Forschungsmethoden in der Teilchenphysik II

Und ausgewählte Materialen für den Schulunterricht

Philipp Lindenau, Dr. Claudia Behnke

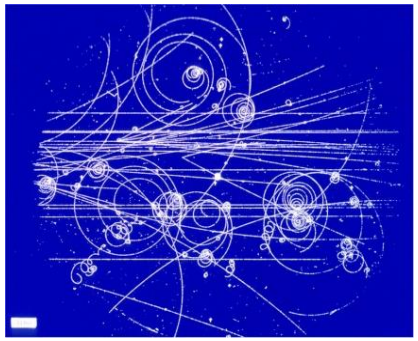
Essen | 07. – 08.03.2018

Dr. Hans Riegel-Stiftung

Netzwerk Teilchenwelt

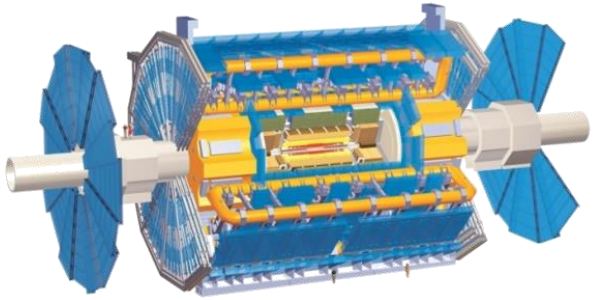
Wie weist man Elementarteilchen nach?

- Bildgebende Detektoren
  - Nebelkammer
  - Blasenkammer



- sichtbare Teilchenspuren

- Elektronische Detektoren
  - ATLAS-Detektor
  - Geigerzähler



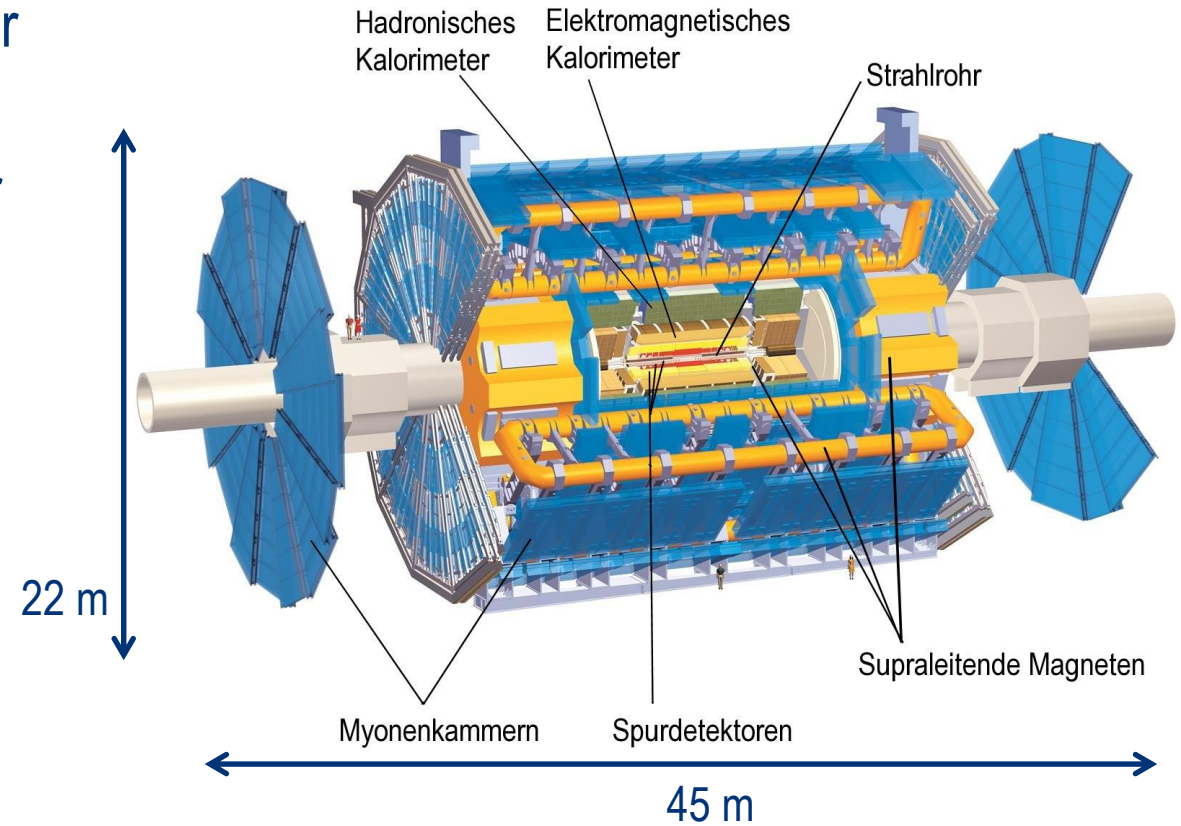
- elektrische Signale
- Eigenschaften der Teilchen werden daraus rekonstruiert

Der ATLAS-Detektor ist das hier nicht!

Video: http://cds.cern.ch/record/1457384

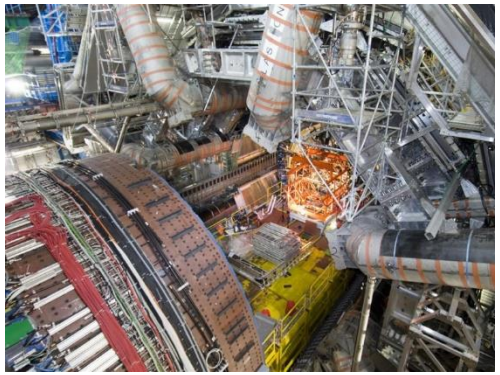
Der ATLAS - Detektor (A Toroidal LHC AparatuS)

- Masse 7000t
- Gesamtlänge aller Kabel: 3000km
- ~5000 Mitarbeiter aus 35 Ländern



Der ATLAS - Detektor

- Ist virtuell besuchbar
- http://atlasvirtualvisit.web.cern.ch/content/prepare-your-visit



Detektoraufbau am Beispiel von ATLAS

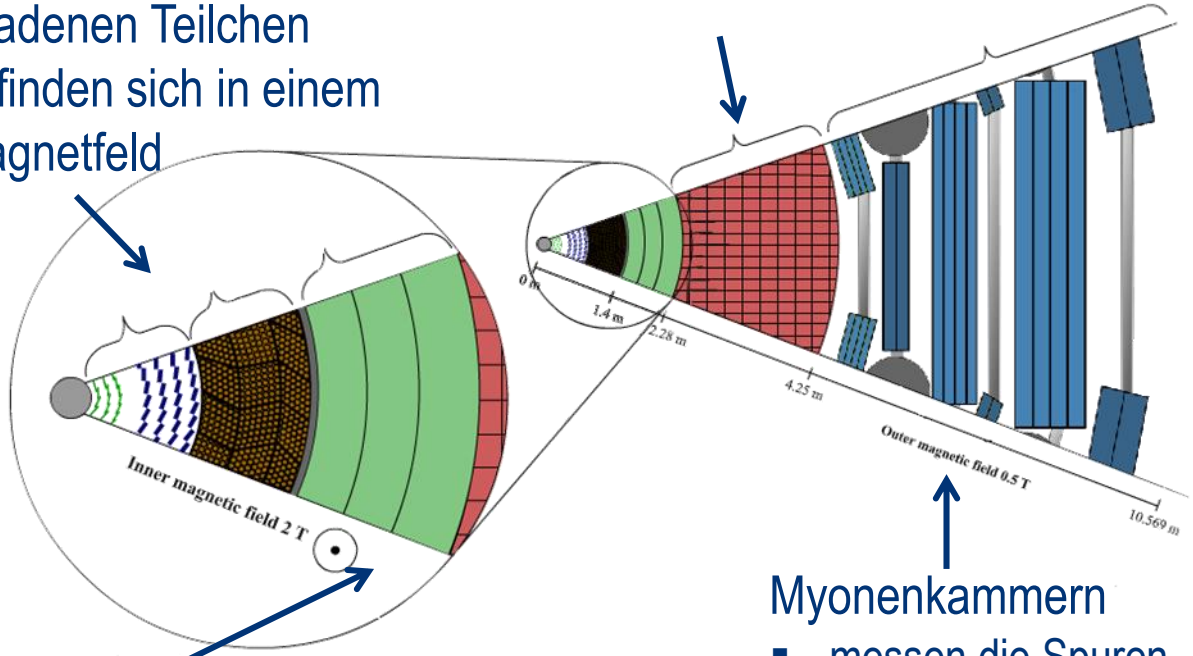
- Verschiedene Subdetektoren werden „Zwiebelschalenartig“ angeordnet
- Aufbau von innen (Kollisionspunkt) nach außen
  - Spurdetektoren
  - Elektromagnetisches Kalorimeter
  - Hadronisches Kalorimeter
  - Myonenkammeren
- Mit Magnetfeldern werden Teilchenspuren gekrümmt → Impulsmessung (und Identifikation)

