

Forschungsmethoden in der Teilchenphysik II

Und ausgewählte Materialien für den
Schulunterricht



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG

Philipp Lindenau, Niklas Herff
Ratingen | 02.-03.12.2021

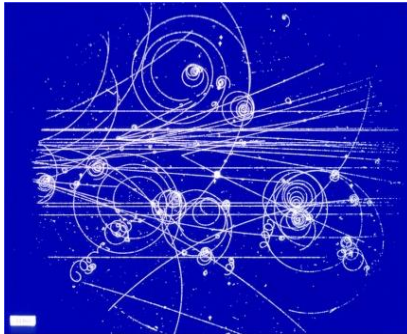


NETZWERK
TEILCHENWELT

Wie weist man Elementarteilchen nach?

► Bildgebende Detektoren

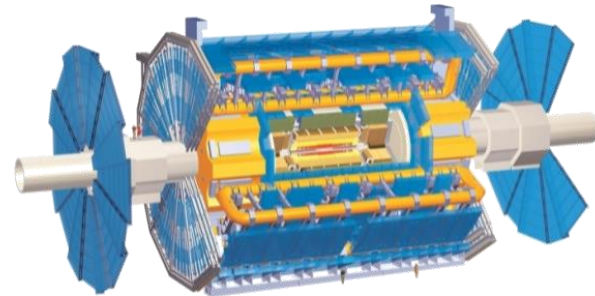
- Nebelkammer
- Blasenkammer



► sichtbare Teilchenspuren

► Elektronische Detektoren

- ATLAS-Detektor
- Geigerzähler



► Elektrische Signale

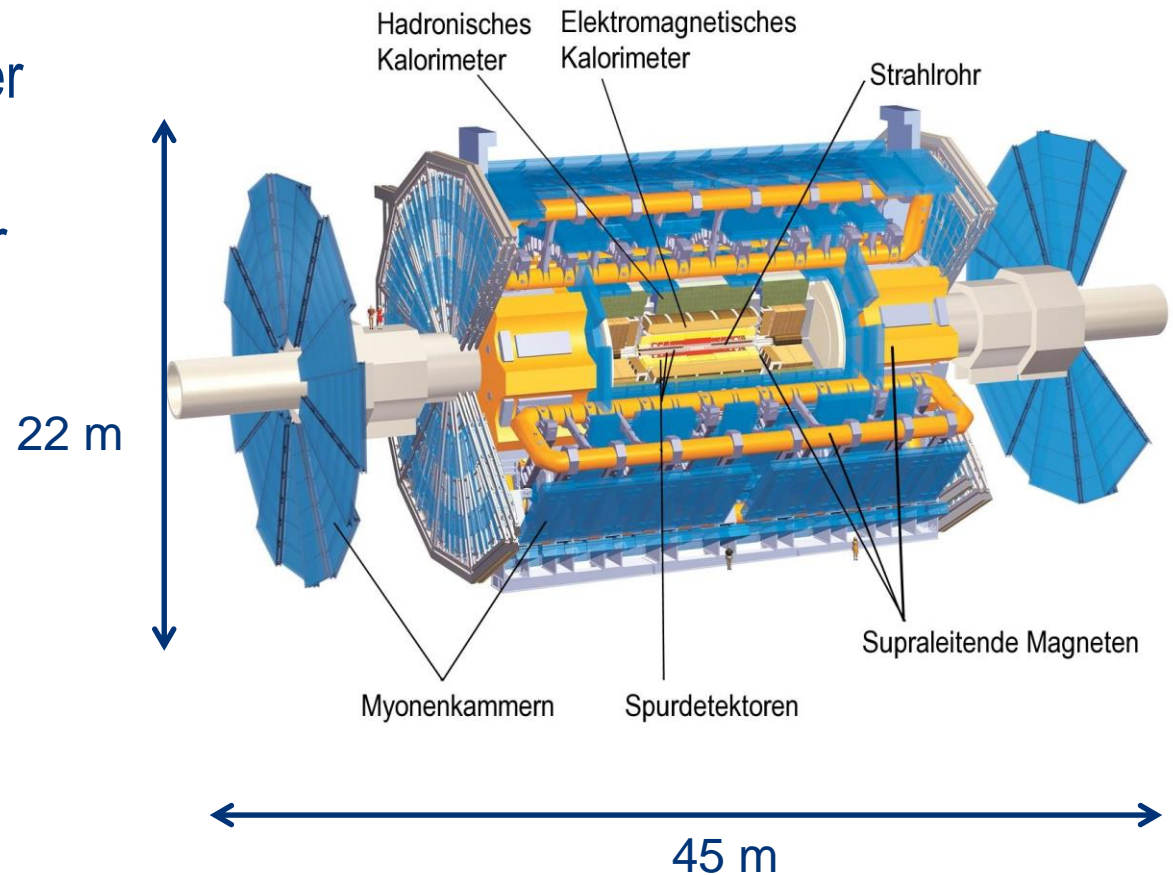
- Eigenschaften der Teilchen werden daraus rekonstruiert

Der ATLAS-Detektor ist das hier nicht!



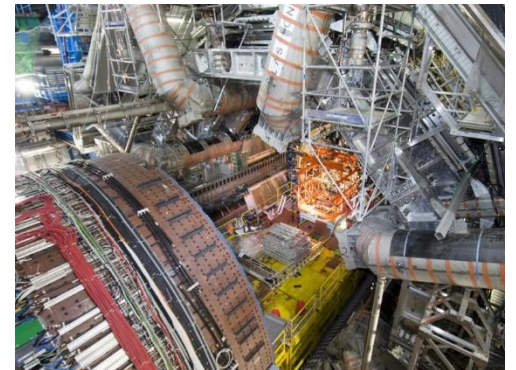
Der ATLAS - Detektor (A Toroidal LHC AparatuS)

- ▶ 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>

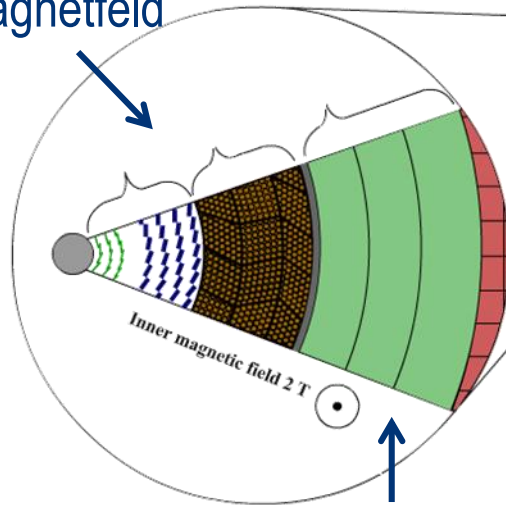


Detektoraufbau am Beispiel von ATLAS

- ▶ 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)
- ