ATLAS-Detektor

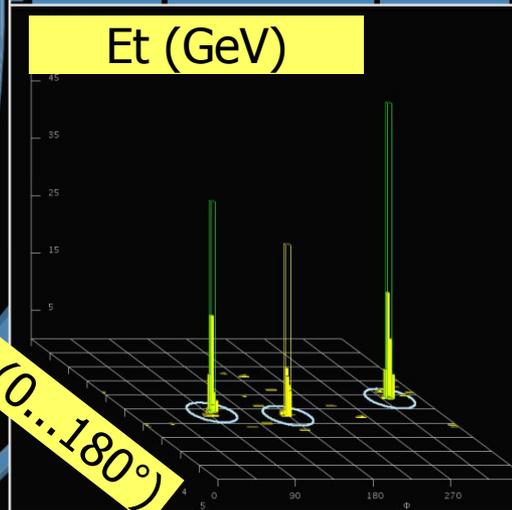
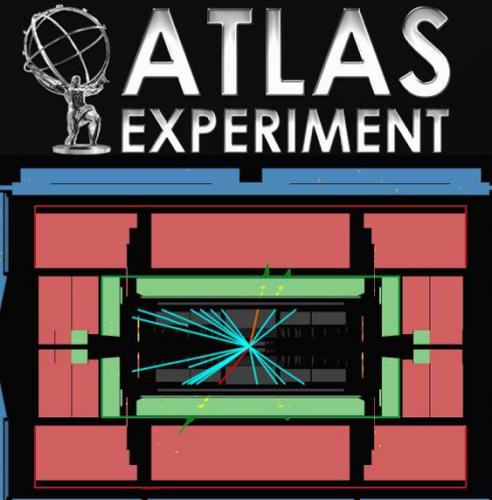
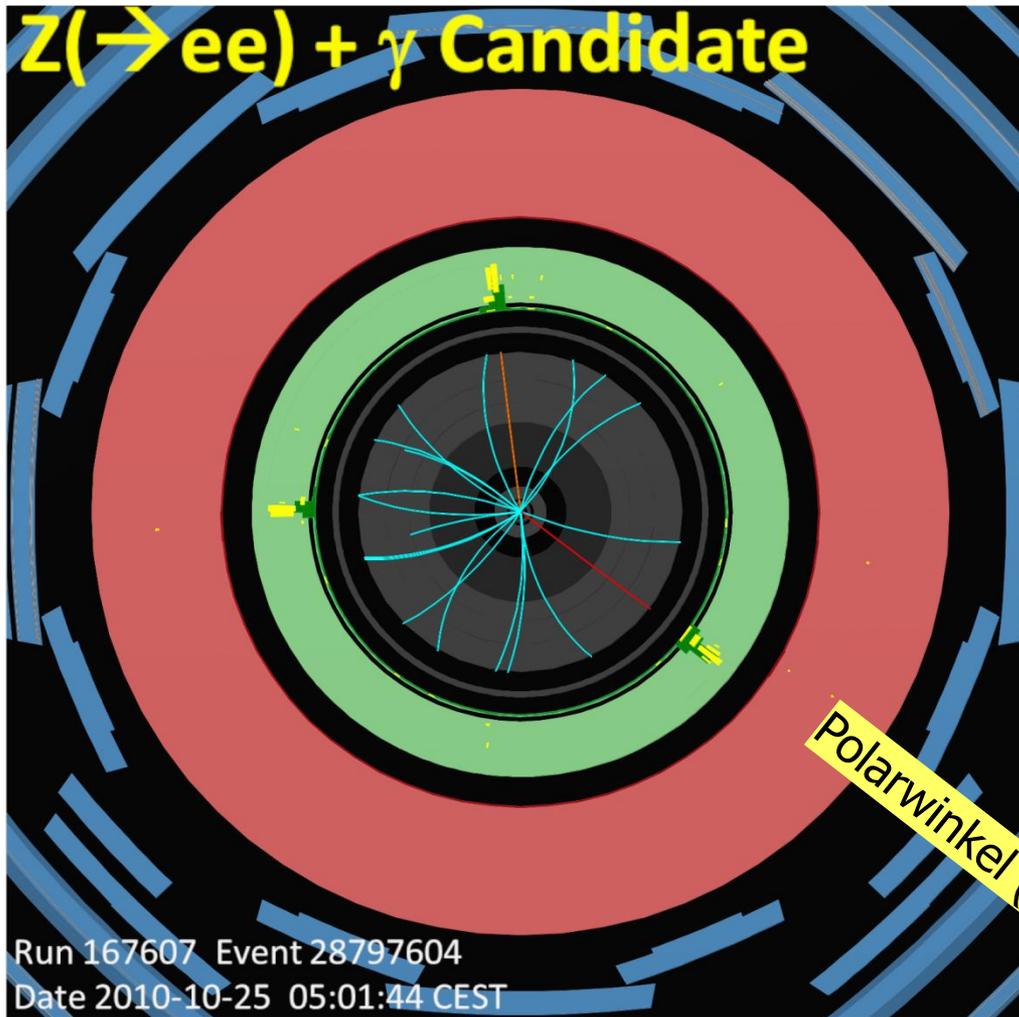