Spurdetektoren

- messen die Spuren und Impulse von geladenen Teilchen
- befinden sich in einem Magnetfeld

Hadronisches Kalorimeter

- misst die Energie von Hadronen (= aus Quarks bestehende Teilchen)



Elektromagnetisches Kalorimeter

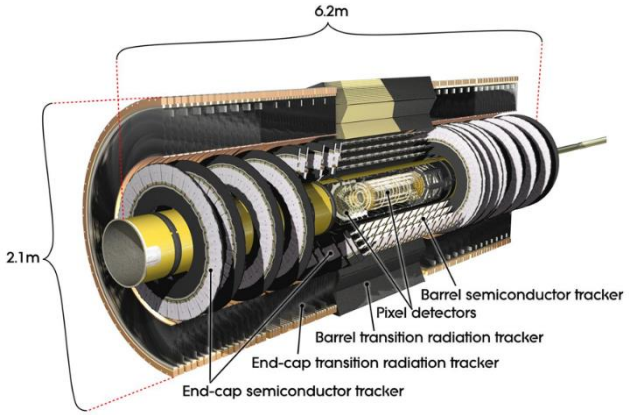
- misst die Energie von Elektronen, Positronen und Photonen

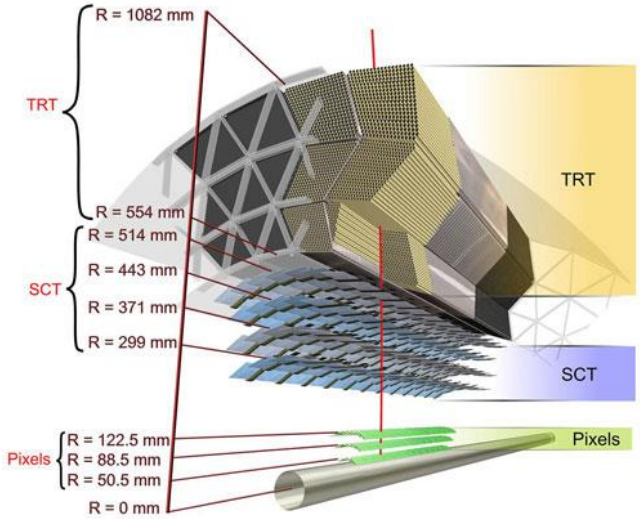
Myonenkammern

- messen die Spuren und Impulse von Myonen
- befinden sich in einem Magnetfeld

ATLAS - Spurdetektoren

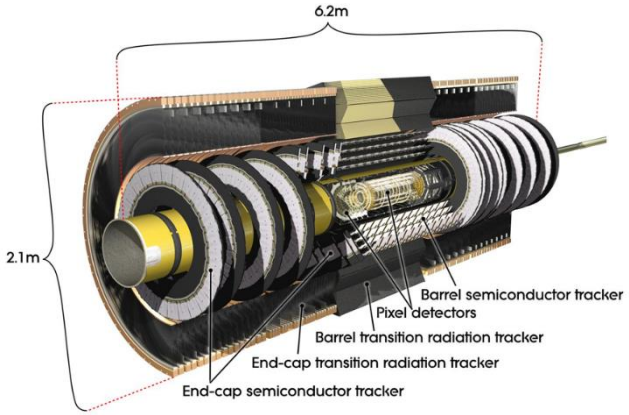
- Pixel Detektor
  - Bestehend aus 80 Millionen Pixel
  - Oberfläche 1.7m^2
- Silicon Microstrip Tracker
  - Bestehend aus 4,088 doppelseitigen Modulen
  - 6 Million Auslese Kanäle

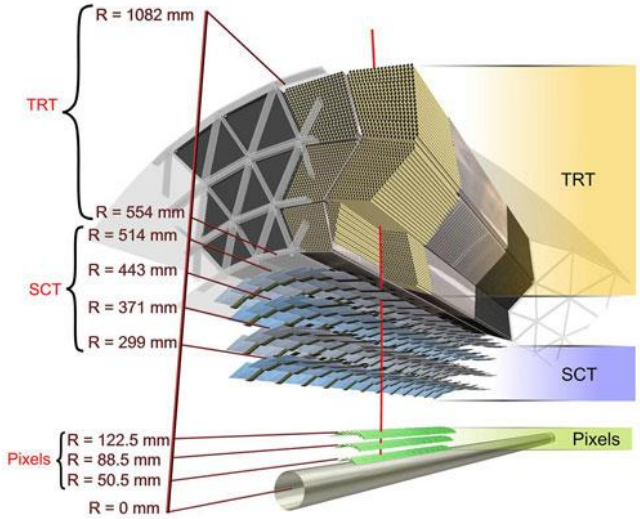




ATLAS - Spurdetektoren

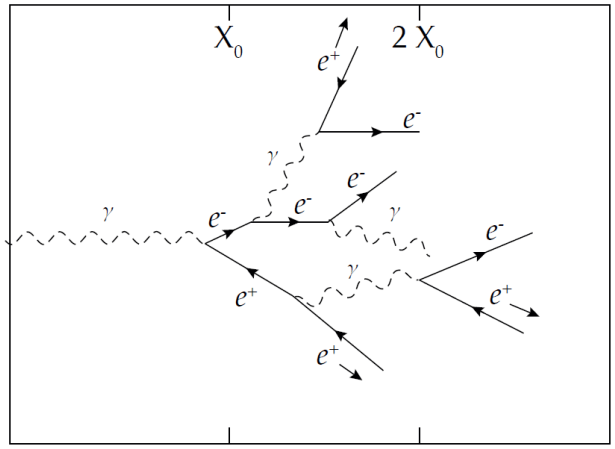
- Übergangsstrahlungsdetektor
  - 350,000 Auslese Kanäle
  - Volumen 12m^3
  - Besteht aus “Straw Tubes”:
    - Geiger Müller Zählrohre
    - Durchmesser 4mm
    - Im Inneren 0.03mm Gold ummantelter Wolfram Draht
  - 50,000 Straws im Barrel und 250,000 straws in den Kappen
  - Genauigkeit der Ortsauflösung 0.17mm
  - Zusätzlich Information über die Teilchenart

