

Forschungsmethoden in der Teilchenphysik II

Und ausgewählte Materialien für den
Schulunterricht



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG

Dr. Claudia Behnke, Philipp Lindenau
Hamburg | 14. – 15.05.2018

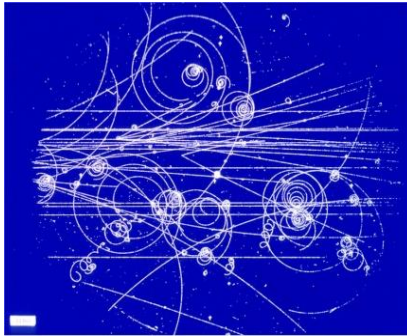


NETZWERK
TEILCHENWELT

Wie weist man Elementarteilchen nach?

► Bildgebende Detektoren

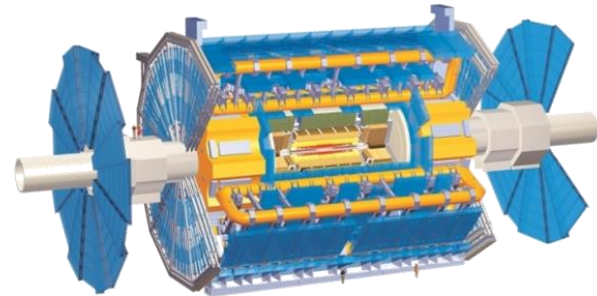
- Nebelkammer
- Blasenkammer



► sichtbare Teilchenspuren

► Elektronische Detektoren

- ATLAS-Detektor
- Geigerzähler



► Elektrische Signale

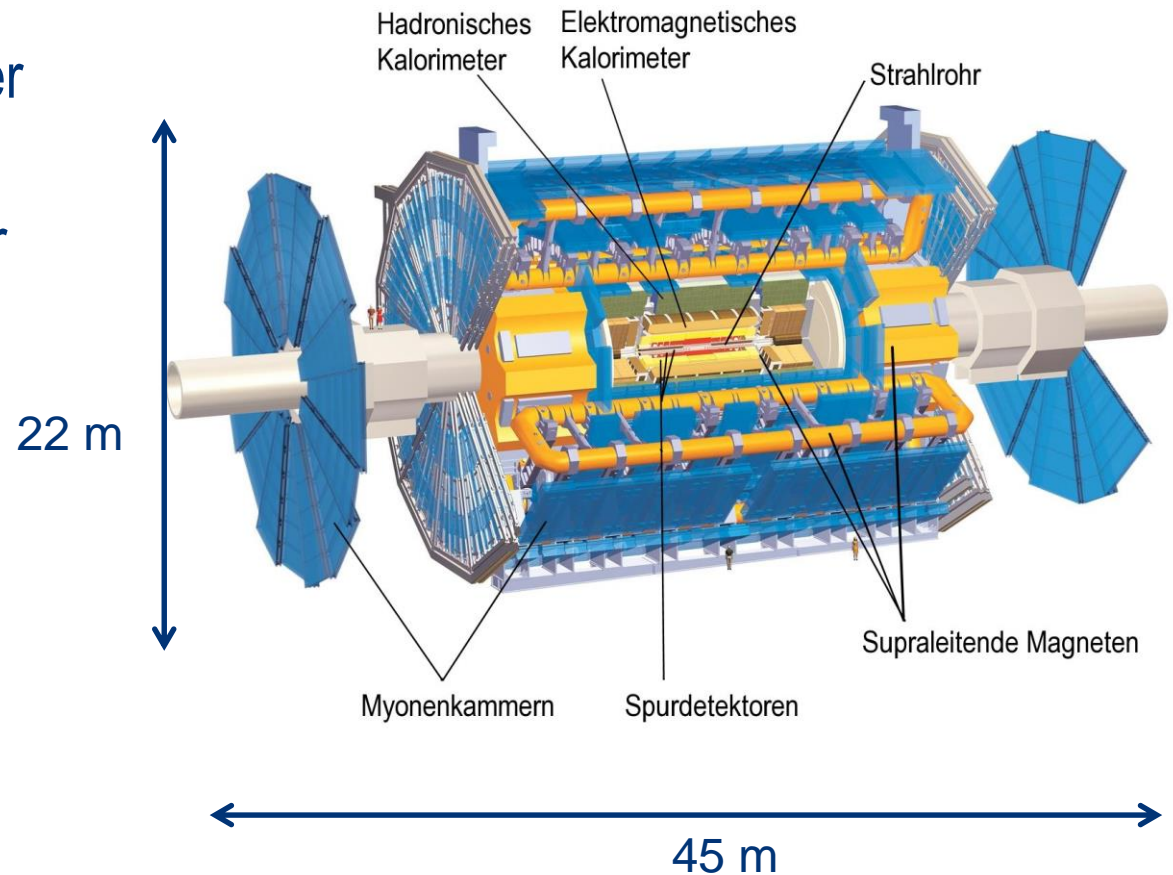
- Eigenschaften der Teilchen werden daraus rekonstruiert

Der ATLAS-Detektor ist das hier nicht!



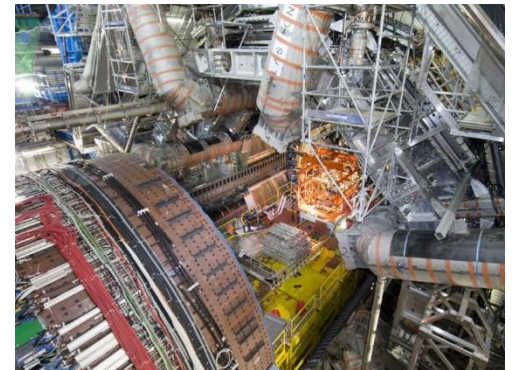
Der ATLAS - Detektor (A Toroidal LHC AparatuS)