Ullrich Schwanke

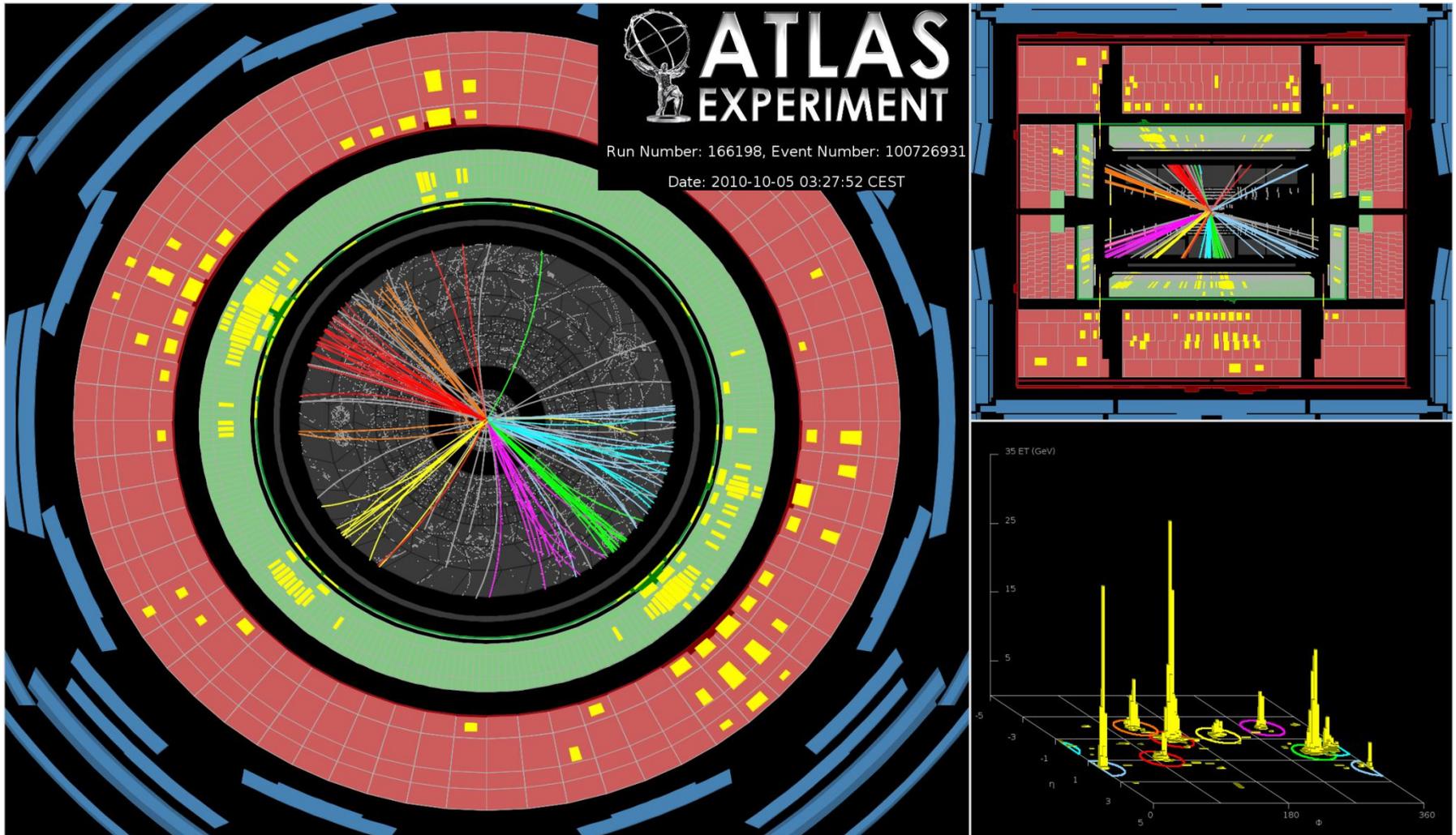
**ATLAS = A Toroidal LHC ApparatuS**

# Ereignisse im