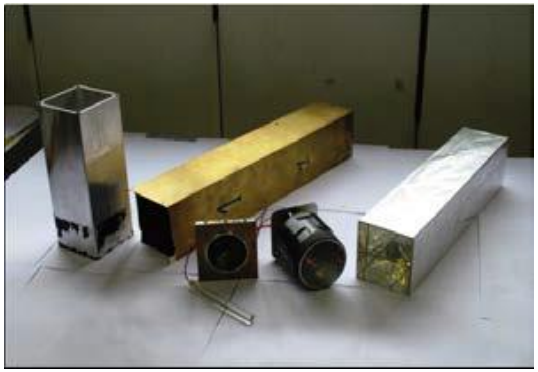




Elektromagnetisches vs Hadronisches Kalorimeter

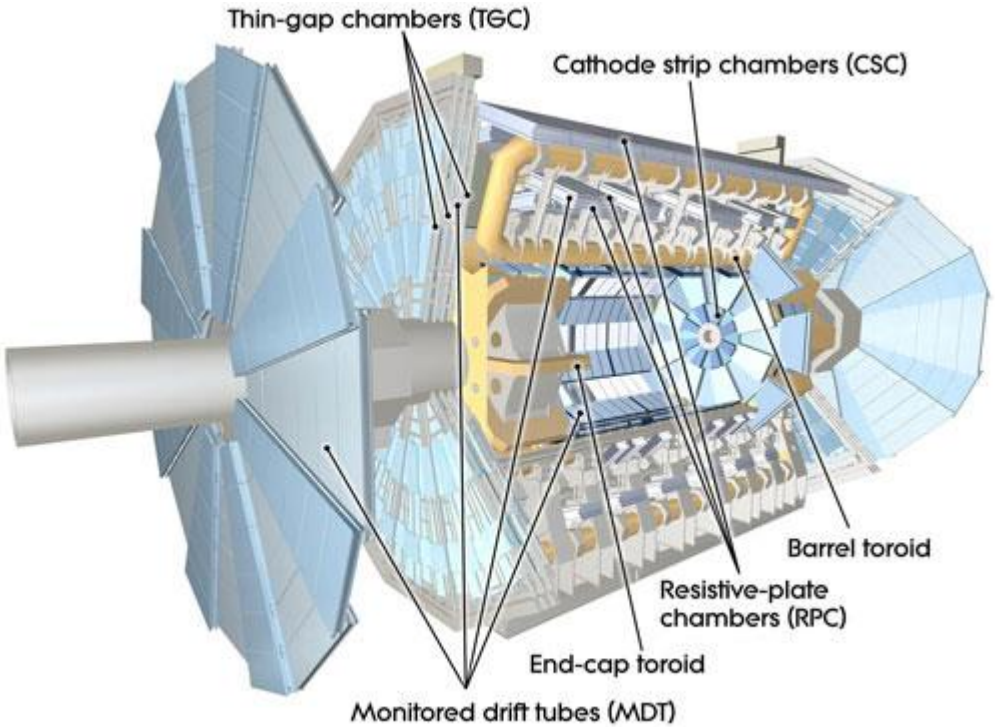
- EM Kalorimeter
  - Nachweis via elektromagnetischen Kaskaden
  - Abhängig von Z des Materials
- Hadronisches Kalorimeter
  - Nachweis via starker Wechselwirkung





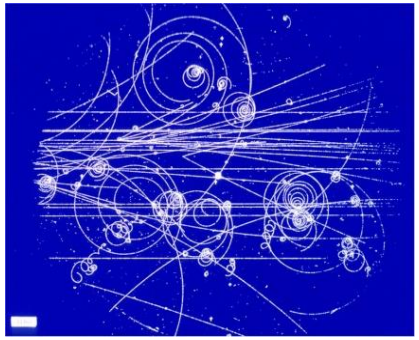
Myonenkammern

- 1.150 Myonenkammern
- Mehr als 350.000 Driftrohren
- Gesamtfläche ~ eines Fußballfelds
- Genauigkeit der Ortsauflösung auf wenige Hundertstel Millimeter genau



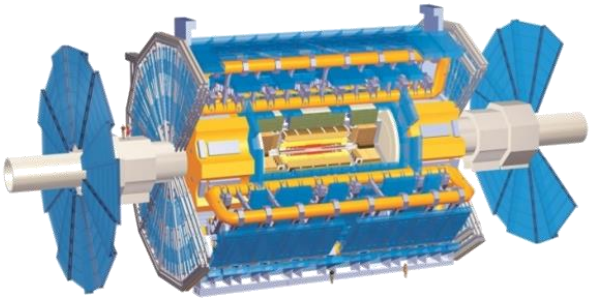
Aufgaben/Materialen für den Schulunterricht

- Bildgebende Detektoren
  - Nebelkammer
  - Blasenkammer



- **Blasenkammer Events mit Geo Gebra**

- Elektronische Detektoren
  - ATLAS-Detektor
  - Geigerzähler

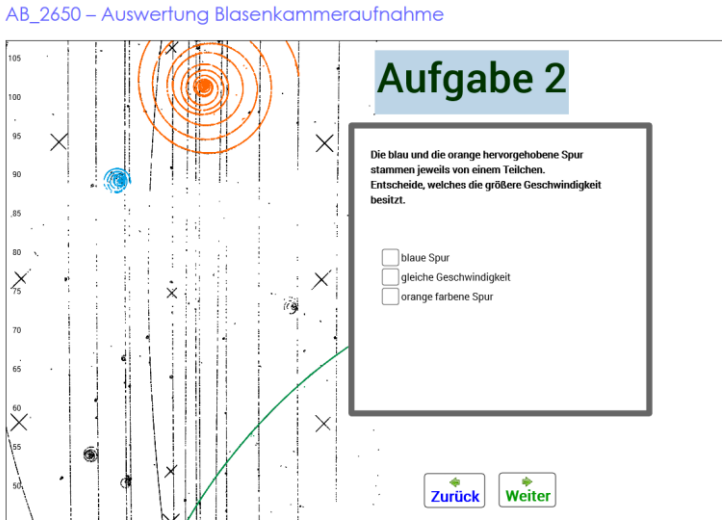


- **Event Displays von Großdetektoren**

http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-fuer-lehrkraefte/teilchenidentifikation-mit-detektoren/

Bildgebende Detektoren im Unterricht

- Blasenkammer Aufnahmen mit GeoGebra auswerten
- Tutorials
- Diverse Aufgaben auf Arbeitsblättern
  - 2 Schwierigkeitsstufen
- Links im Indico
- Möglichkeiten zum Testen in Gruppenarbeit später