- ▶ 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>

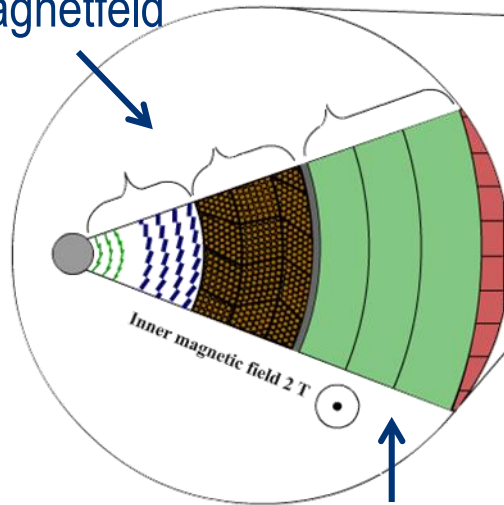


Detektoraufbau am Beispiel von ATLAS

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

Spurdetektoren

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

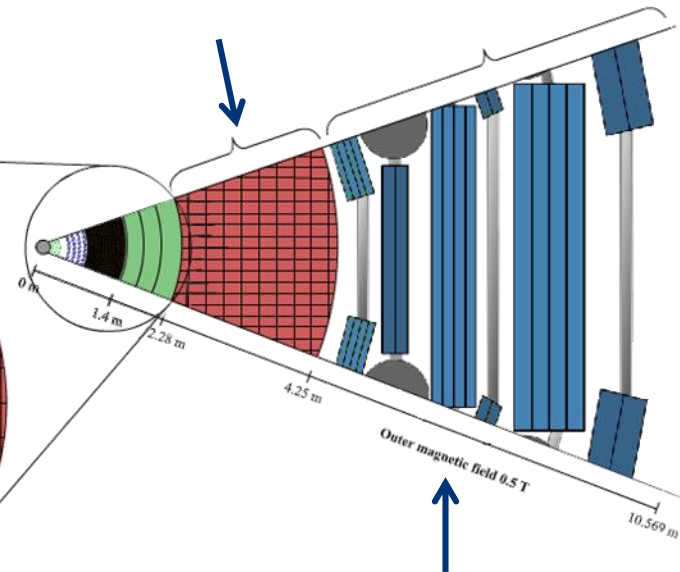


Elektromagnetisches Kalorimeter

- misst die Energie von Elektronen, Positronen und Photonen

Hadronisches Kalorimeter

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



Myonenkammern

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

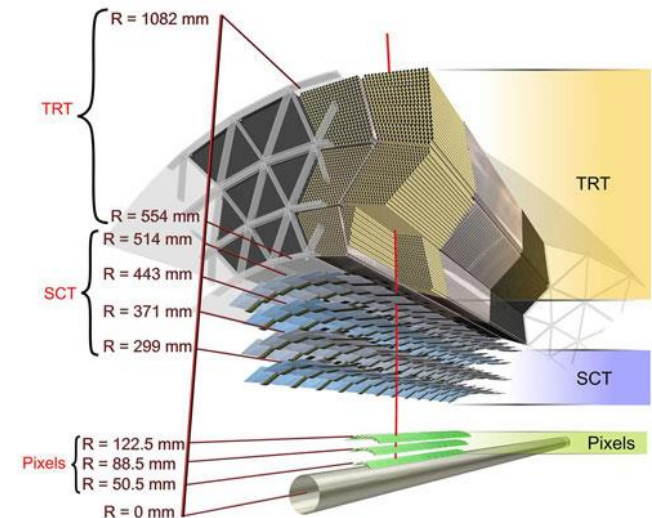
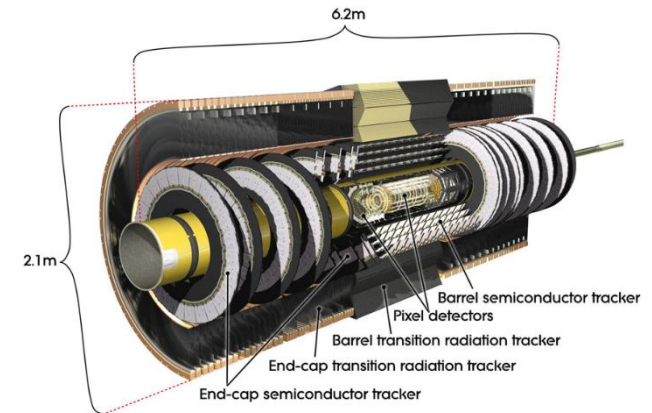
ATLAS - Spurdetektoren

▶ Pixel Detektor

- Bestehend aus 80 Millionen Pixel
- Oberfläche 1.7m^2

▶ Silicon Microstrip Tracker

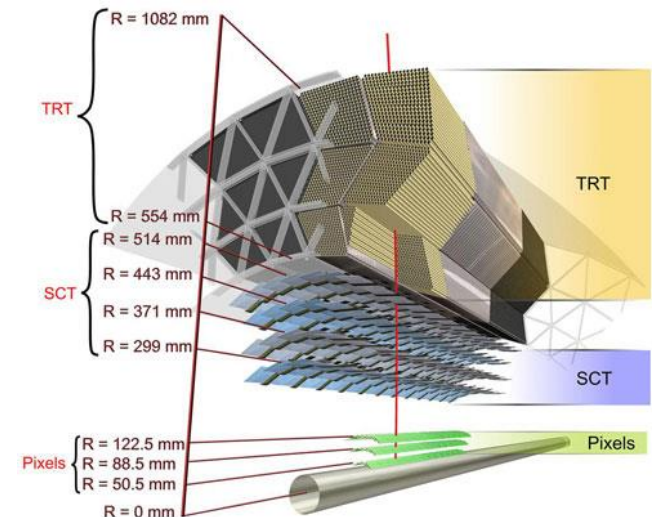
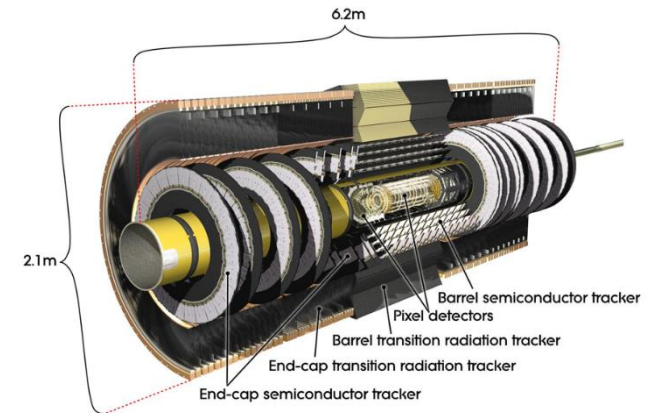
- Bestehend aus 4,088 doppelseitigen Modulen
- 6 Million Auslese Kanäle



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



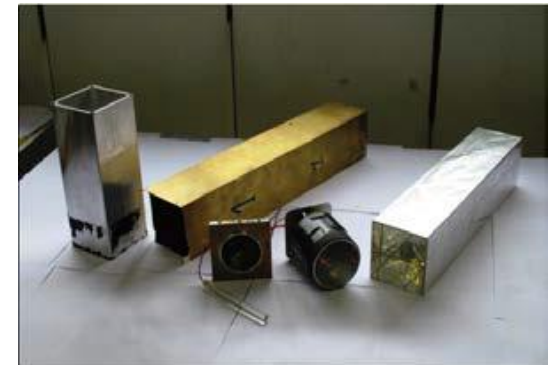
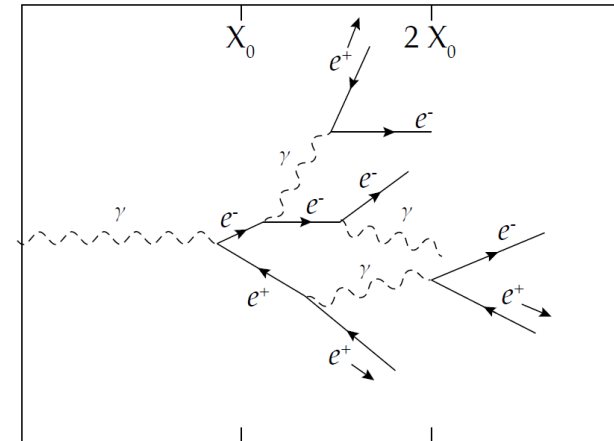
Elektromagnetisches vs Hadronisches Kalorimeter

