

Das Unsichtbare sichtbar machen

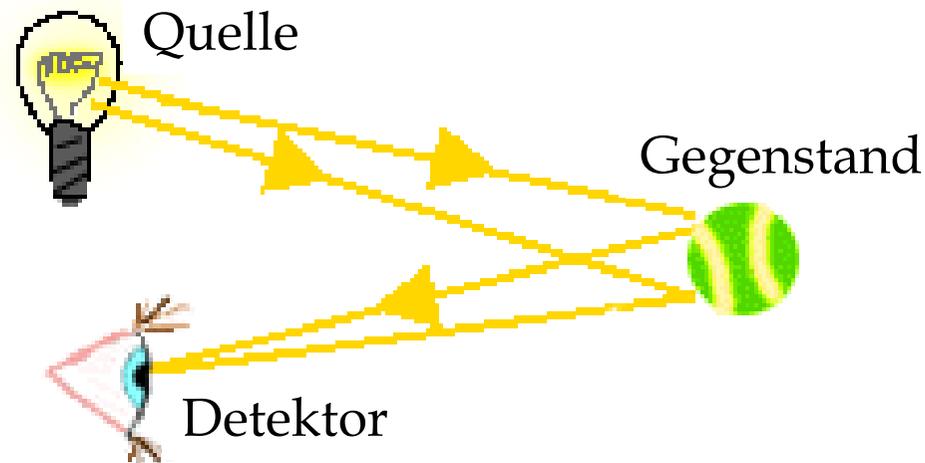
Ullrich Schwanke

Humboldt-Universität zu Berlin



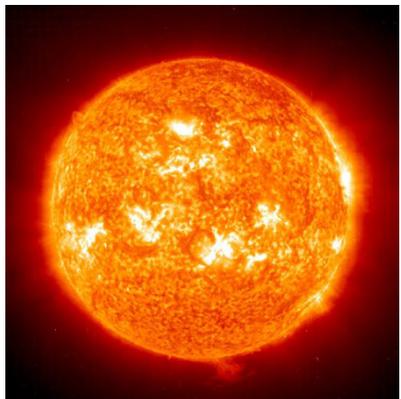
hands on particle physics

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, γ)
 - Aussendung von **Tscherenkow-Licht**
- **Starke Kraft:**
 - Kern-Wechselwirkung
 - hadronische **Schauer**
- **Schwache Kraft:**
 - Neutrino-Nachweis (inverser β -Zerfall)

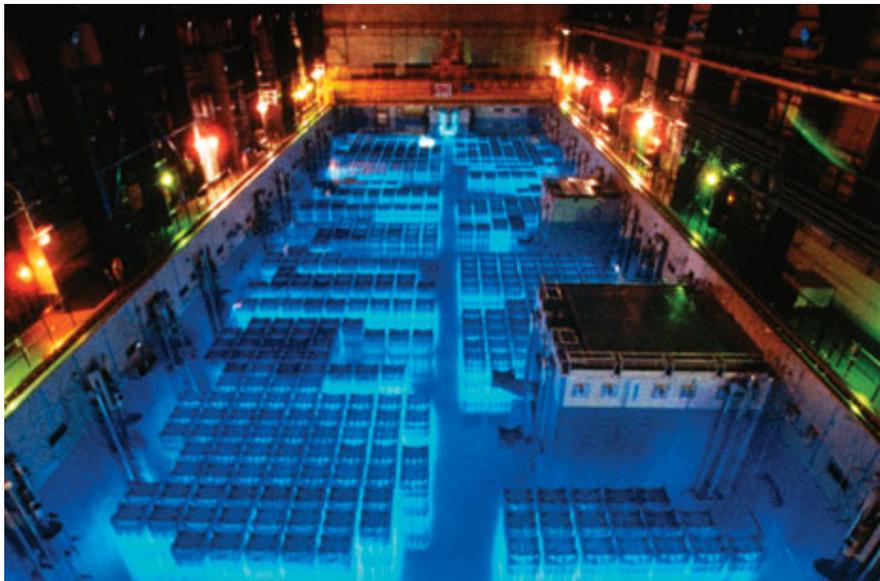
Tscherenkow-Strahlung

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

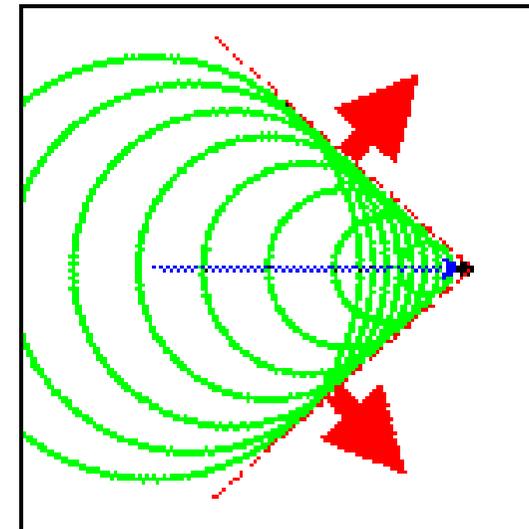
$$c_{medium} = c_{vakuum} / n$$

- 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)

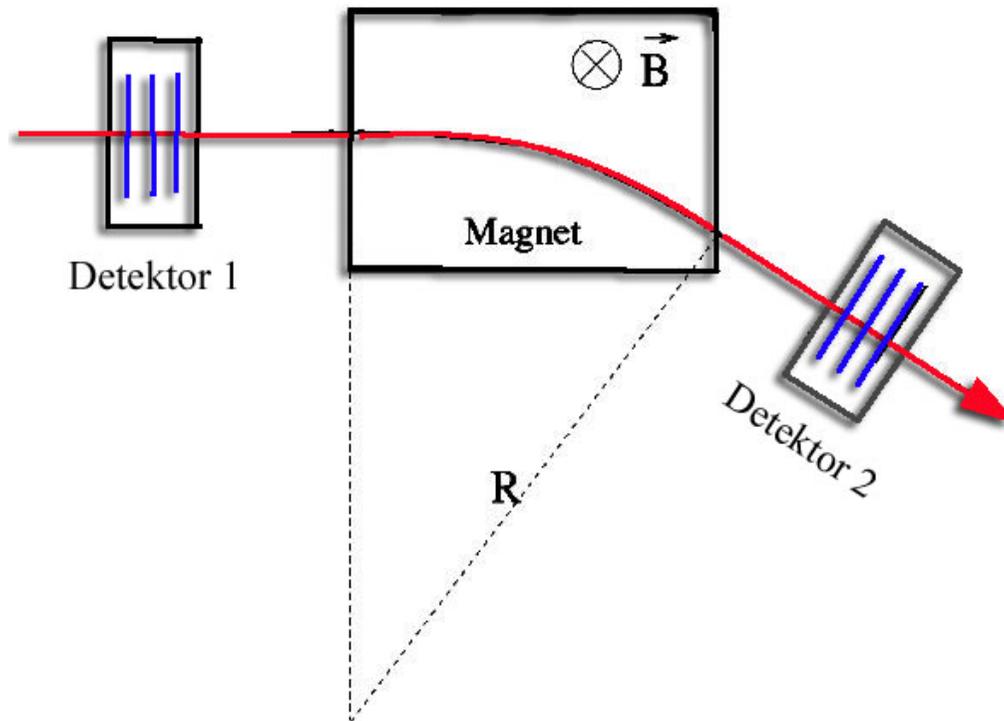
Newtonsche Physik:

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

Relativitätstheorie:

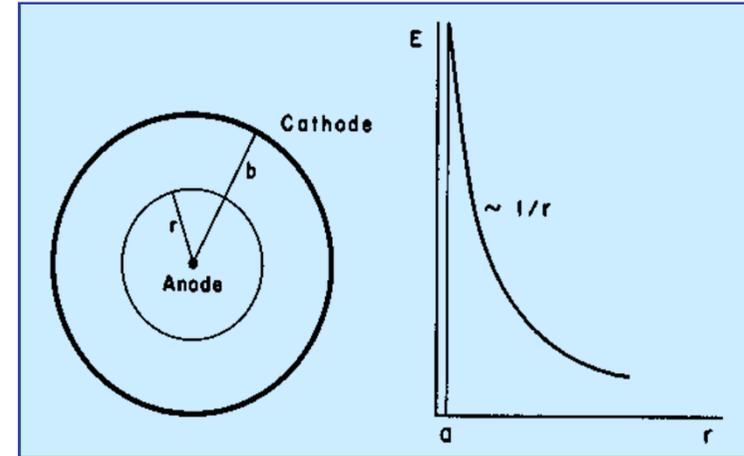
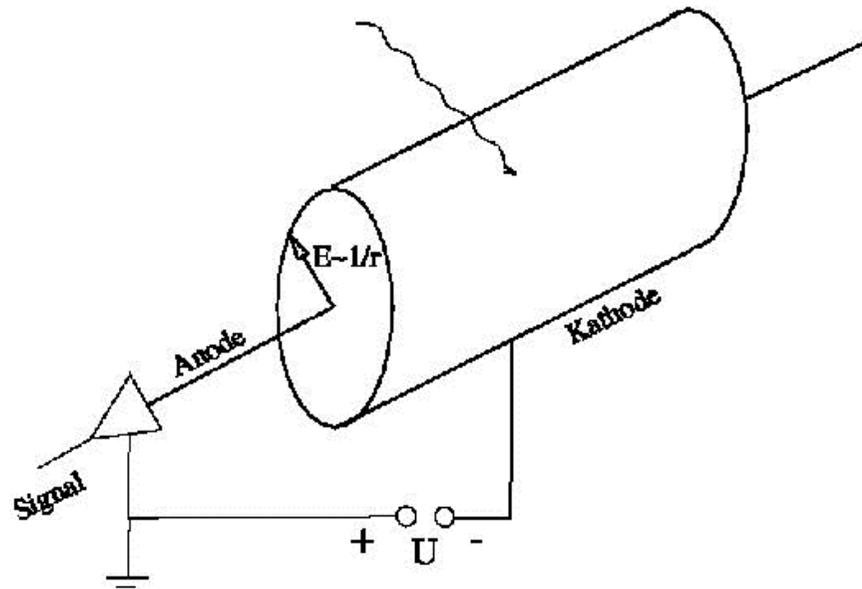
$$E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2}$$