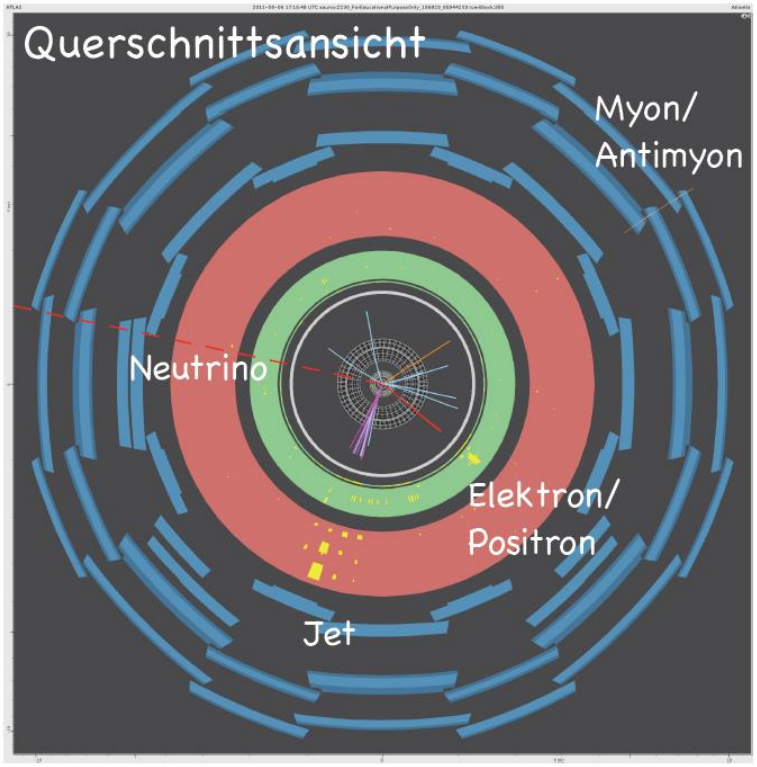


Live Kollisionen z.B bei
http://atlas-live.cern.ch/

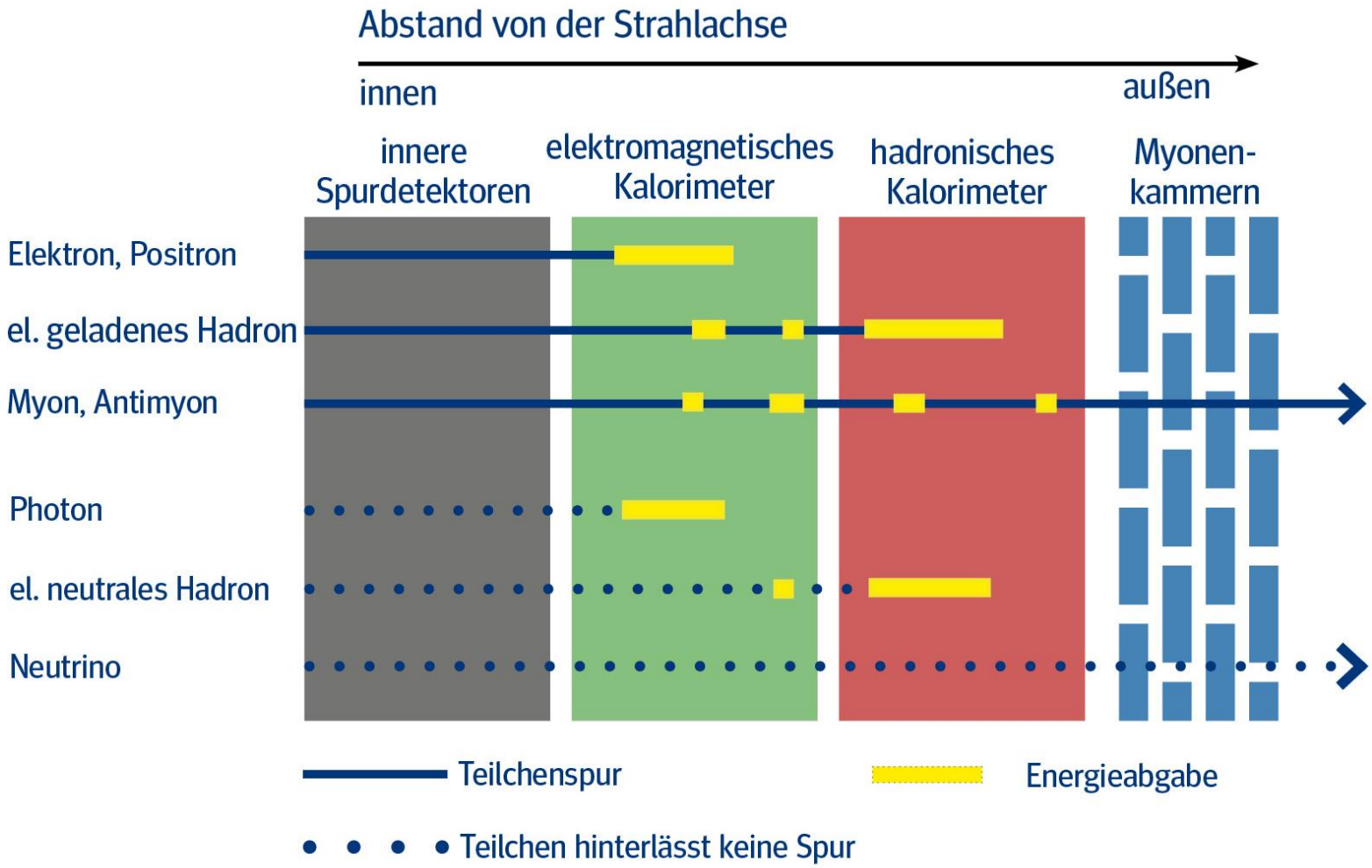
Event Displays im Unterricht

- So stellt eine vom CERN entwickelte Software Teilchenspuren im ATLAS-Detektor dar:

- Spurdetektoren
- elektromagnetisches Kalorimeter
- hadronisches Kalorimeter
- Myonenkammern



Teilchenspuren im ATLAS-Detektor



Beispiele - Das OPAL-Eventdisplay

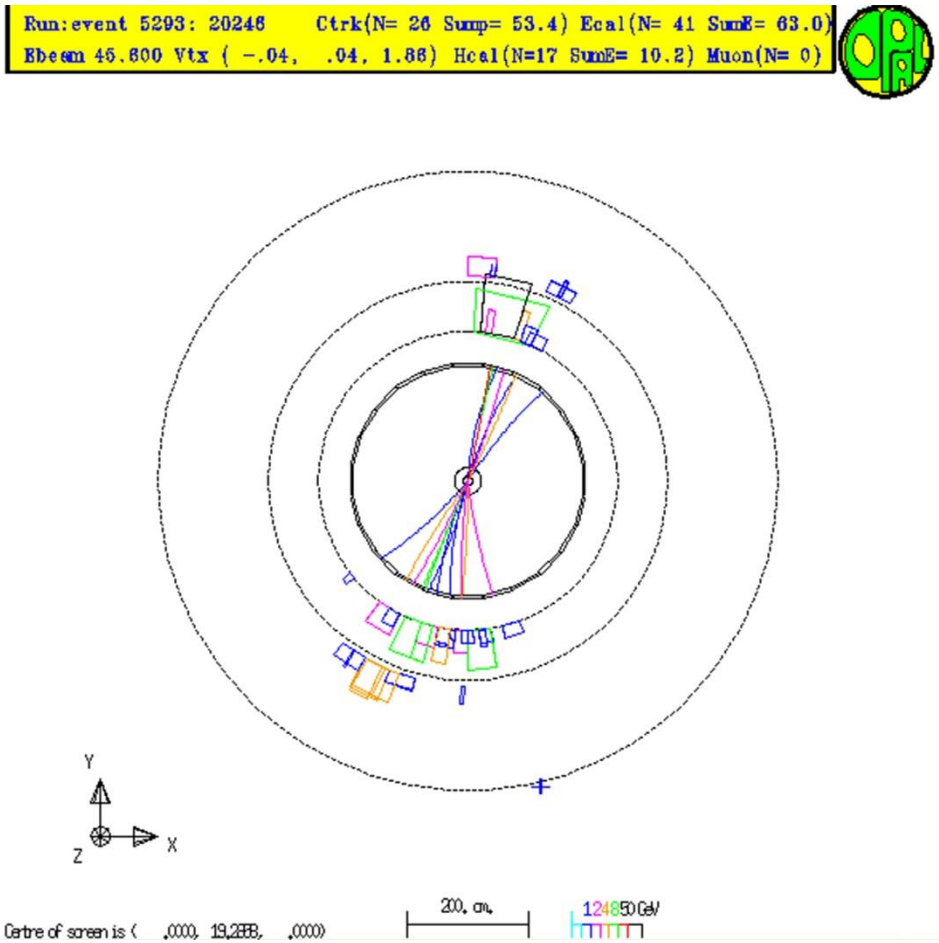
- Der OPAL-Detektor war ein Detektor bei LEP
- Teilchenbeschleuniger, der bis 2000 im selben Tunnel wie der LHC betrieben wurde
- Kollisionen von Elektronen und Positronen bei Energien bis 104 GeV pro Teilchen
- Erzeugung sehr vieler Z-Teilchen (LEP1) und Paaren von W-Teilchen (LEP2)

LEP oder LHC in der Schule?