ATLAS-Detektor (1/3)

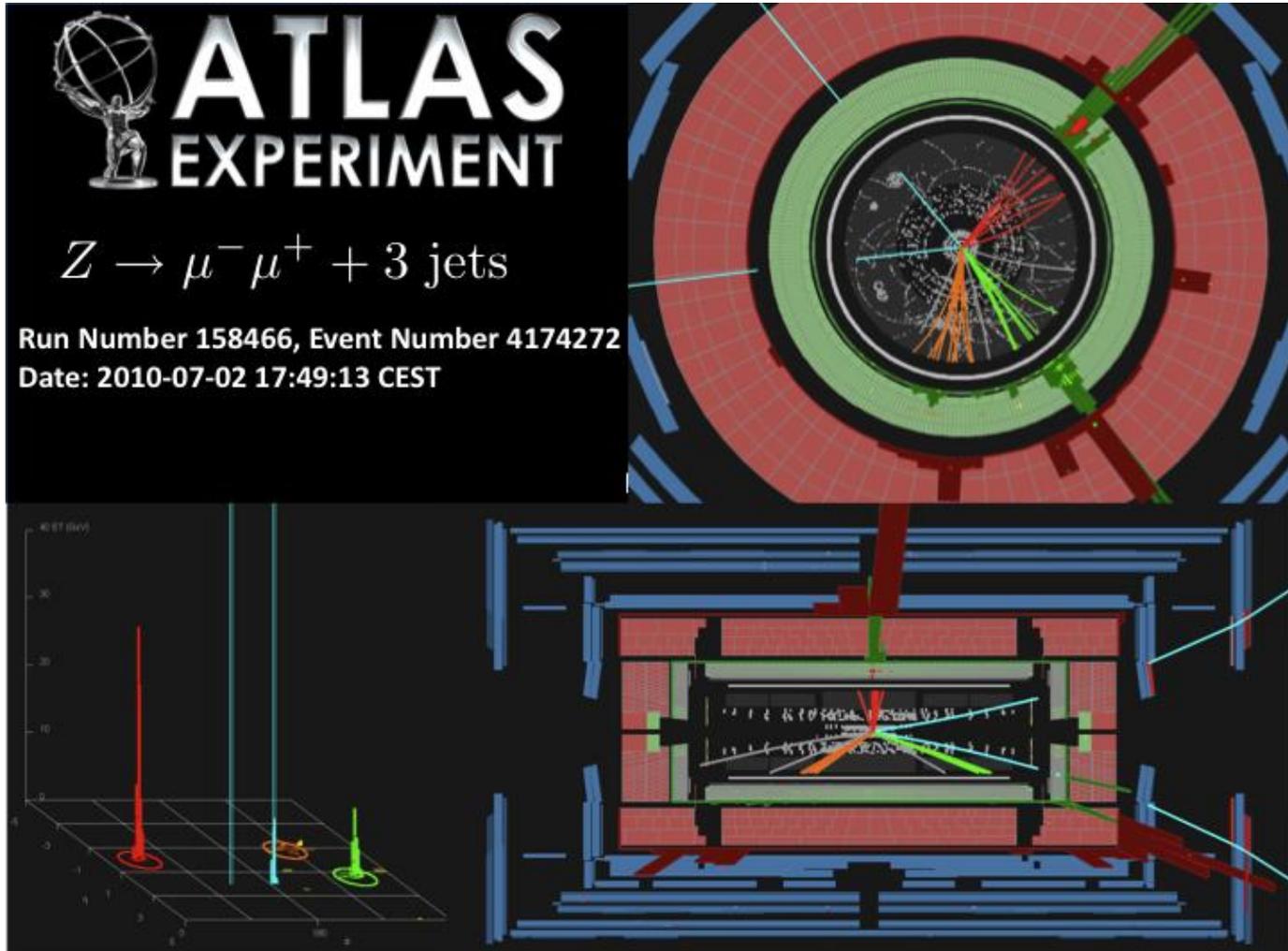
$Z(\rightarrow ee) + \gamma$  Candidate