Prinzip der Impulsmessung

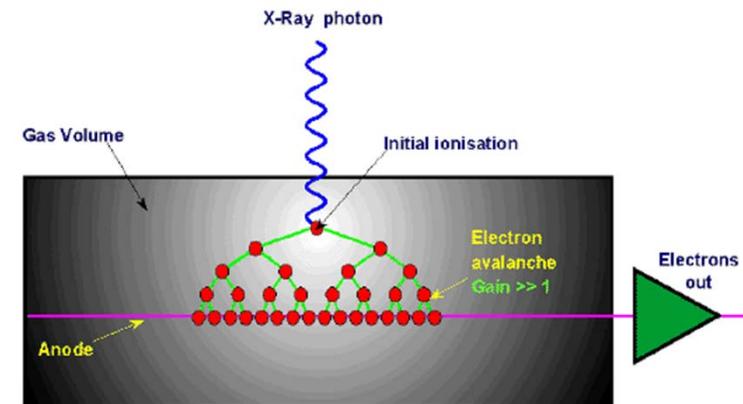


- Stärke der Krümmung → Impuls
- Richtung der Krümmung → Ladung
- Rückführung der Impulsmessung auf eine Ortsmessung
- Häufig ganze Detektoren im Magnetfeld

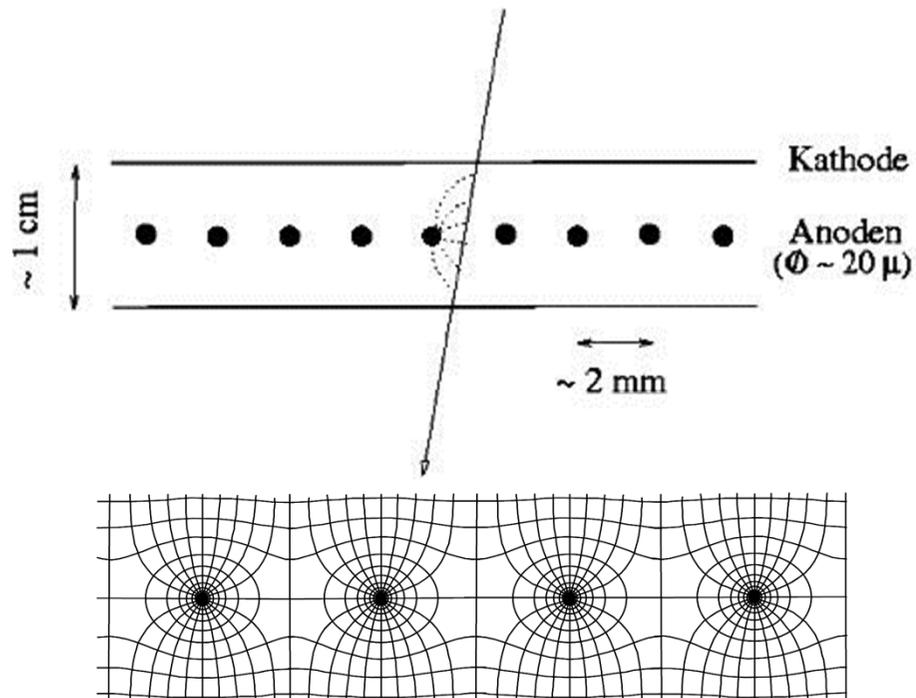
Ortsmessung: z.B. Geiger-Müller-Zähler



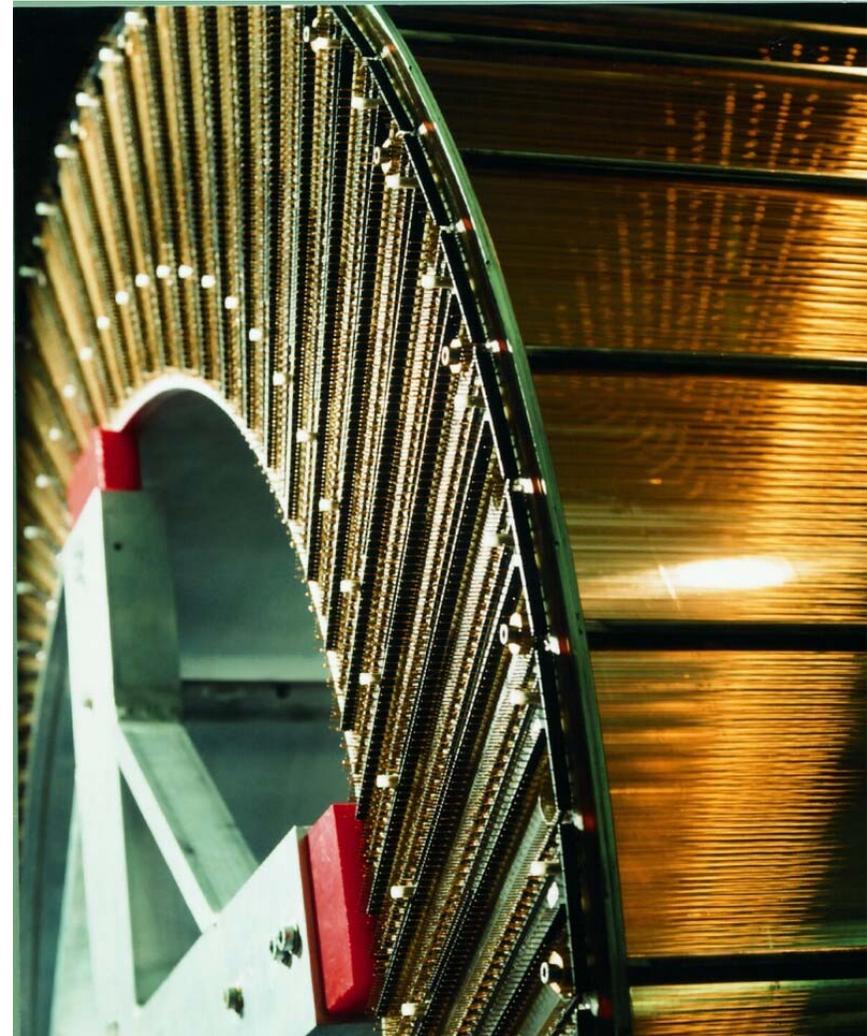
- Ionisationsladungen driften zum Anodendraht → elektrisches Signal durch Gasverstärkung
- Elektronische Auslese