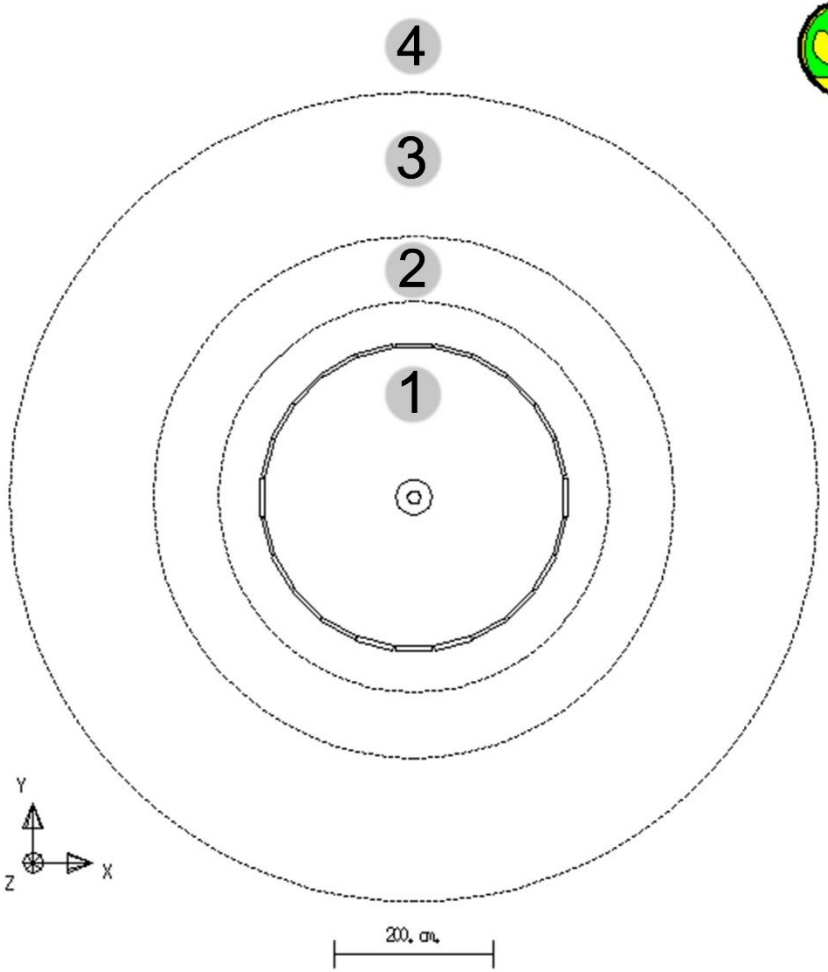
- LHC zwar aktueller, aber interessante Ereignisse bei LEP einfacher analysierbar
- Liegt u.a. an der Struktur der Projektile: Elektronen und Positronen sind Elementarteilchen, die Protonen am LHC nicht

→ Einfachere Ausgangszustände vereinfachen auch die möglichen Endzustände und deren Beschreibung