► EM Kalorimeter

- Nachweis via elektromagnetischen Kaskaden
- Abhängig von Z des Materials

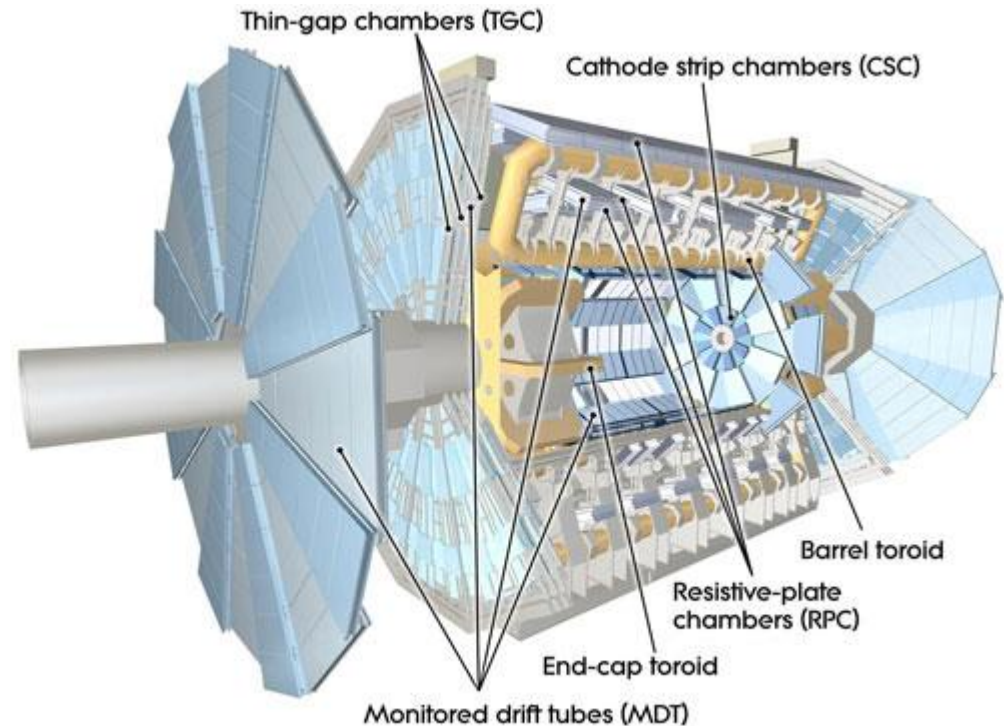
► Hadronisches Kalorimeter

- Nachweis via starker Wechselwirkung



Myonenkammern

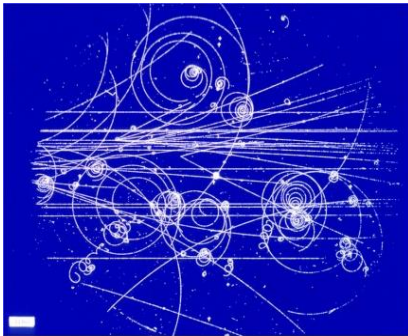
- ▶ 1.150 Myonenkammern
- ▶ Mehr als 350.000 Driftrohren
- ▶ Gesamtfläche ~ eines Fußballfelds
- ▶ Genauigkeit der Ortsauflösung auf wenige Hundertstel Millimeter genau



Aufgaben/Materialien für den Schulunterricht

▶ Bildgebende Detektoren

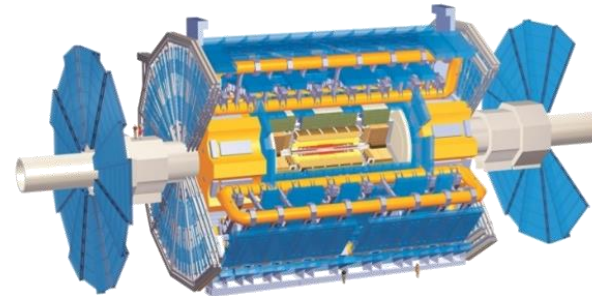
- Nebelkammer
- Blasenkammer



▶ Blasenkammer Events mit Geo Gebra

▶ Elektronische Detektoren

- ATLAS-Detektor
- Geigerzähler



▶ Event Displays von Großdetektoren

Bildgebende Detektoren im Unterricht

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

AB_2650 – Auswertung Blasenkameraaufnahme

Aufgabe 2

Die blau und die orange hervorgehobene Spur stammen jeweils von einem Teilchen. Entscheide, welches die größere Geschwindigkeit besitzt.

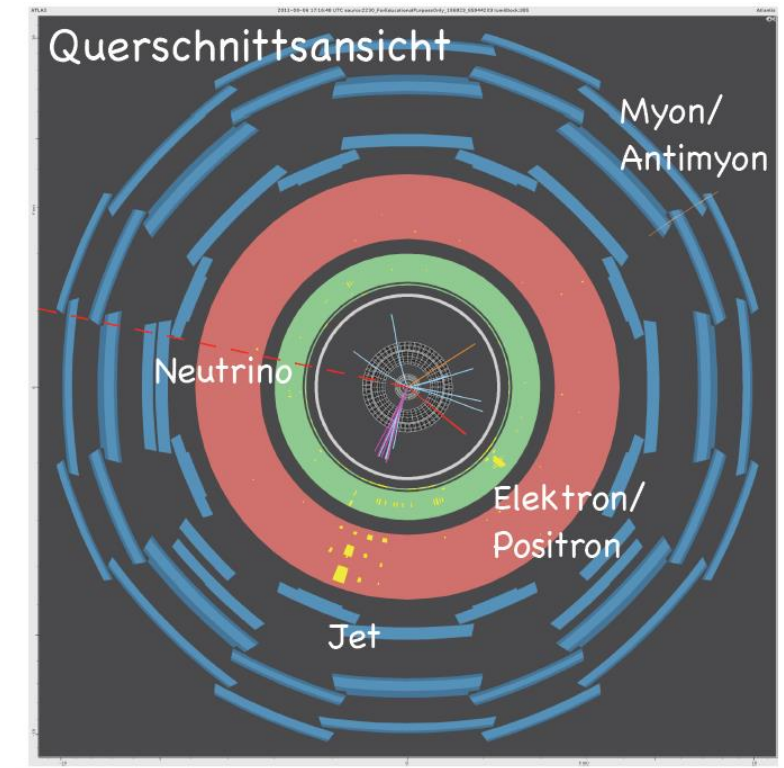
blaue Spur
 gleiche Geschwindigkeit
 orange farbene Spur