# Ereignisse im ATLAS-Detektor (2/3)



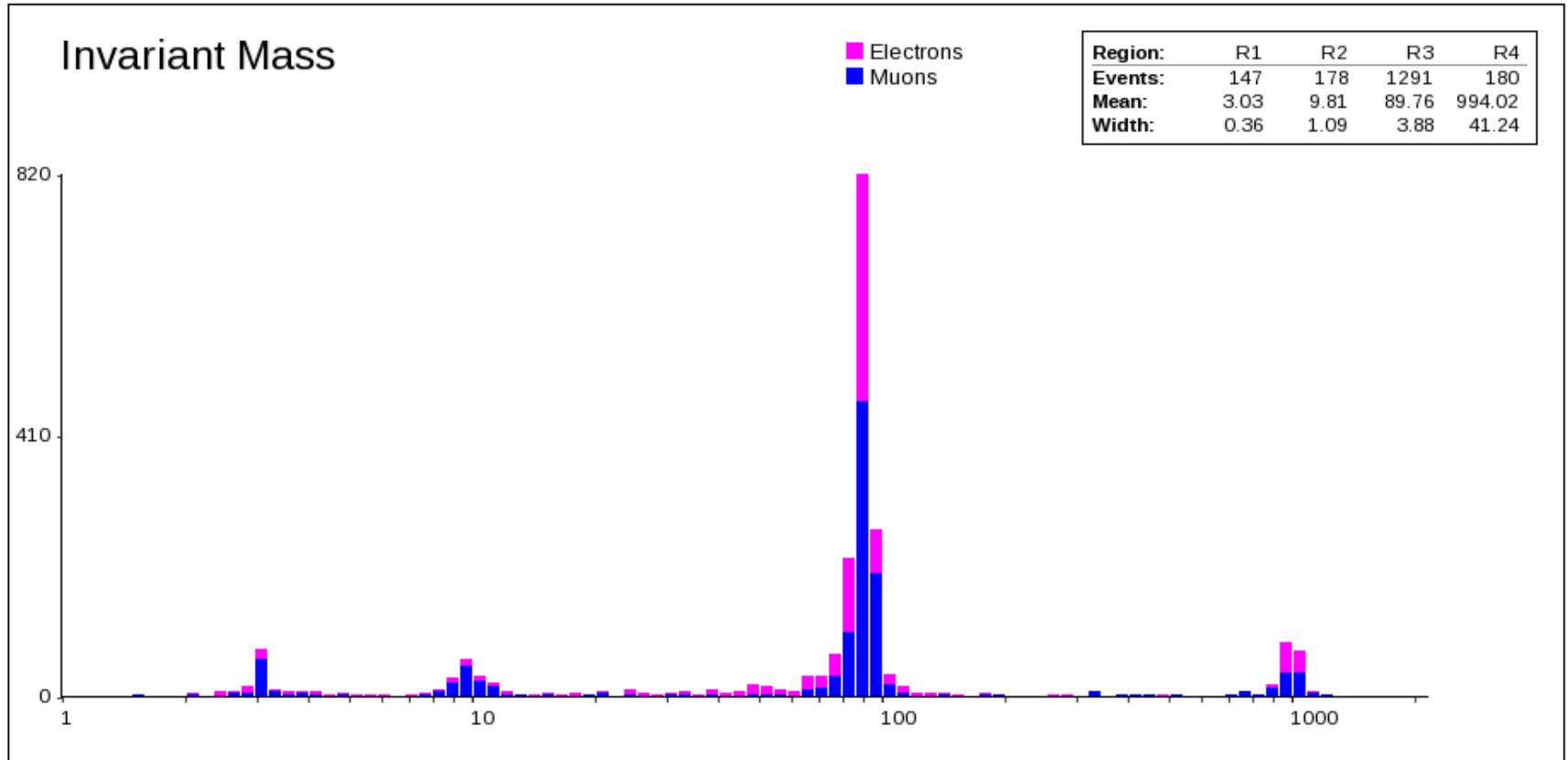
# Ereignisse im ATLAS-Detektor (3/3)