Das OPAL-Eventdisplay



Das OPAL-Eventdisplay



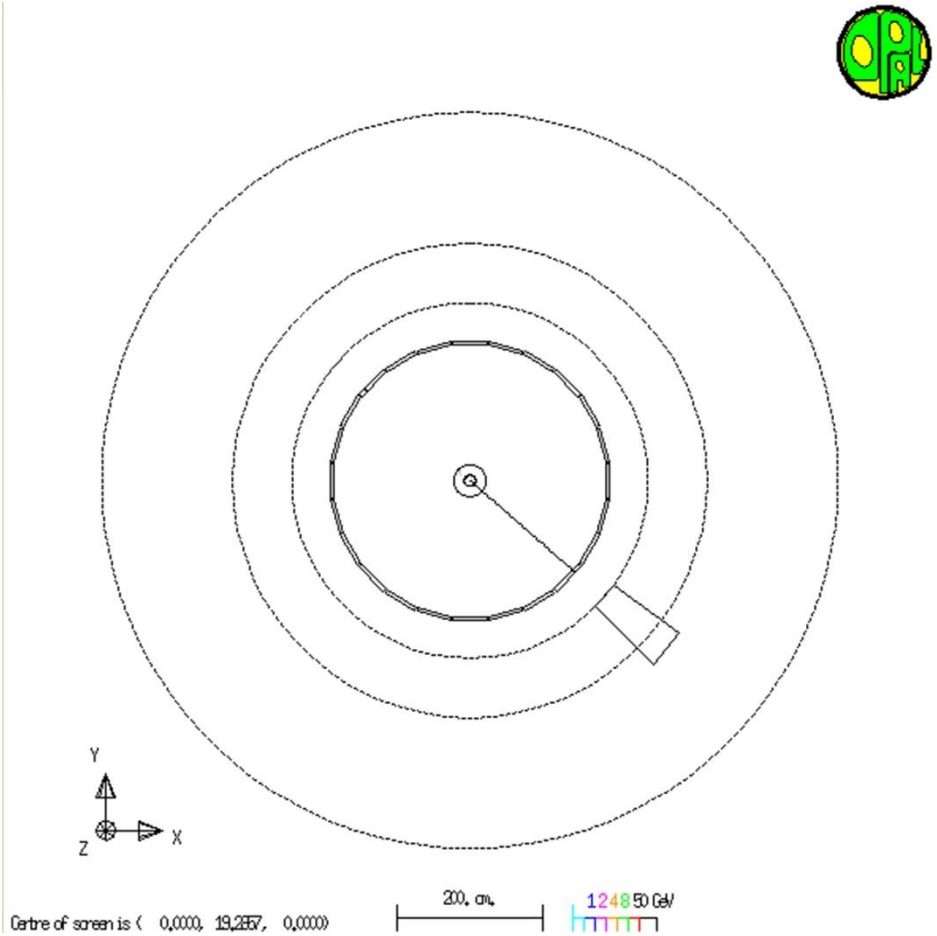
1 Spurkammer

2 elektromagn. Kalorimeter

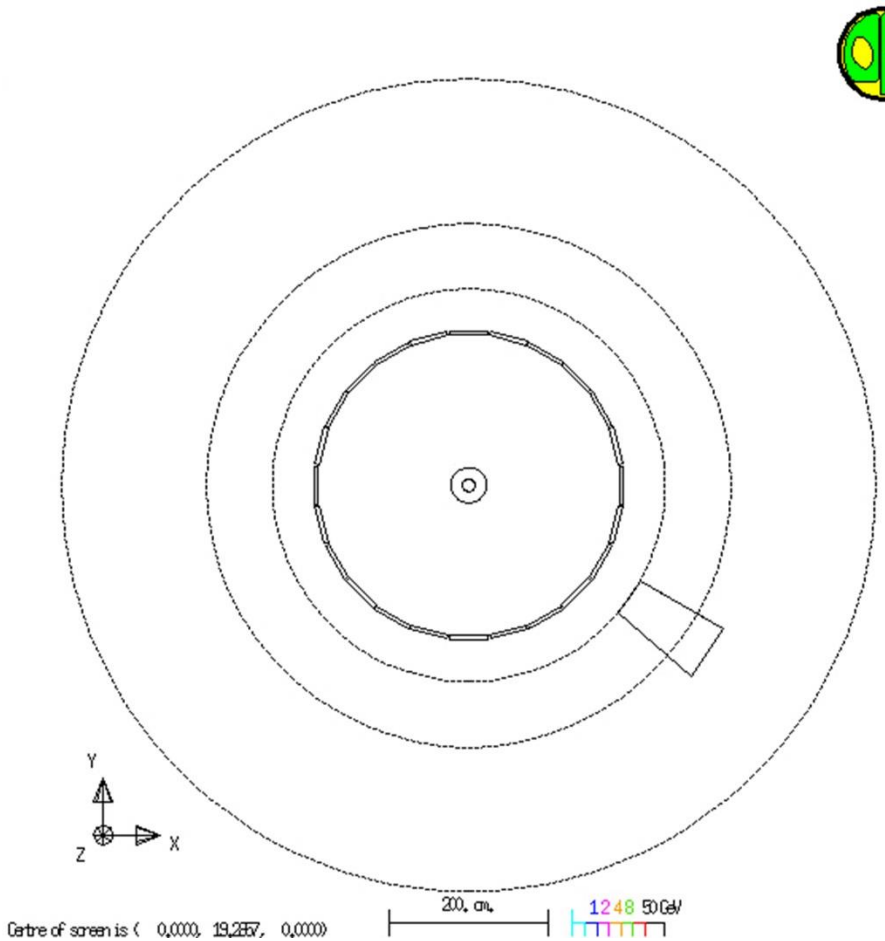
3 hadronisches Kalorimeter

4 Myonkammer

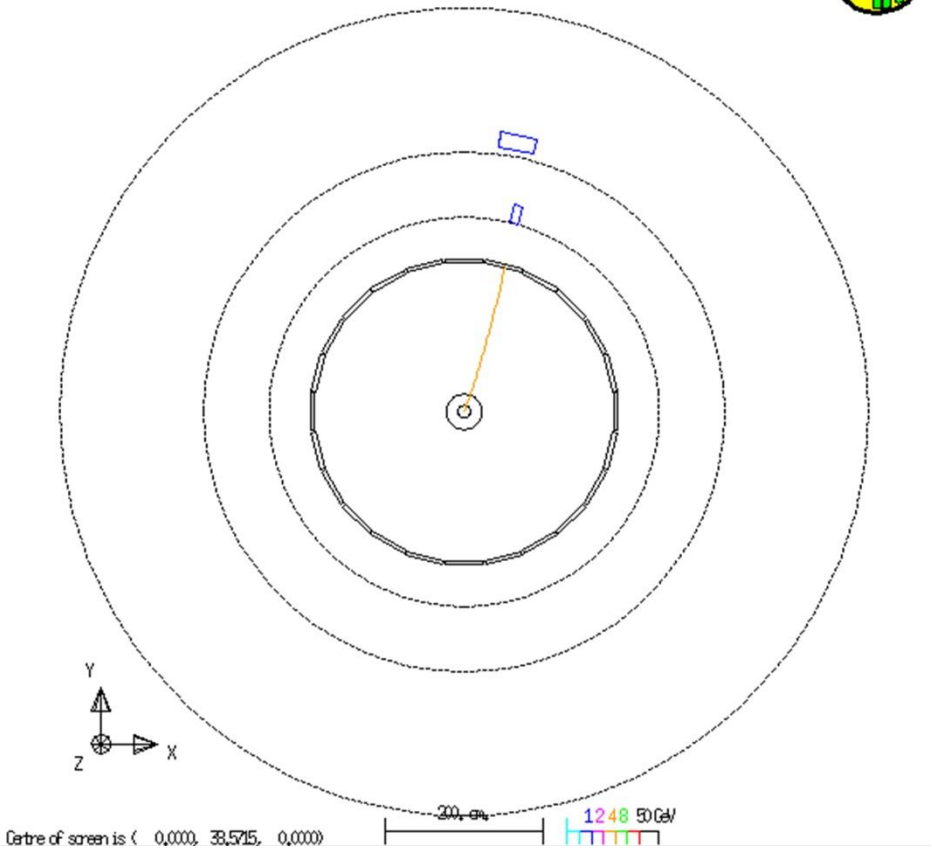
Elektron oder Positron



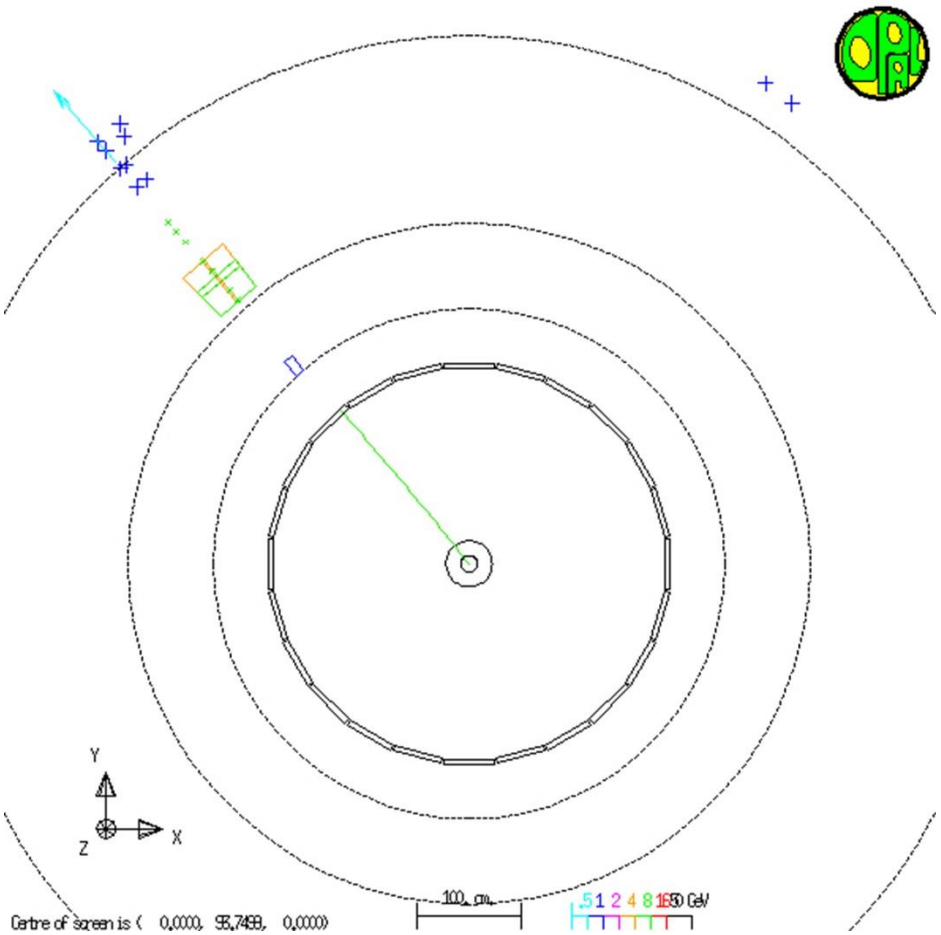
Photon



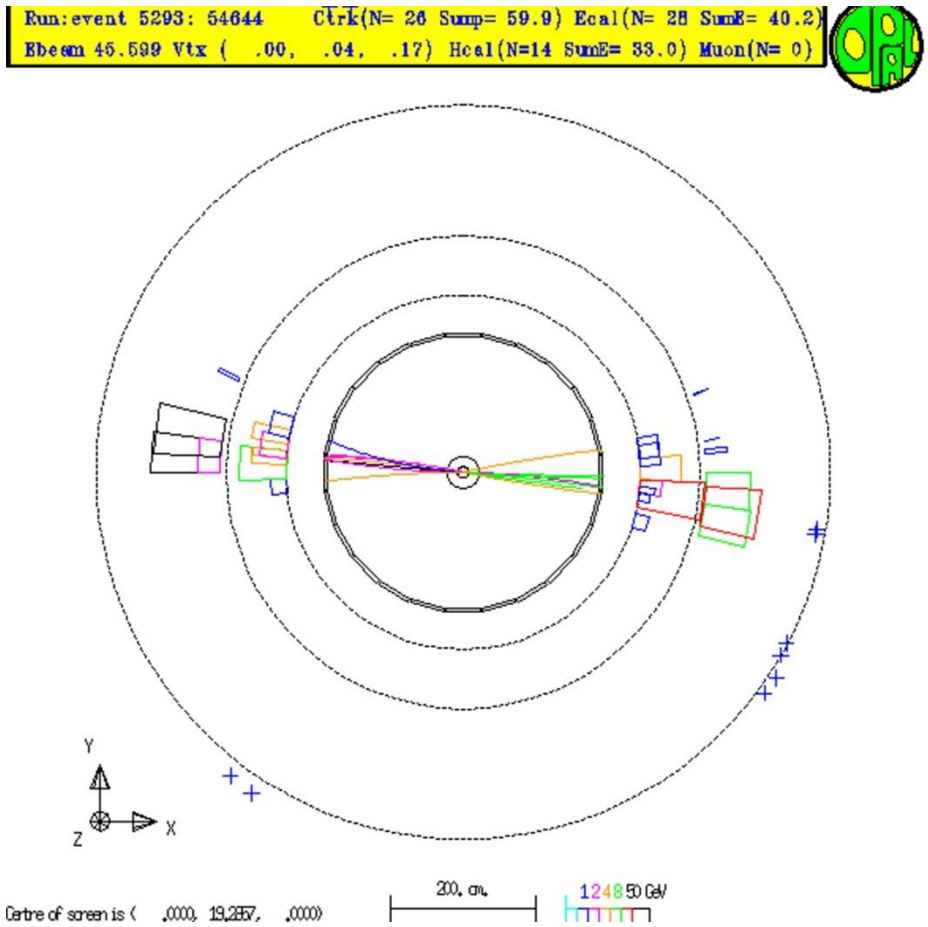