Zurück Weiter

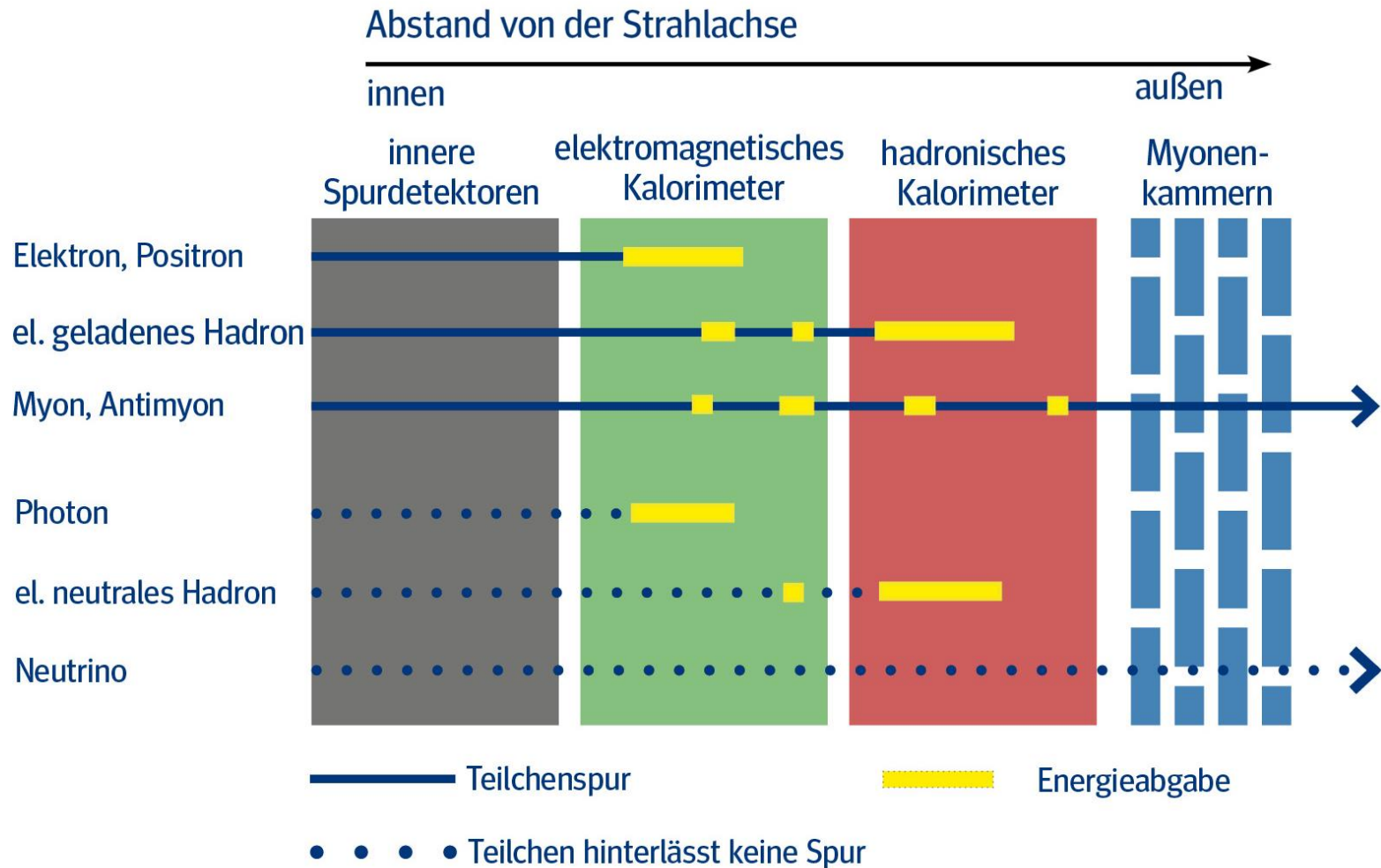
Event Displays im Unterricht

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

- Spurdetektoren
- elektromagnetisches Kalorimeter
- hadronisches Kalorimeter
- Myonenkammern

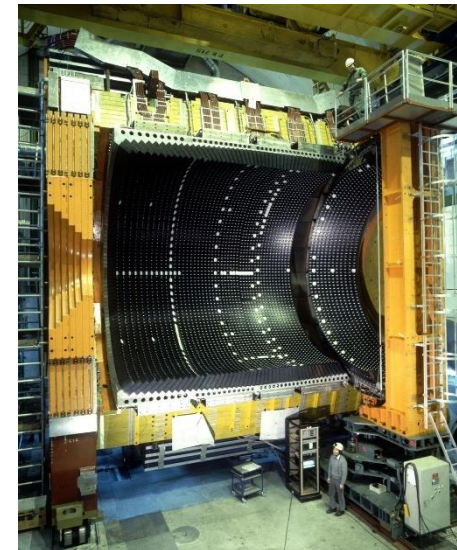


Teilchenspuren im ATLAS-Detektor



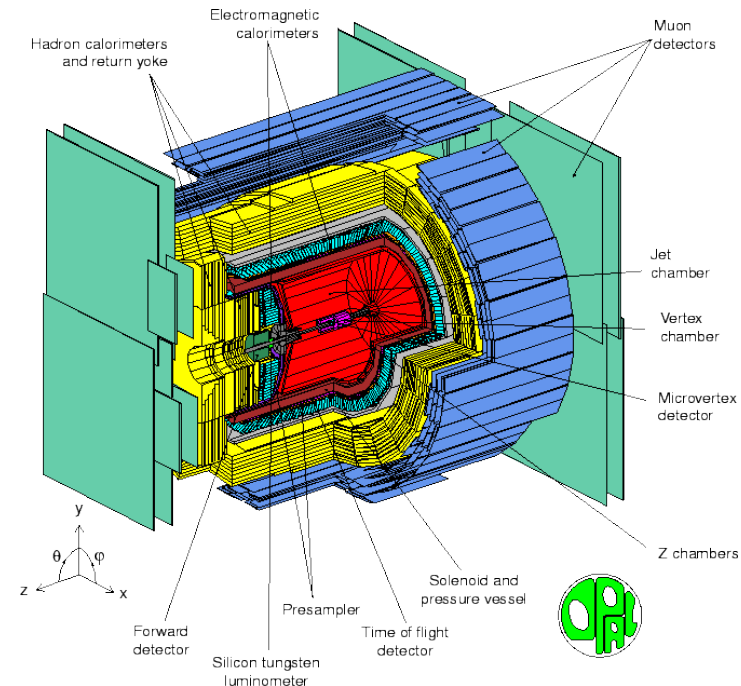
Beispiele - Das OPAL-Eventdisplay

- ▶ 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)



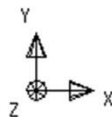
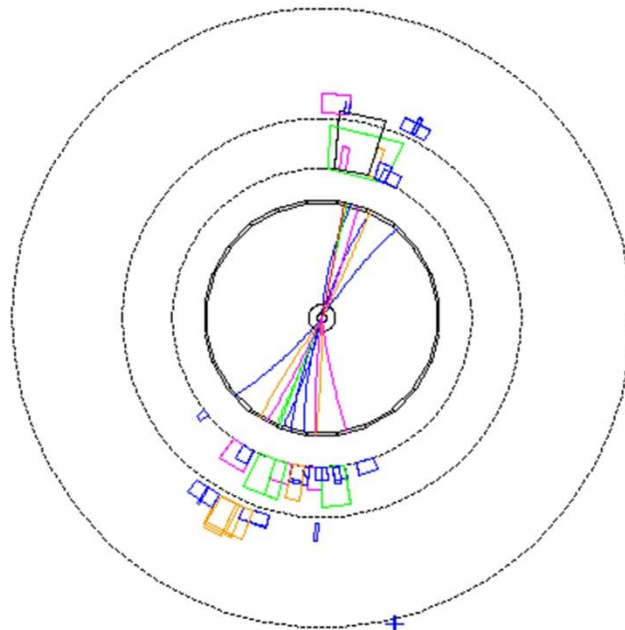
LEP oder LHC in der Schule?