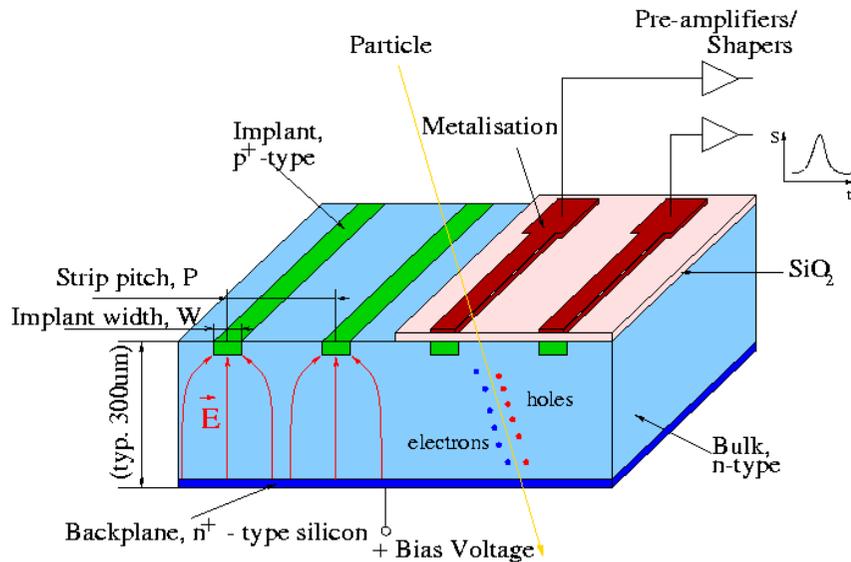
Ortsbestimmung: Spurkammern



- Oft mehrlagig
- Messung von Flugrichtung und Zerfallsstrecke



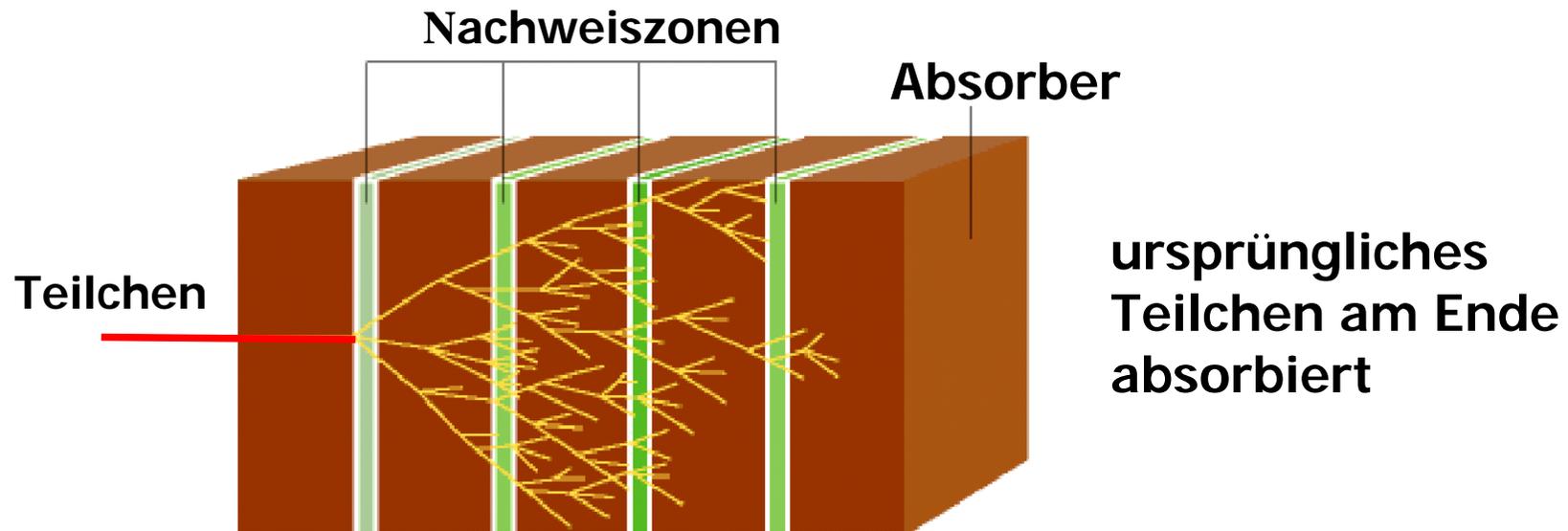
Ortsbestimmung: Siliziumdetektoren



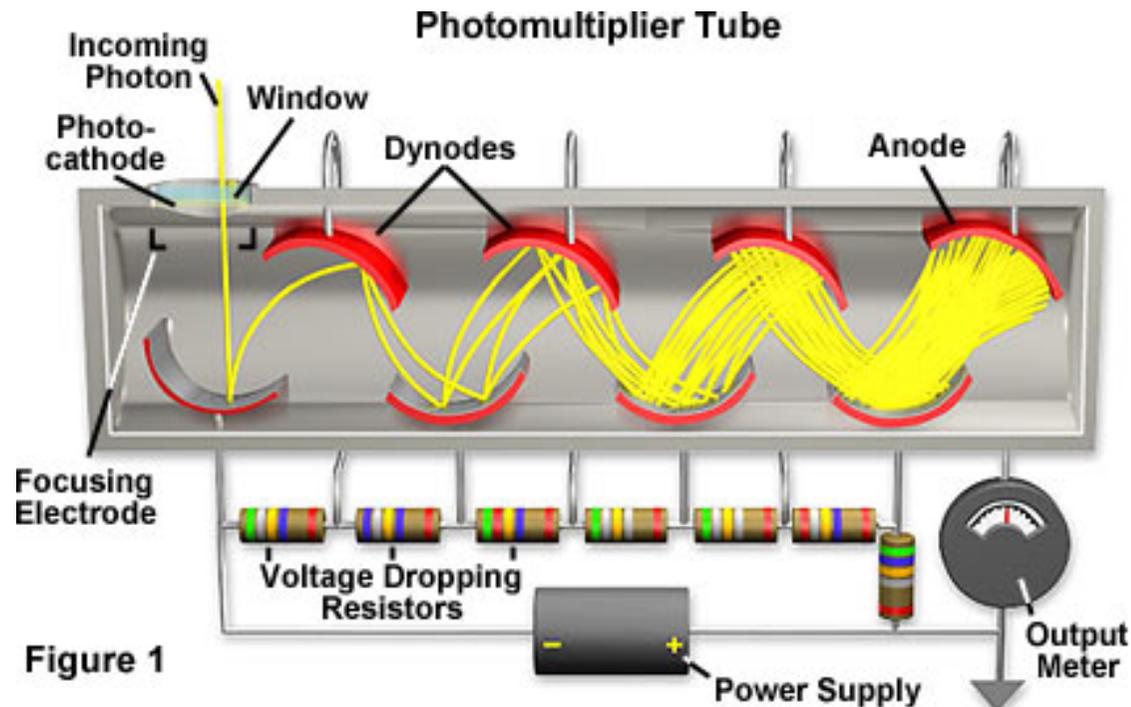
- Funktionieren ähnlich wie eine in Sperrrichtung geschaltete Diode
- Ionisierende Teilchen erzeugen Elektron-Loch-Paare in Halbleiter, die über Elektroden abgesaugt werden
- Bessere Auflösung (Genauigkeit) als Drahtkammern (Streifenbreite $\sim 20 \mu\text{m}$)
- Oft in der Nähe des Wechselwirkungspunktes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



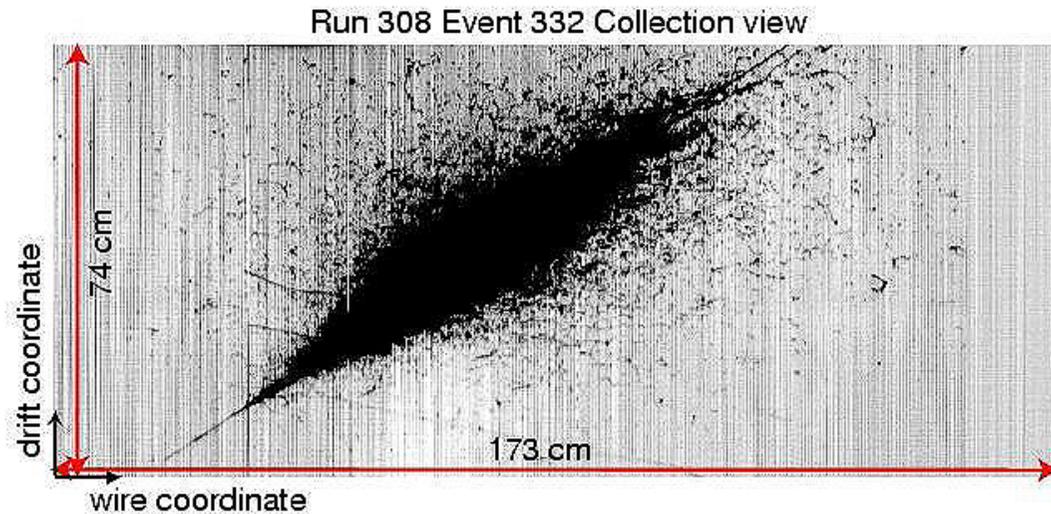
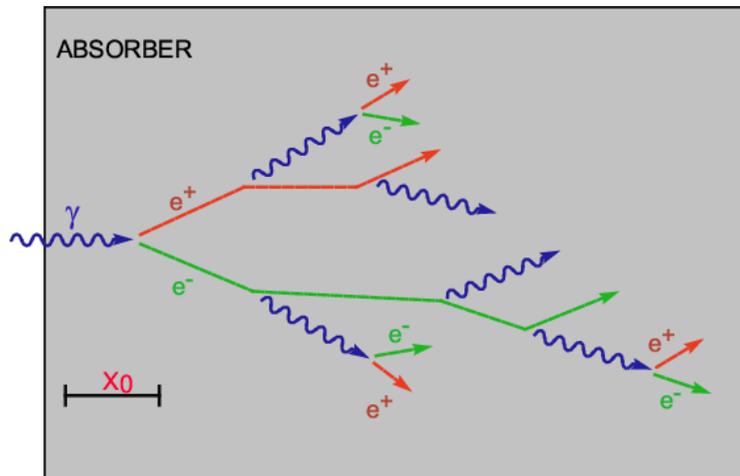
Photovervielfacher-Röhren