Elektrisch geladenes Hadron



Anti-/Myon

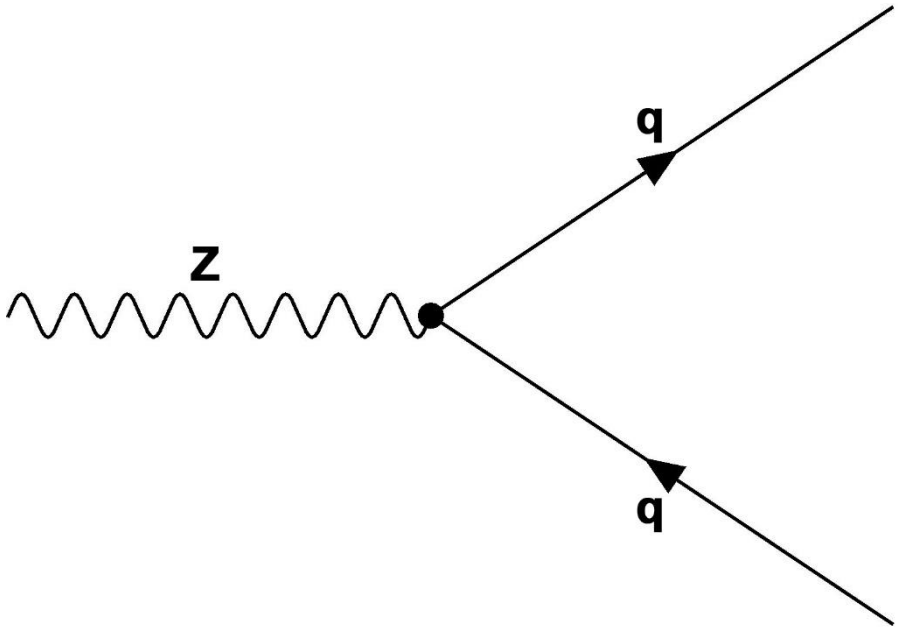

Y
Z
X
100. cm.
.5 1 2 4 8 16 50 GeV
Centre of screen is (0.0000, 95.7488, 0.0000)

Jets - erzeugt durch Quarks oder Gluonen



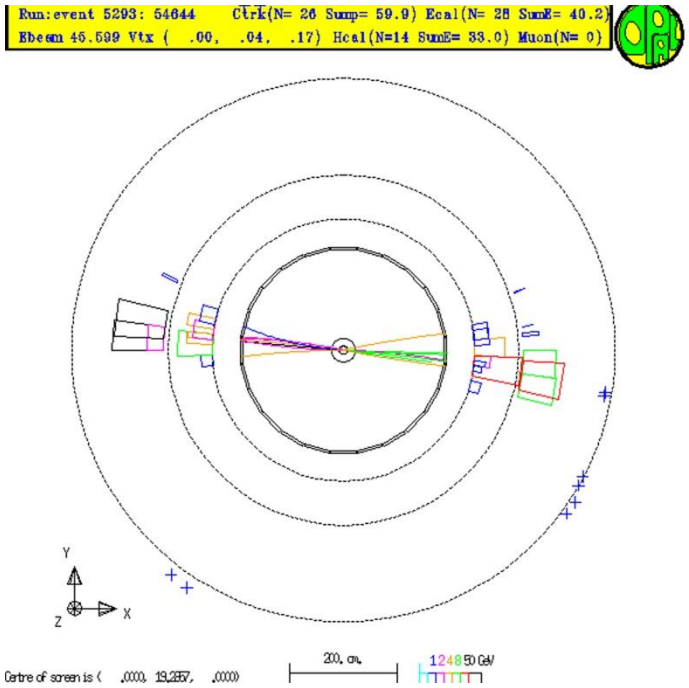
Was hat man gemessen?

- Bei LEP wurde unter anderem der starke Kopplungsparameter bei verschiedenen Energien sehr genau gemessen
- Wie?



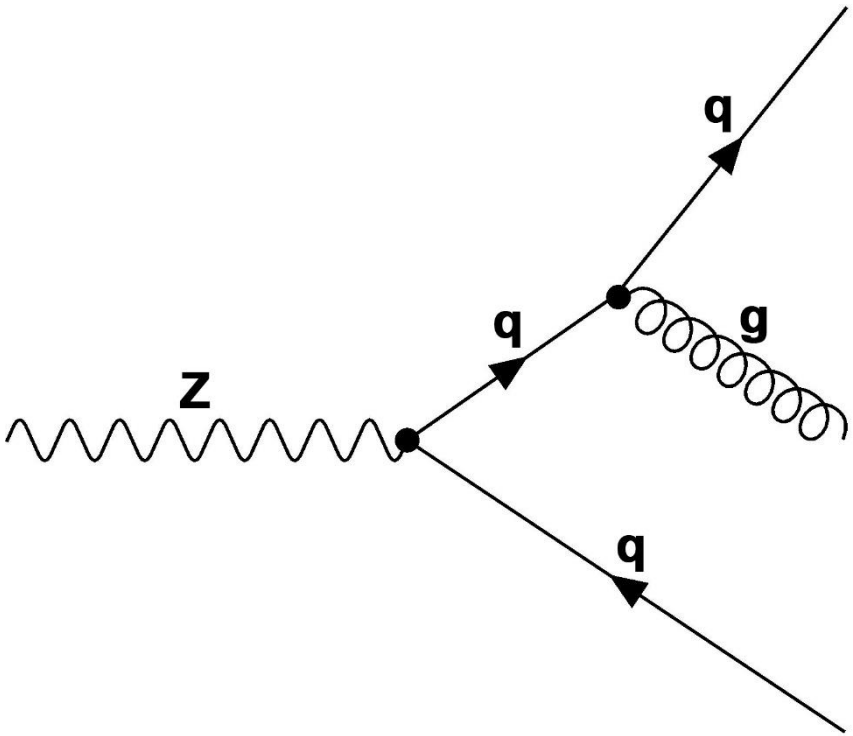
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- Bei LEP wurde unter anderem der starke Kopplungsparameter bei verschiedenen Energien sehr genau gemessen
- Wie?



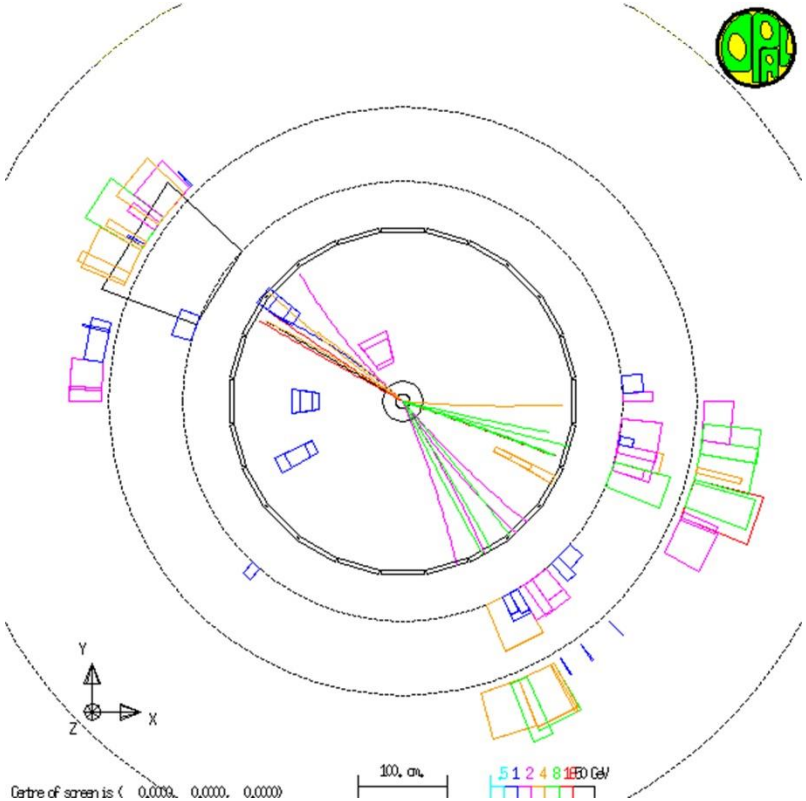
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- Manchmal passiert aber auch das:

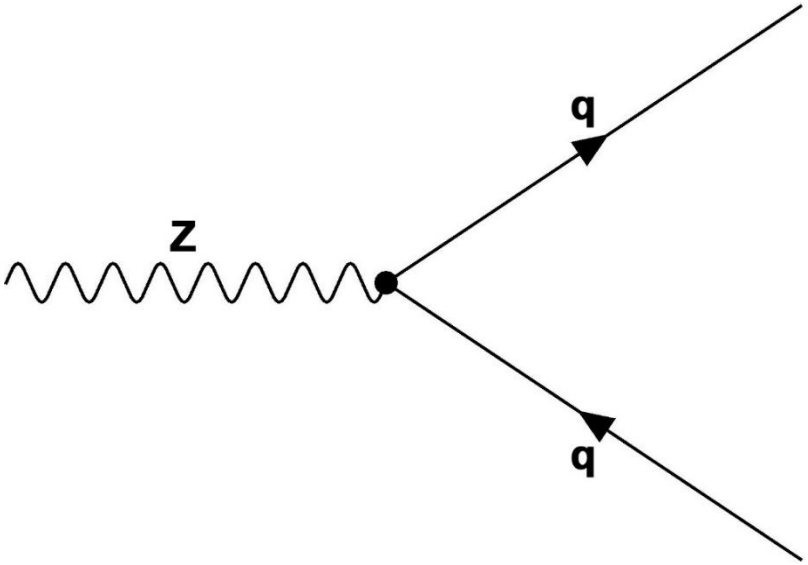


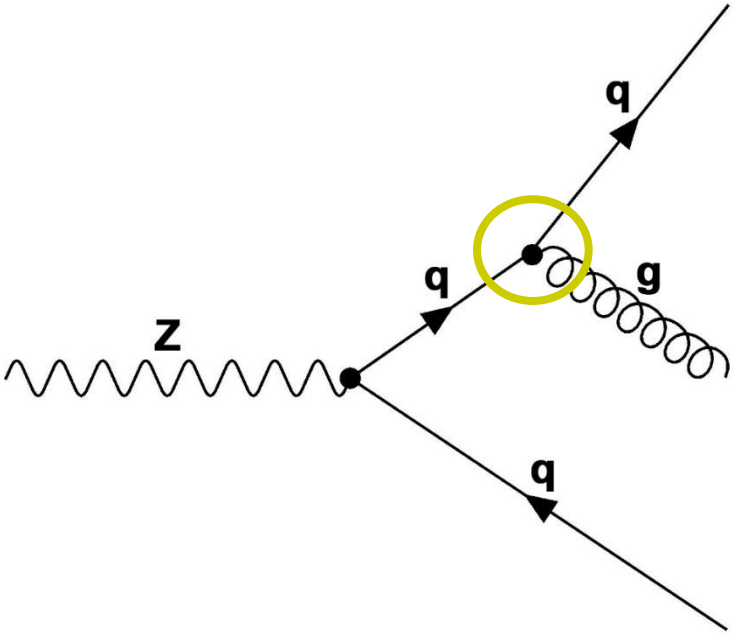
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- Manchmal passiert aber auch das:



Bestimmung des starken Kopplungsparameters





- Feynman-Diagramme unterscheiden sich nur durch einen zusätzlichen Vertex, an dem ein Prozess der starken WW stattfindet

Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- Die Wsk., dass ein Prozess der starken Wechselwirkung abläuft ist direkt proportional zum starken Kopplungsparameter

$$P\,(3 - Jet) = P(2 - Jet) \cdot k \;\cdot \alpha_s$$

$$\alpha_s \sim \frac{P(3 - Jet)}{P(2 - Jet)}$$

- Dabei ist *k* ein Faktor, der durch weitere Kennwerte des Prozesses bestimmt wird und berechnet werden kann

Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- Bei sehr vielen Ereignissen kann aus absoluten Häufigkeiten auf Wsk. geschlossen werden

$$\alpha_s \sim \frac{H(3-Jet)}{H(2-Jet)}$$

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

www.teilchenwelt.de

PROJEKTLEITUNG

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

PARTNER

CERN

DESY

SCHIRMHERRSCHAFT

DPG

FÖRDERER

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG

LIKE US ON facebook

www.facebook.de/teilchenwelt/

NETZWERK TEILCHENWELT

Diskussion / Fragen