- ▶ 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

Run:event 5293: 20246 Ctrk(N= 26 Sump= 53.4) Ecal(N= 41 SumE= 63.0)
Ebeam 46.800 Vtx (-.04, .04, 1.88) Hcal(N=17 SumE= 10.2) Muon(N= 0)

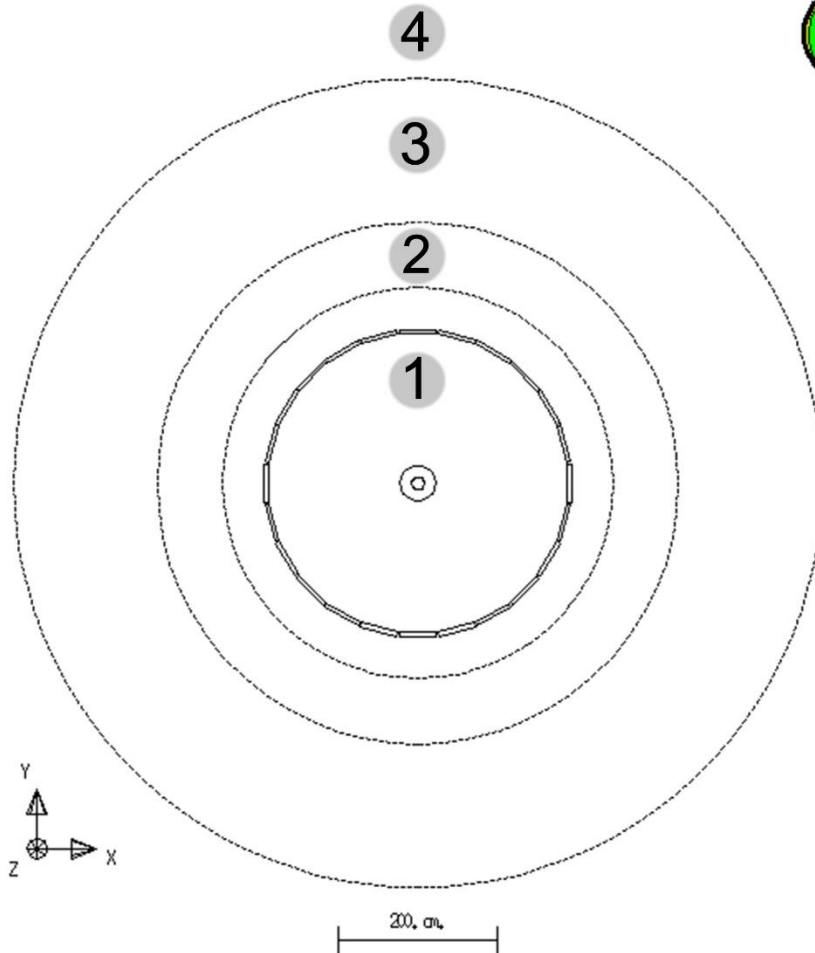


Centre of screen is (.000, 19.288, .000)