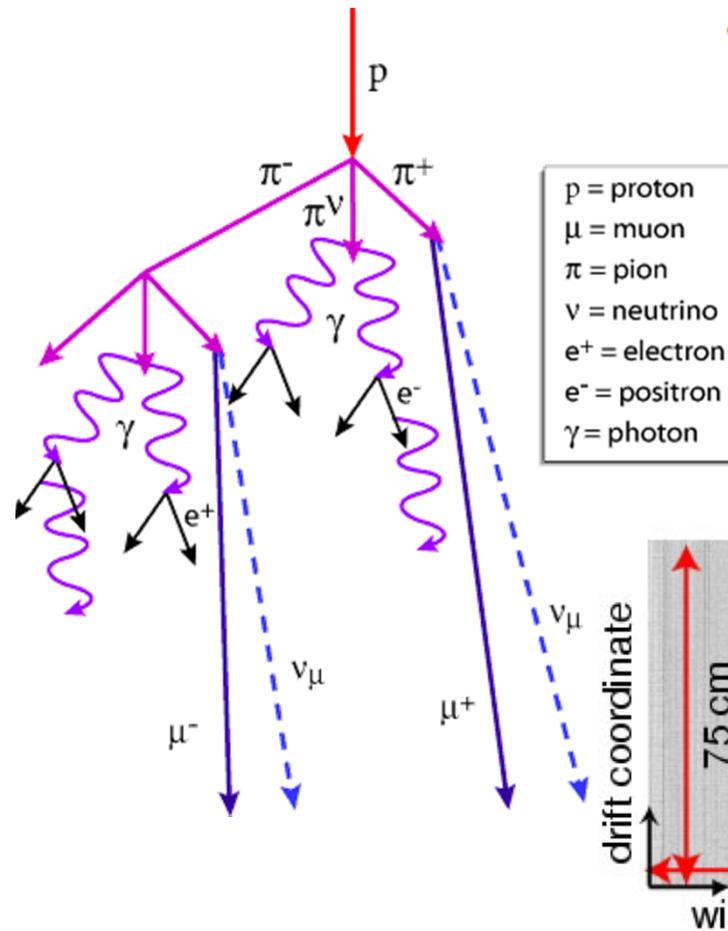
- Auch PMT (“photo multiplier tube”) genannt
- Umwandlung von Licht in Spannungspuls
- Nachweis von Szintillations- und Tscherenkow-Licht

Energiemessung: Kalorimeter (1/3)

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



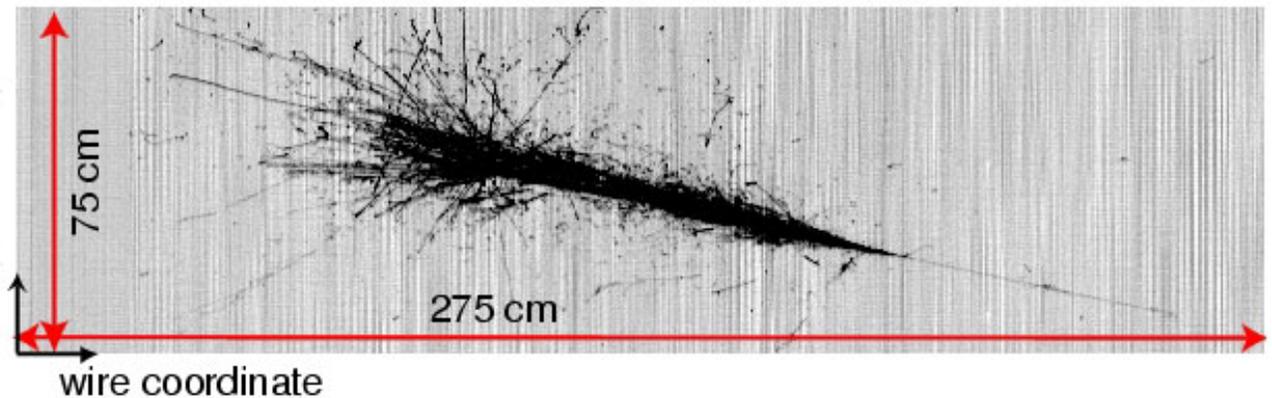
Kalorimeter (2/3)



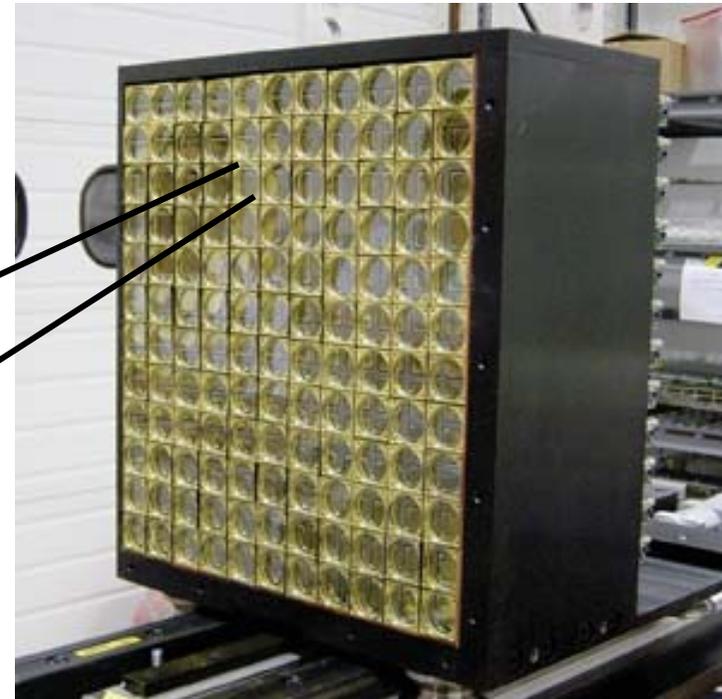
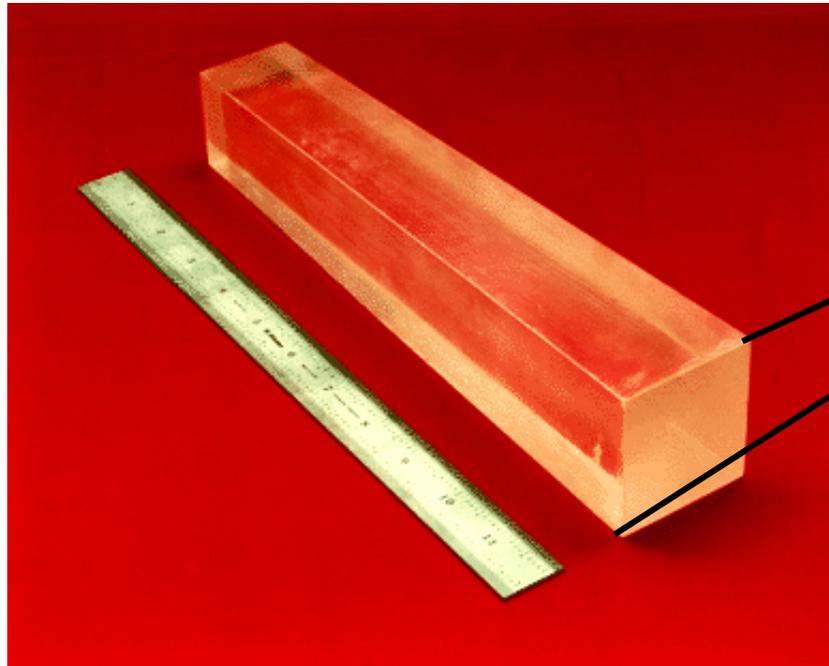
- **hadronisches Kalorimeter**

- 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)



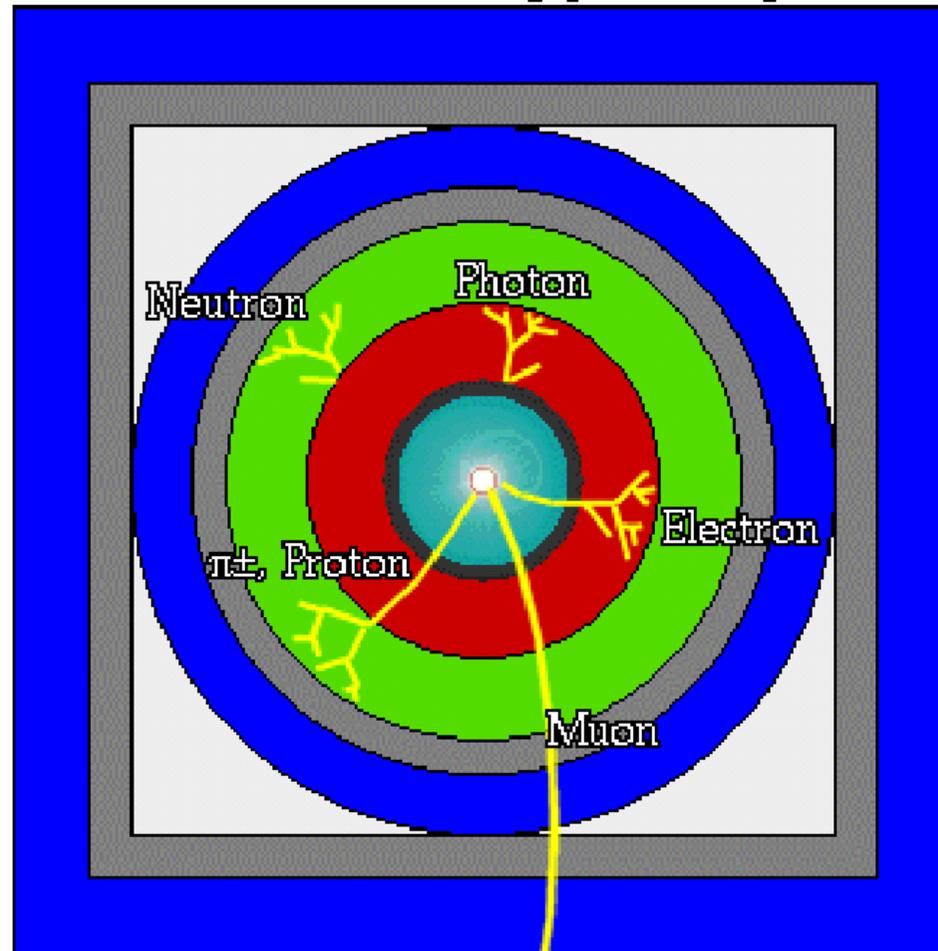
1 m

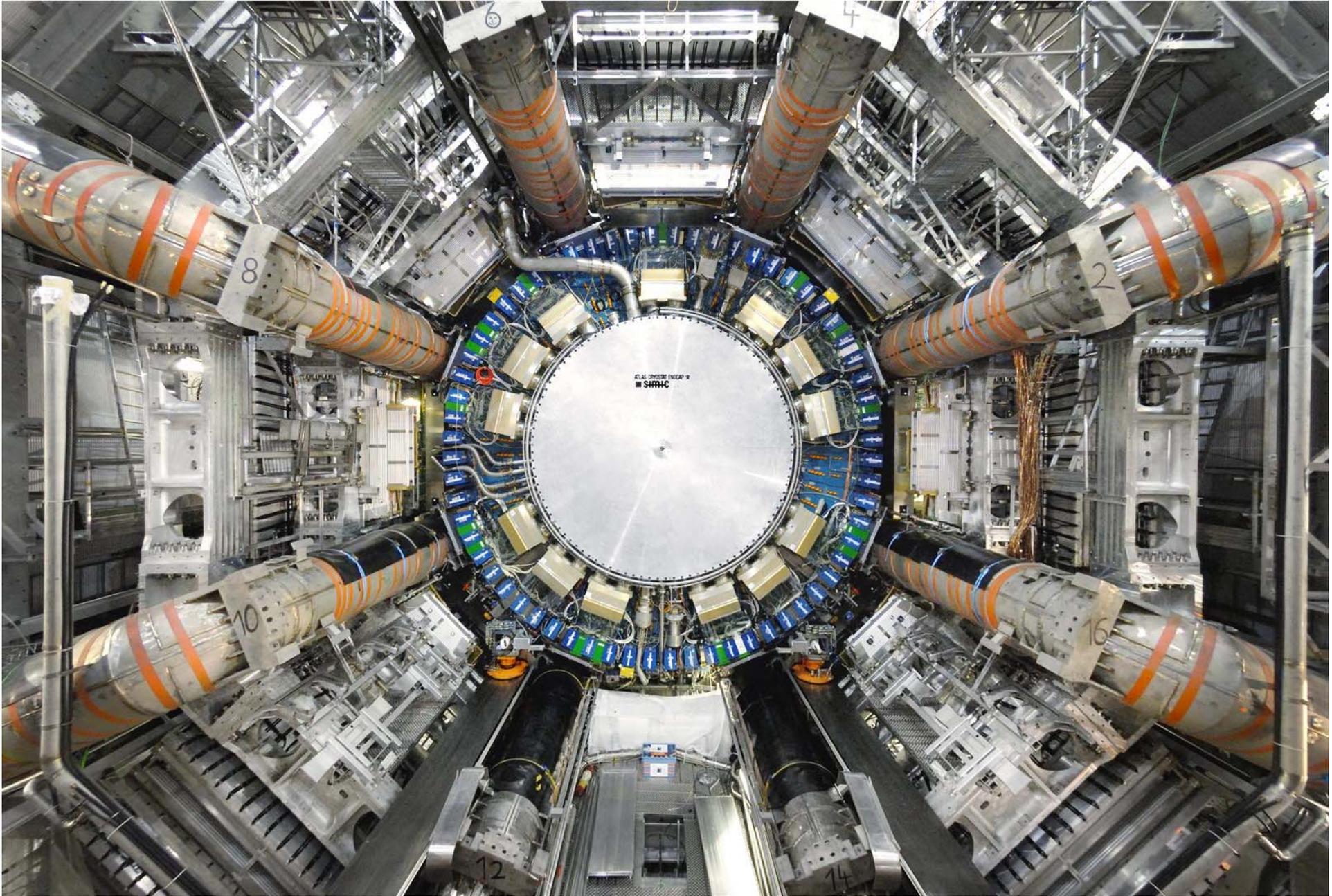
- Kalorimeter-Materialien: Kristalle, Blei, ...
- Ortsauflösung: ~5 cm

Schematischer Aufbau eines Detektors

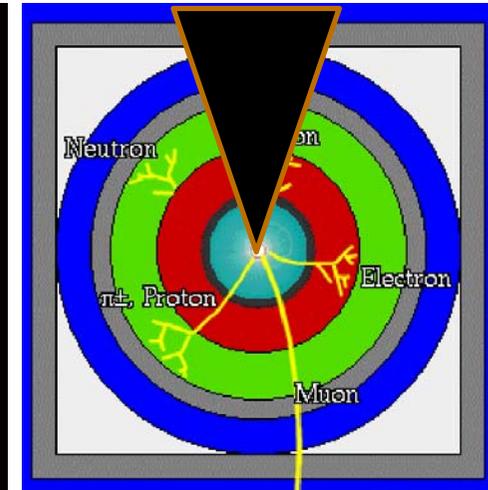
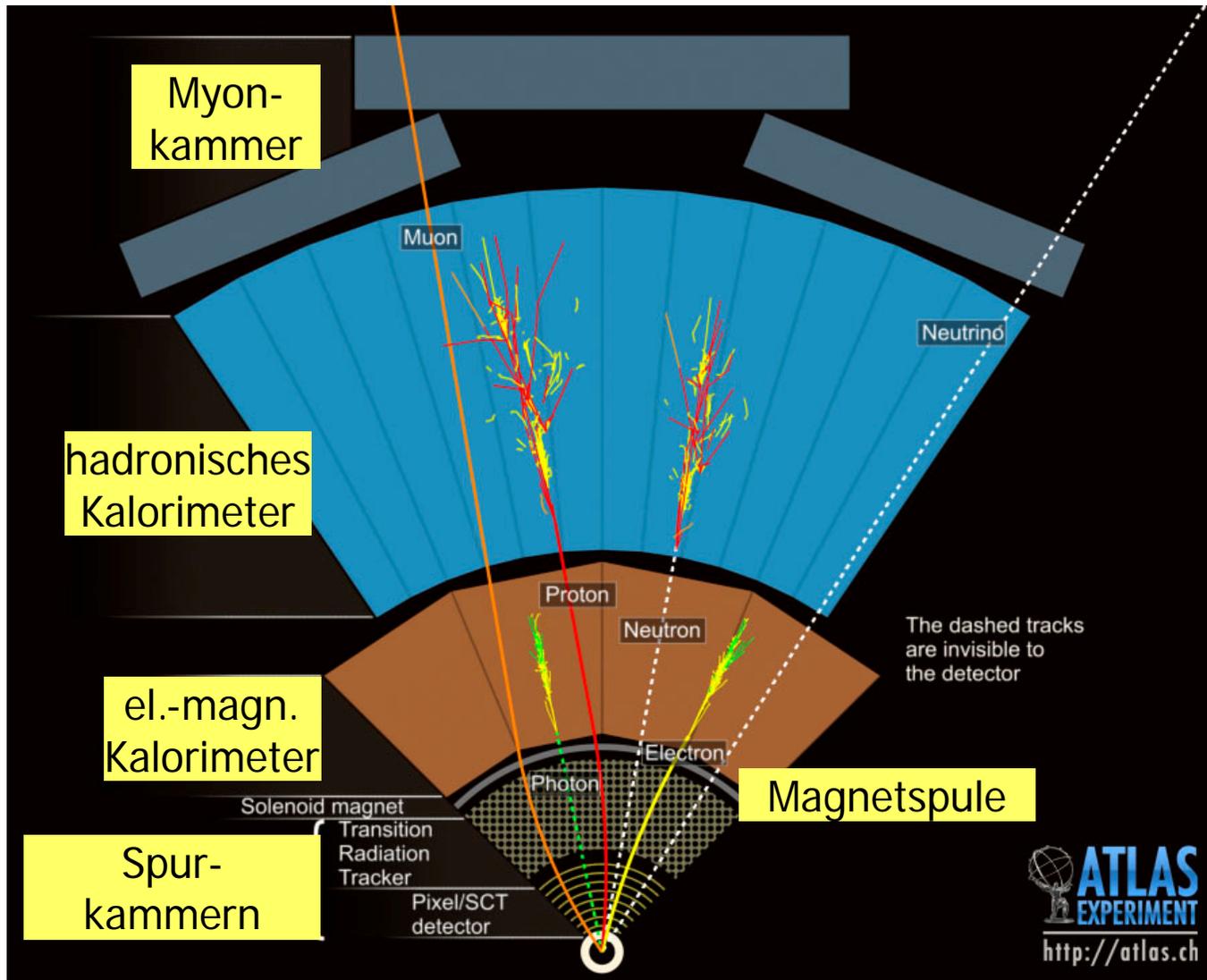
Zwiebelschalenartiger Aufbau aus verschiedenen Komponenten

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

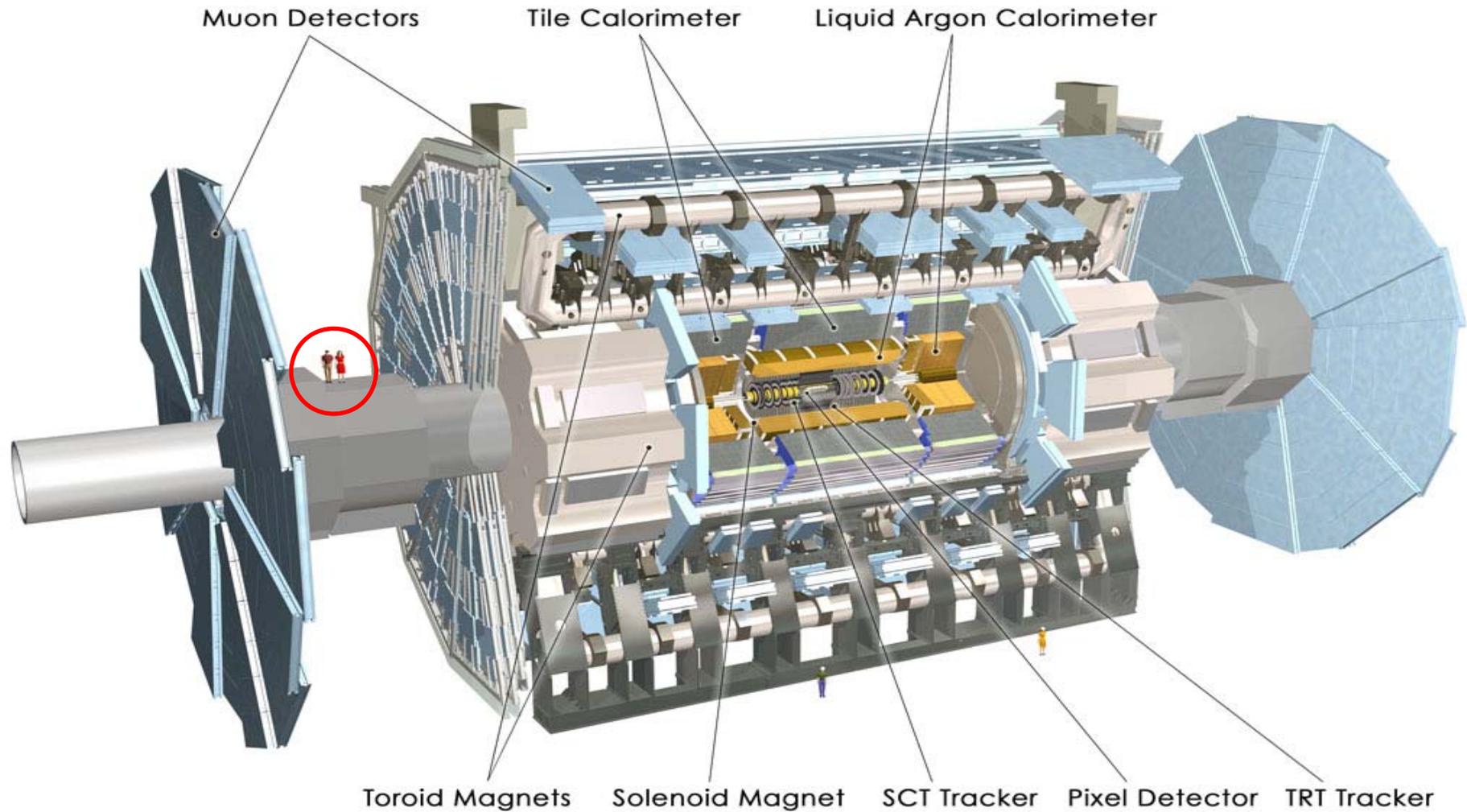




Unterscheidung der Teilchensorten



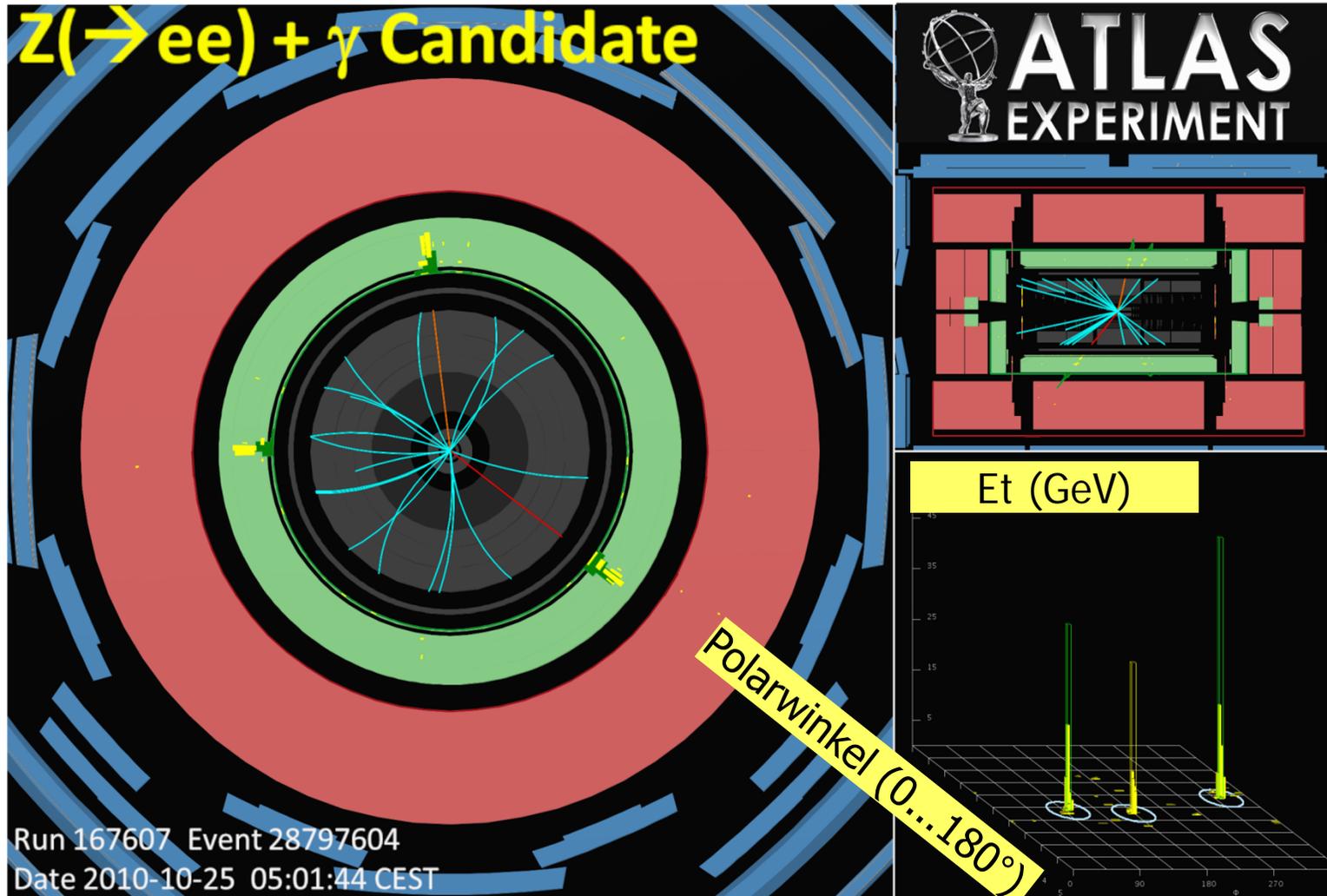
Der ATLAS-Detektor



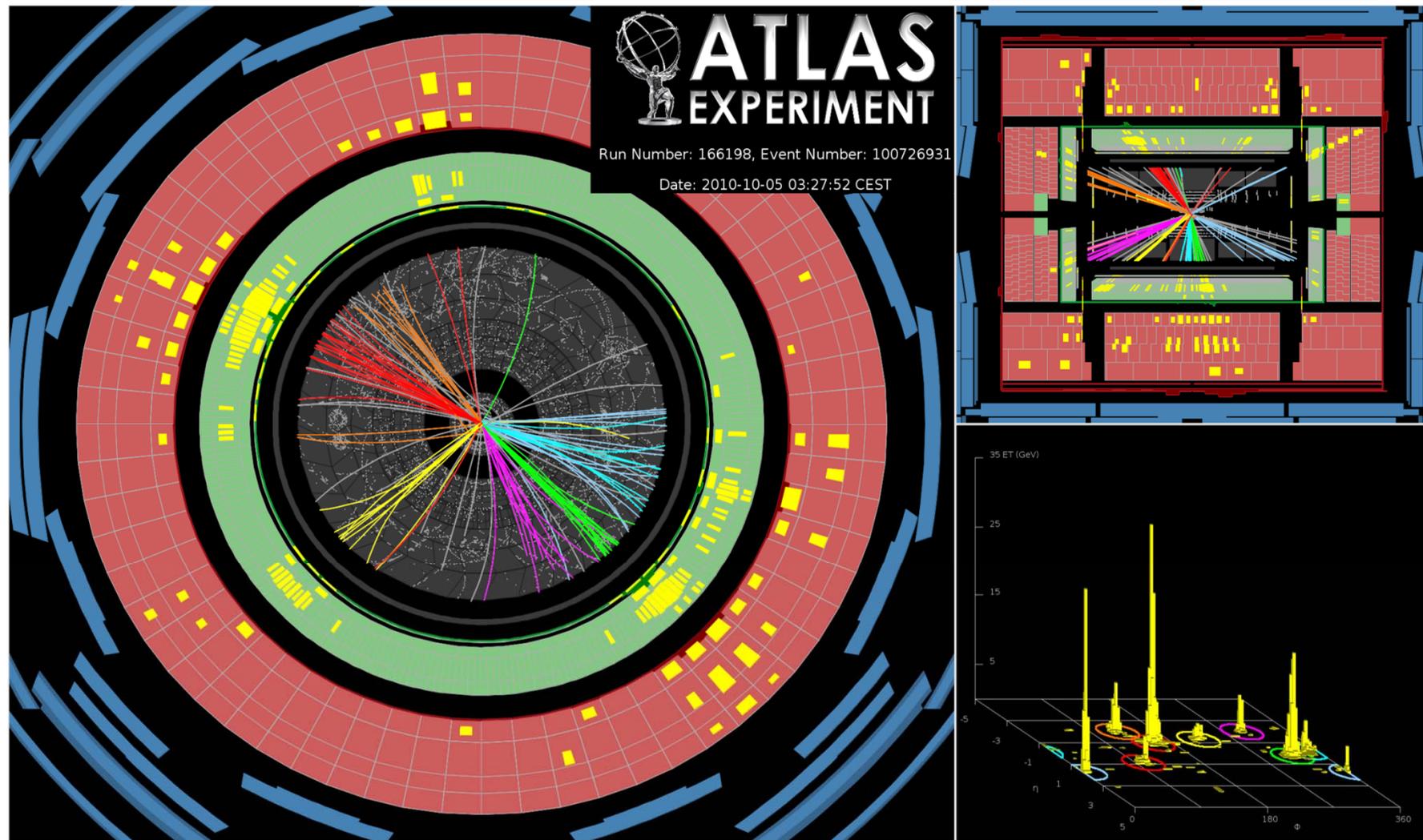
Ullrich Schwanke