# 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



# Besondere Teilchen



Myon (1/10 Protonmasse)



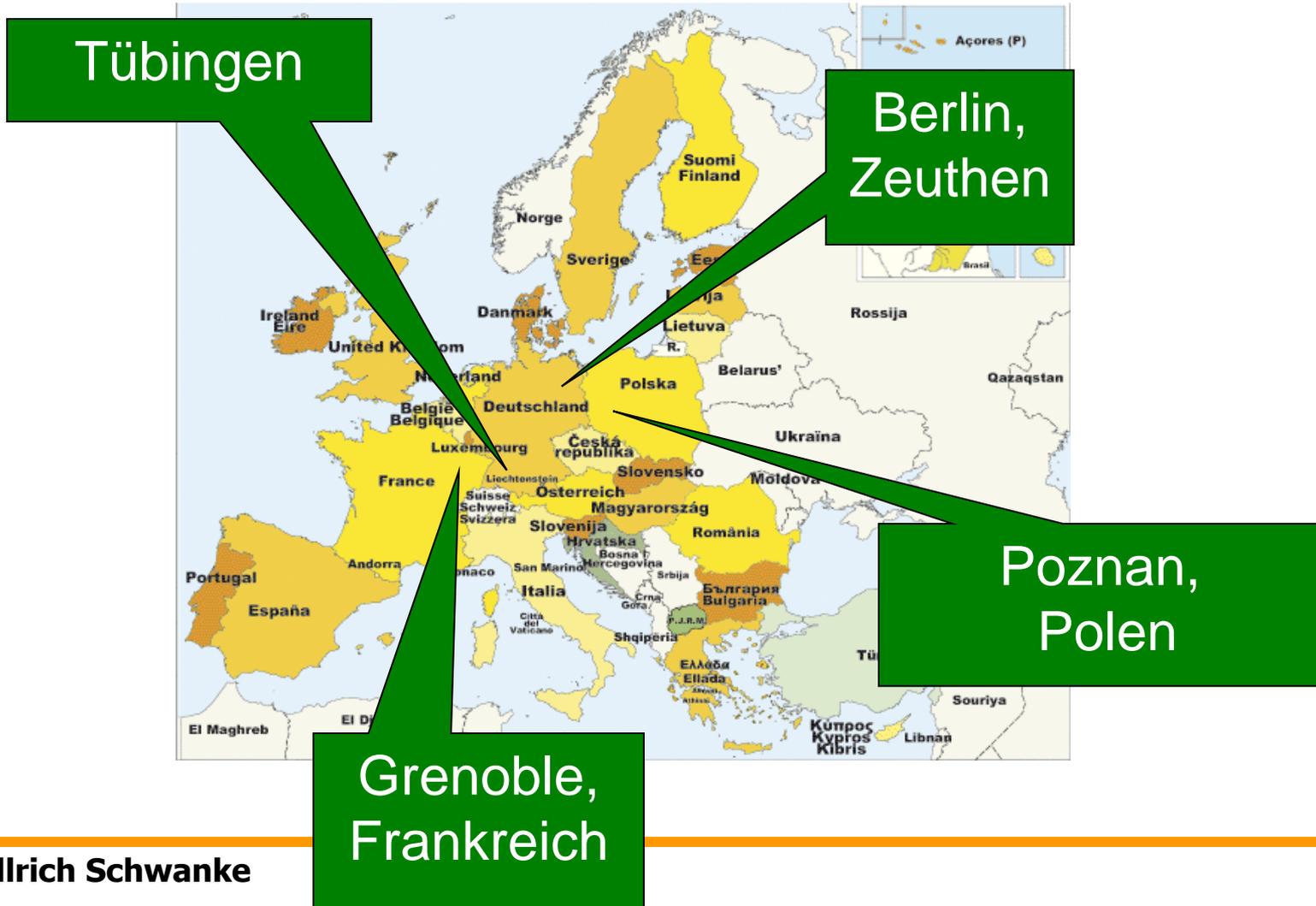
Neutrinos (fast masselos)



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**

# 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!**