200 cm

124850 GeV

Das OPAL-Eventdisplay



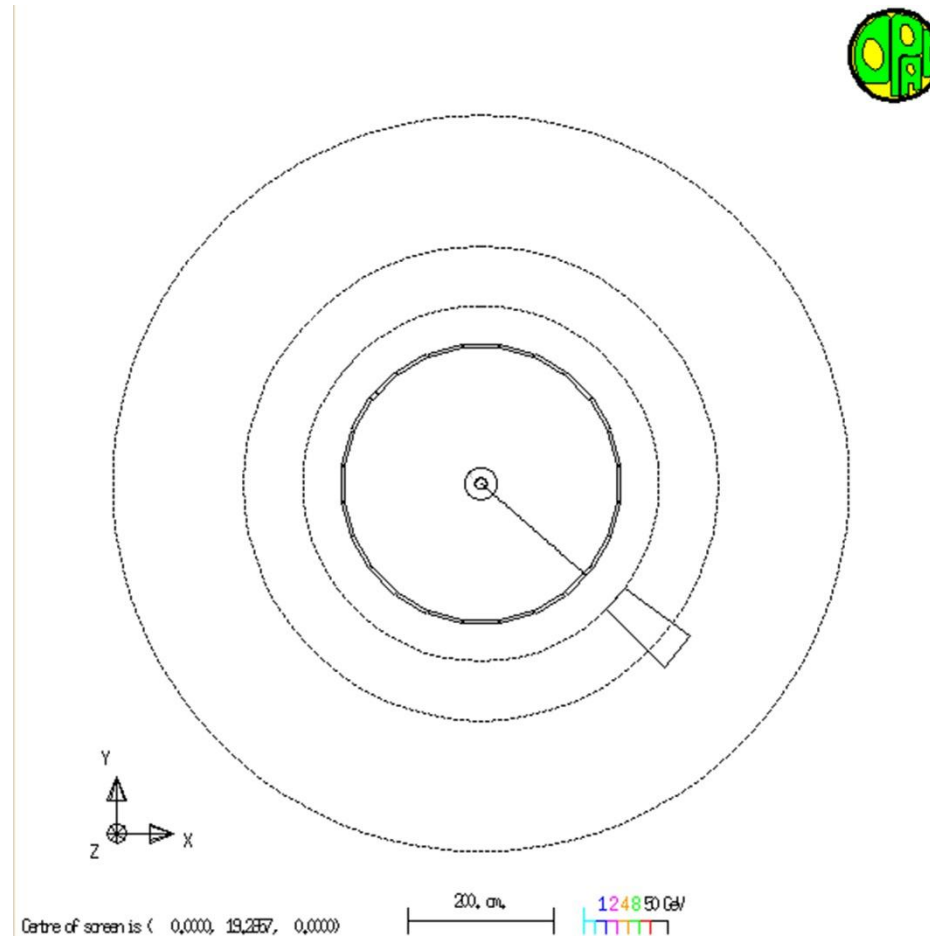
1 Spurkammer

2 elektromagn. Kalorimeter

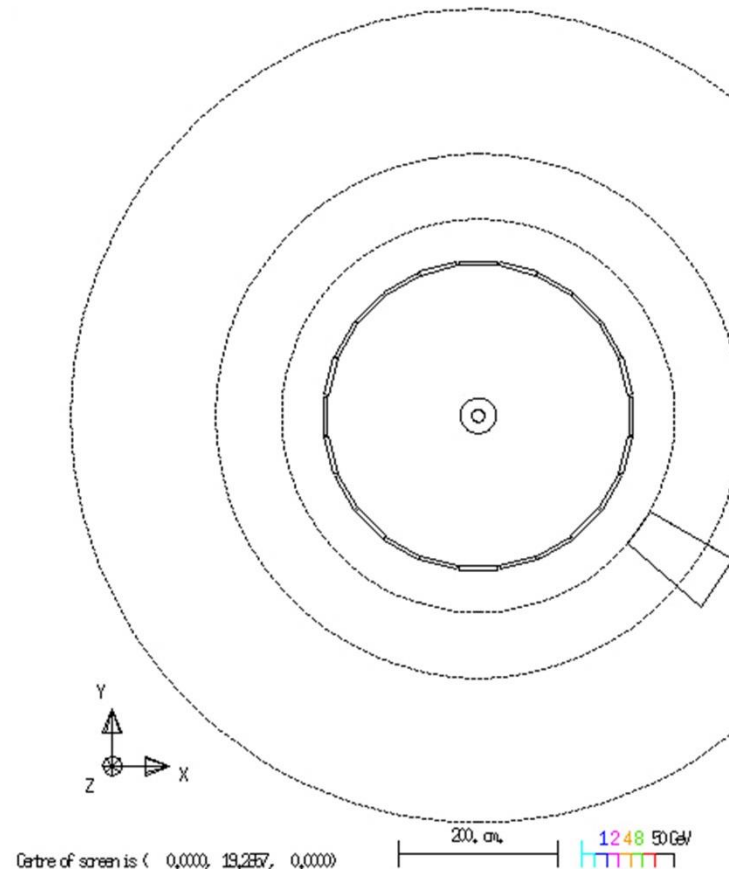
3 hadronisches Kalorimeter

4 Myonkammer

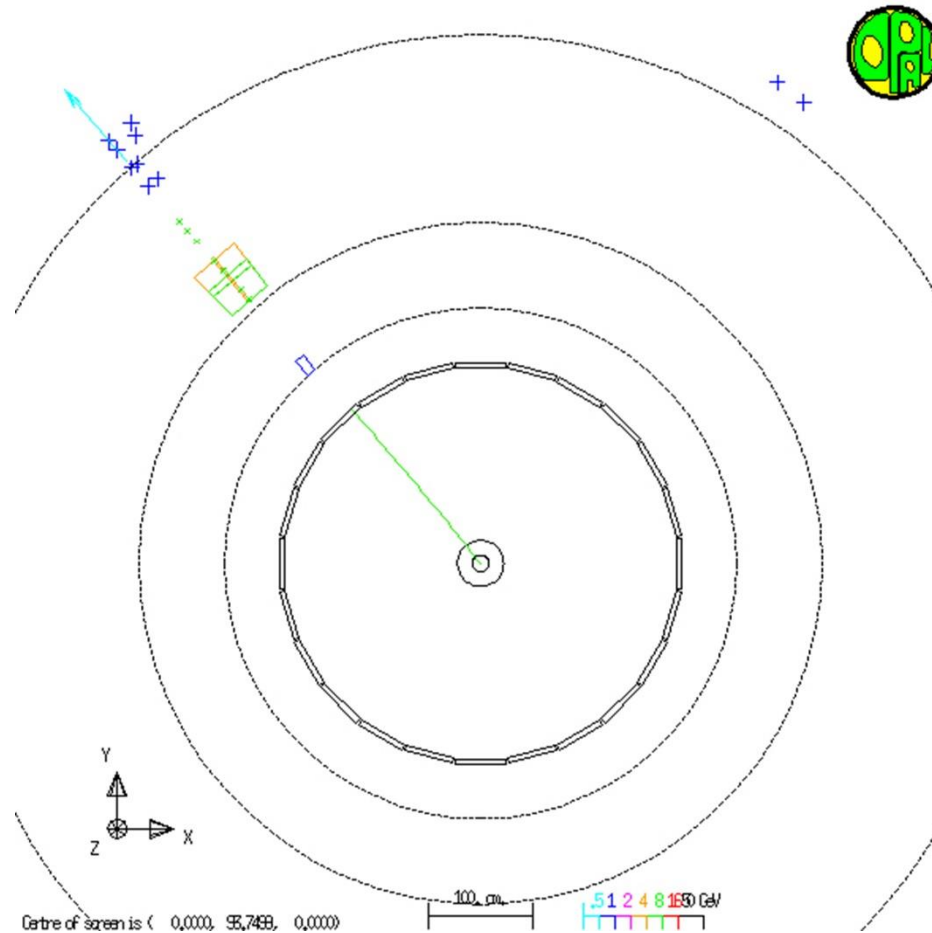
Elektron oder Positron



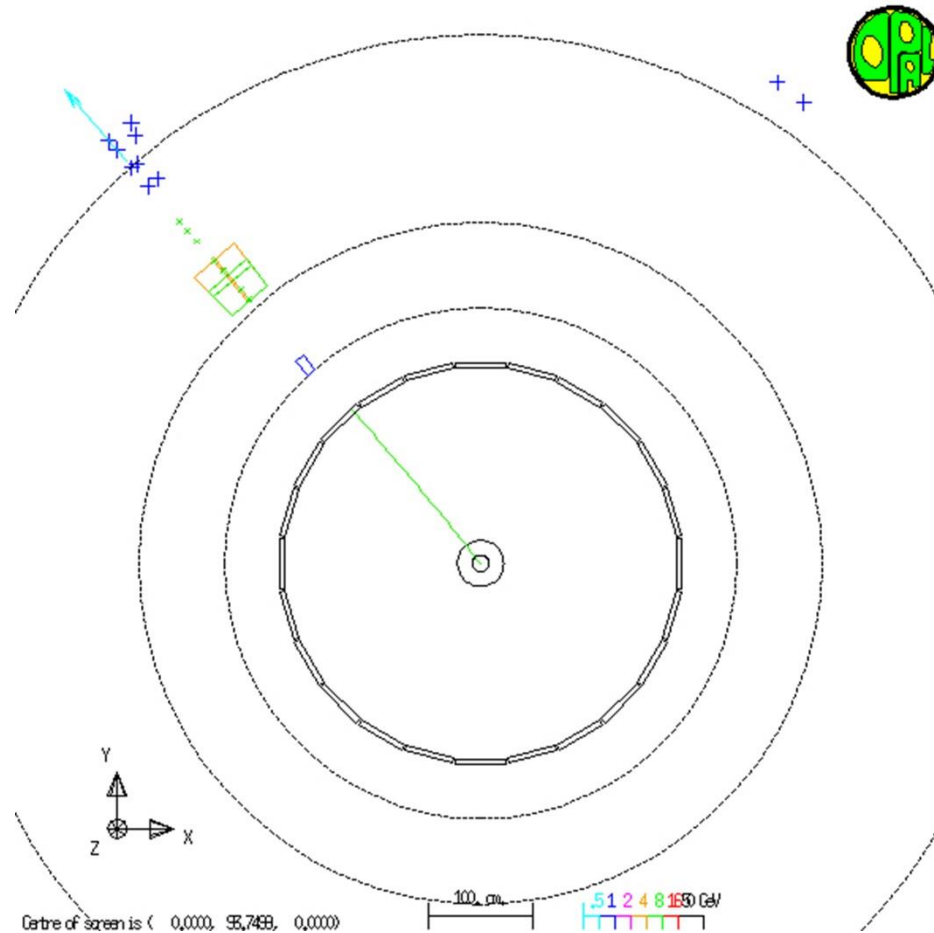
Photon



Elektrisch geladenes Hadron

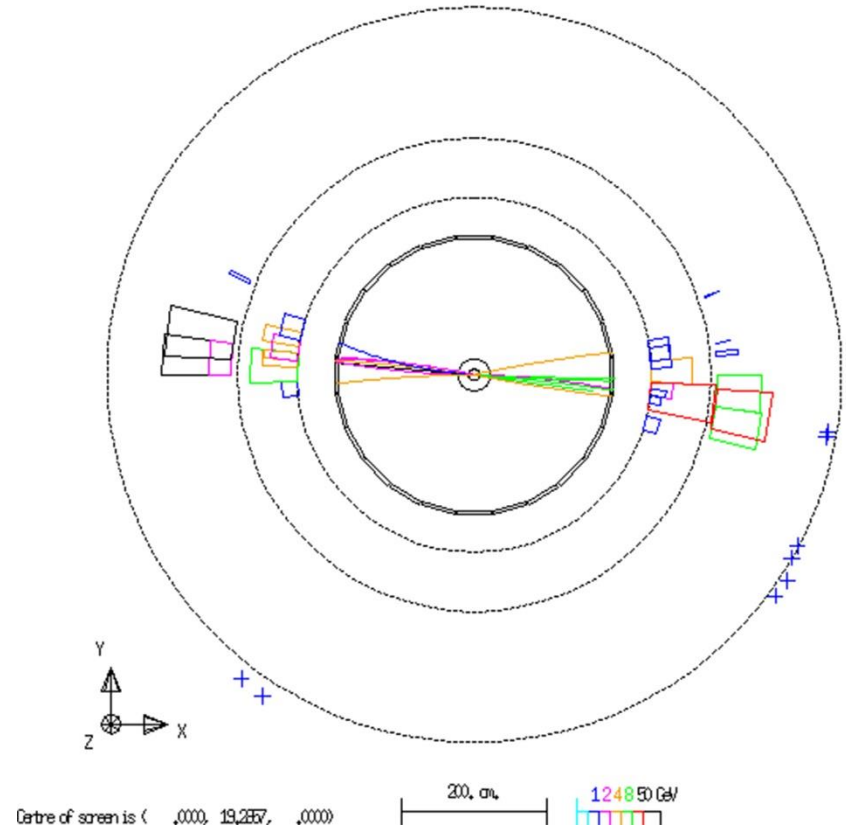


Anti-/Myon



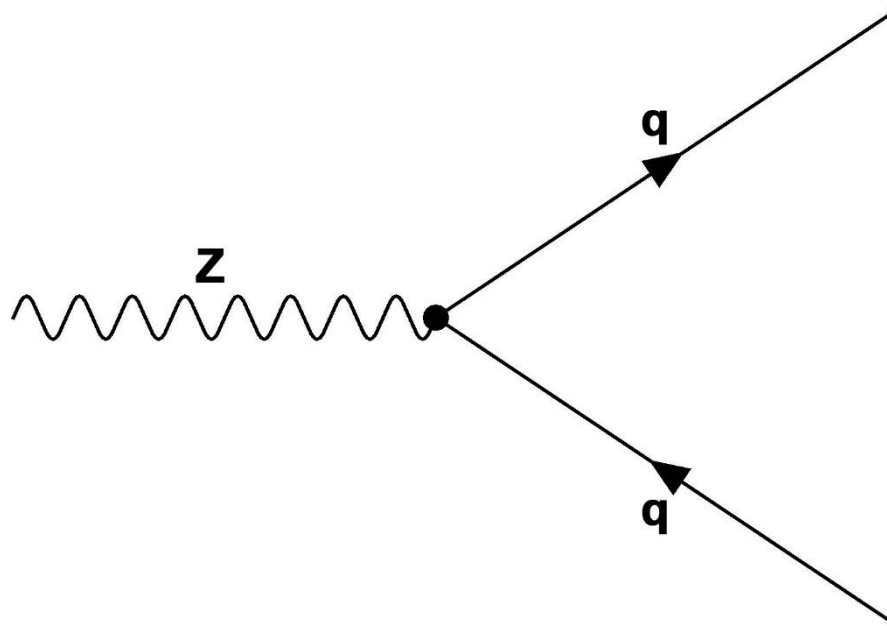
Jets - erzeugt durch Quarks oder Gluonen

Run: event 5293: 54644 CTrk(N= 26 Sump= 59.9) Ecal(N= 28 SumE= 40.2)
Ebeam 46.599 Vtx (.00, .04, .17) Hcal(N=14 SumE= 33.0) Muon(N= 0)



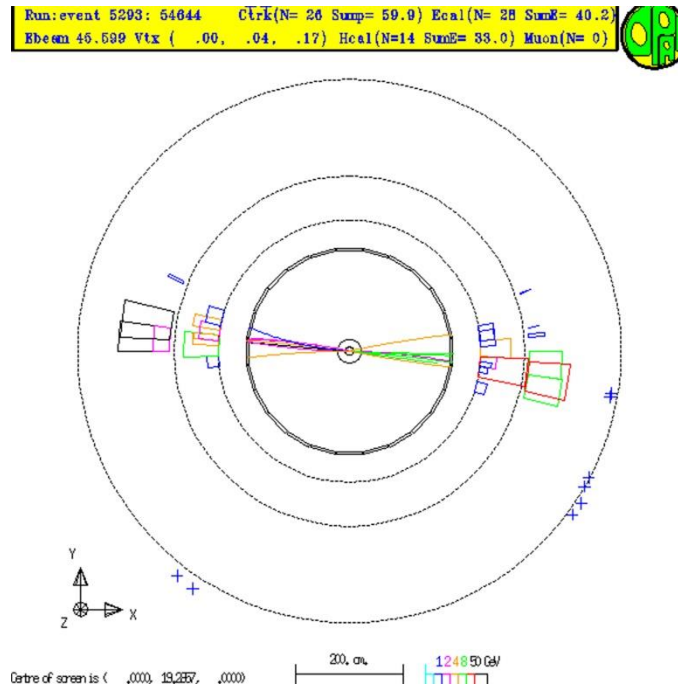
Was hat man gemessen?