ATLAS = A Toroidal LHC ApparatuS

Ereignisse im ATLAS-Detektor (1/4)

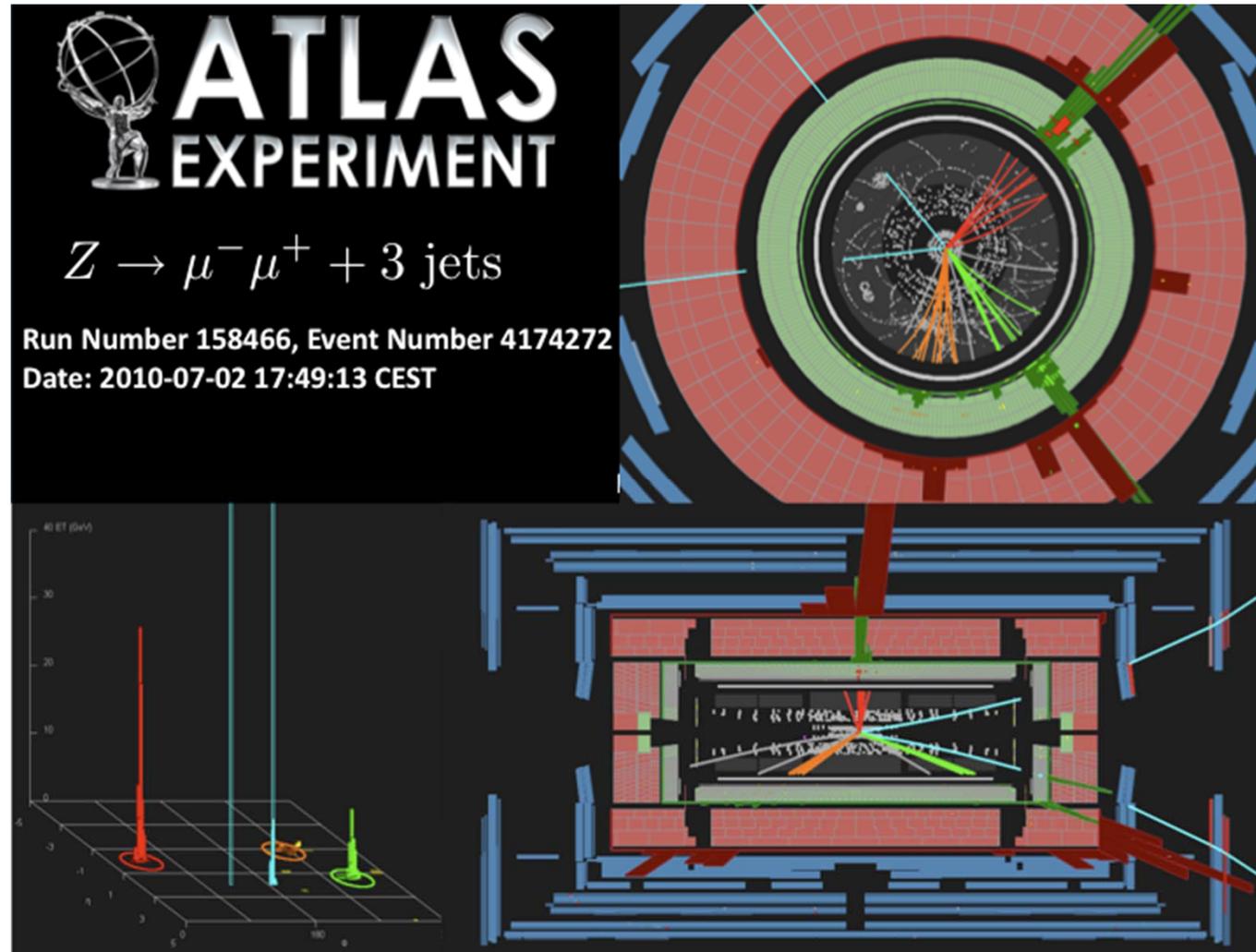


Ereignisse im ATLAS-Detektor (2/4)

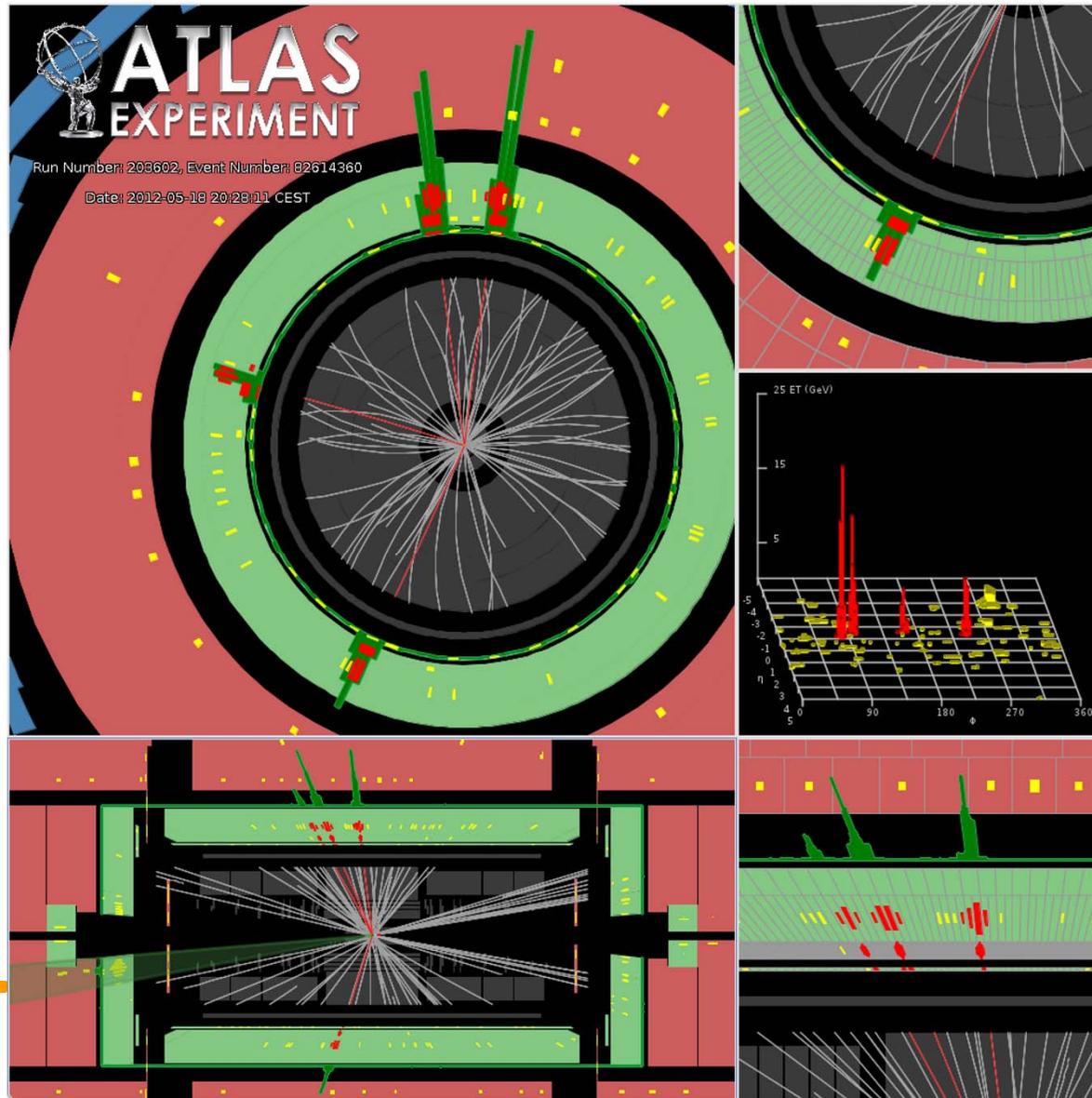


Ullrich Schwanke

Ereignisse im ATLAS-Detektor (3/4)



Ereignisse im ATLAS-Detektor (3/4)



Ullrich Schwanke

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

Videokonferenz (1/2)

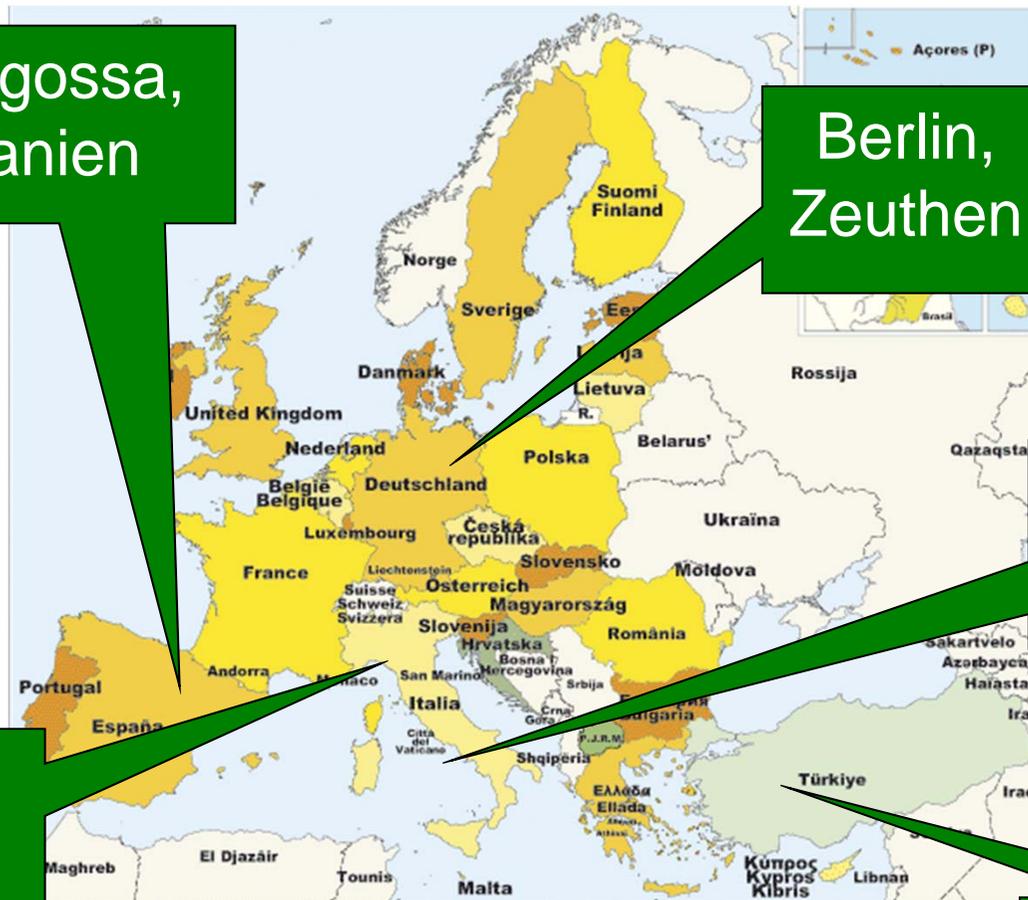
Saragossa,
Spanien

Berlin,
Zeuthen

Neapel,
Italien

Genua,
Italien

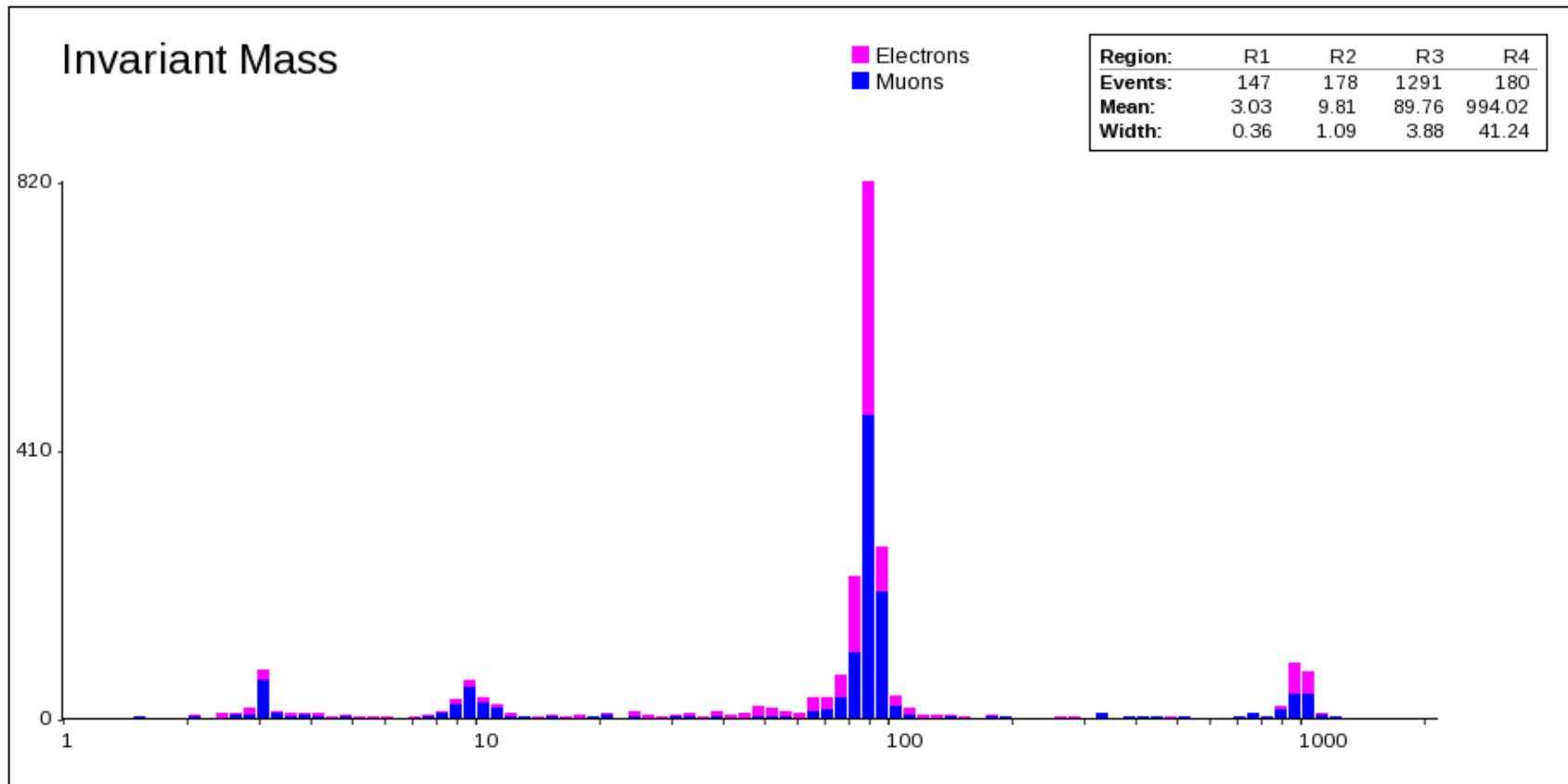
Ankara, Türkei



Videokonferenz (2/2)

- **Fünf weitere Standorte, die an der Videokonferenz teilnehmen**
- **Überblick der Videokonferenz:**
 - **Besprechung**
 - **Quiz**
- **Stellen Sie Fragen, wenn Sie wollen!**
- **Suchen zwei Vertreter, die unsere Ergebnisse vorstellen (auf Englisch, 2min)**
 - **Name und Ort nennen**
 - **Resultate, Fehler, Unsicherheiten**
 - **Fragen, die unbeantwortet blieben**

Auswertung



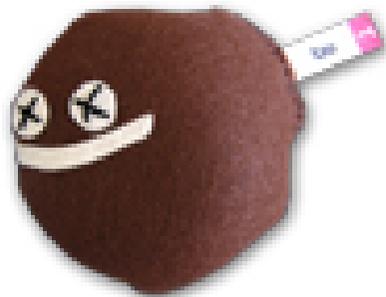
Besondere Teilchen



Myon (1/10 Protonmasse)



Neutrinos (fast masselos)



Tau (~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