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



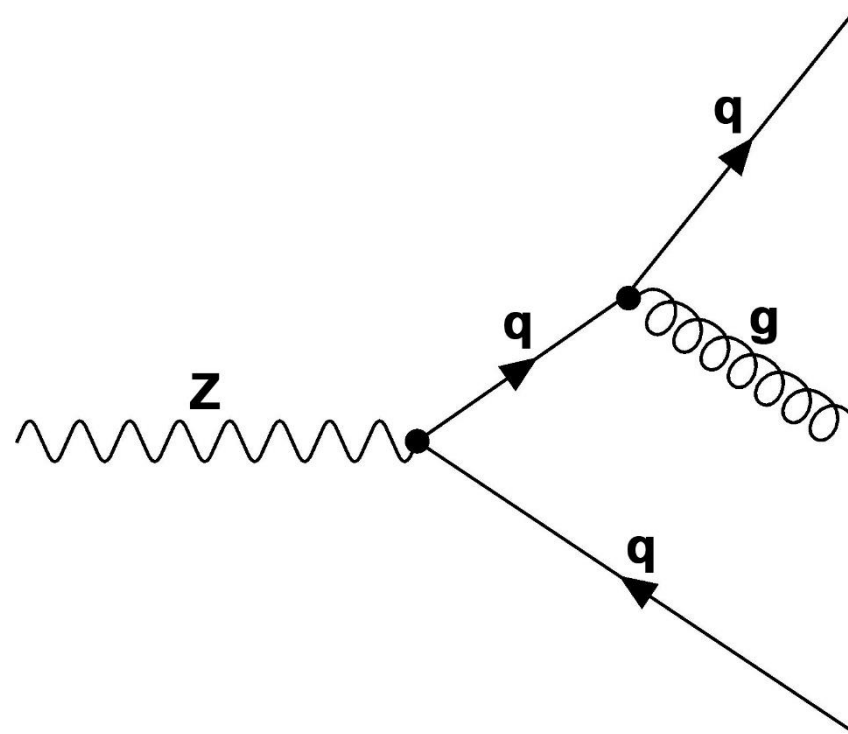
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

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



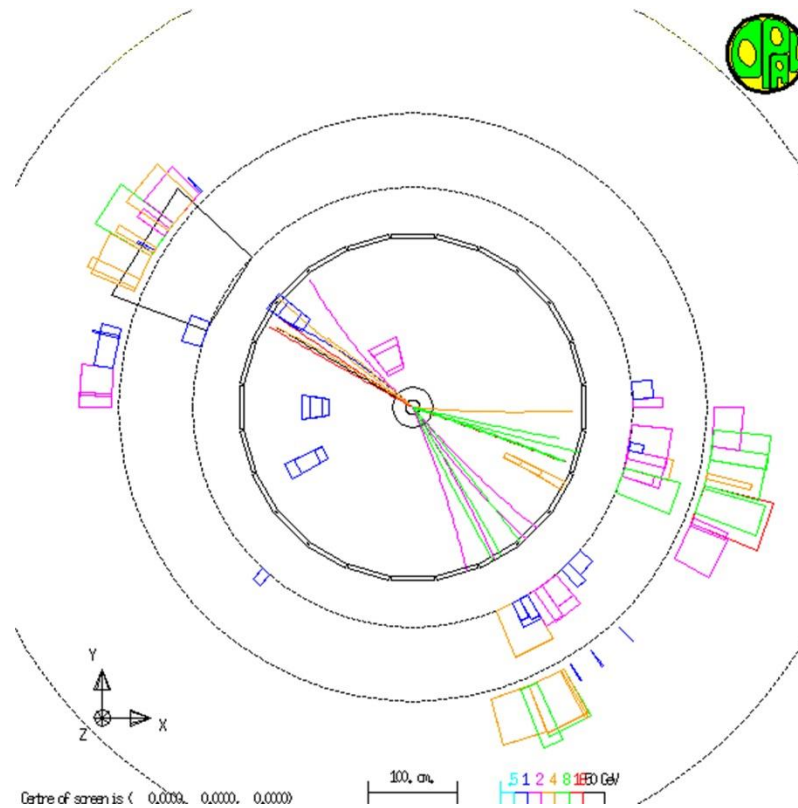
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- ▶ Manchmal passiert aber auch das:

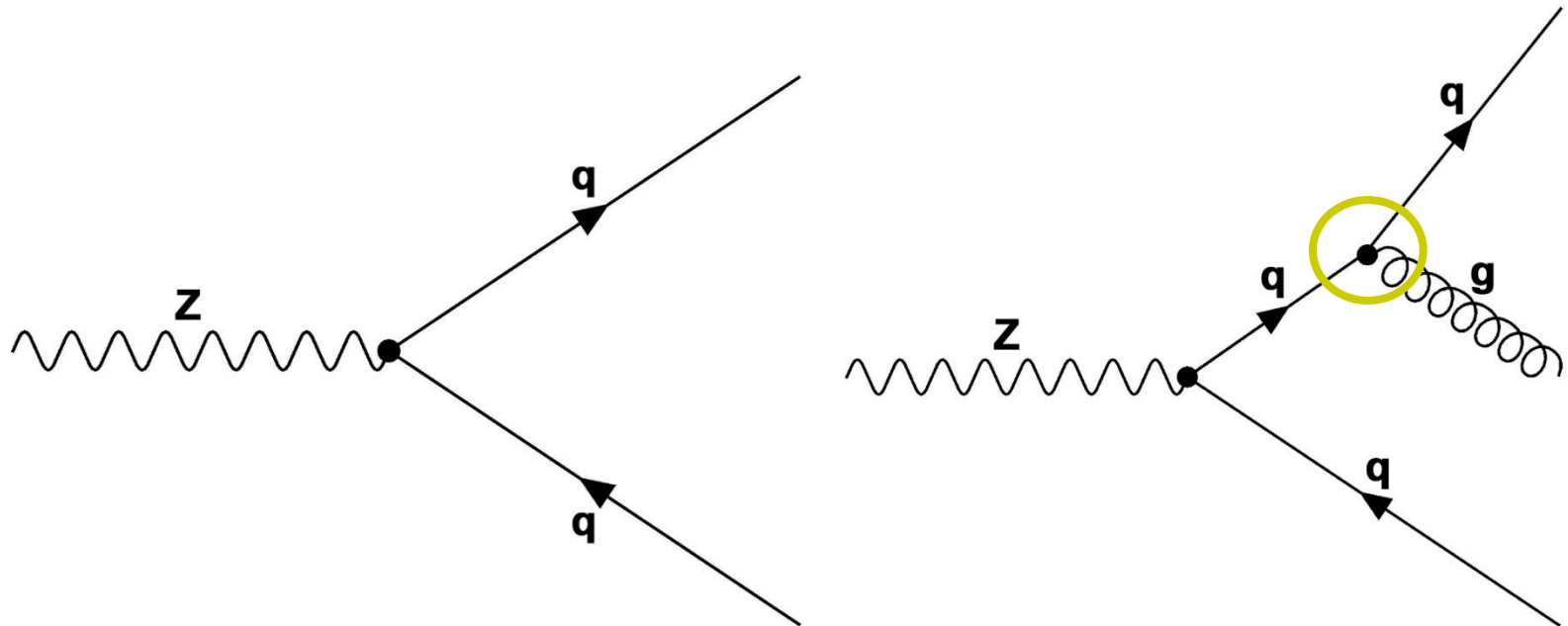


Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- ▶ 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



PARTNER



SCHIRMHERRSCHAFT



FÖRDERER

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG



www.facebook.de/teilchenwelt/



NETZWERK
TEILCHENWELT

Diskussion / Fragen

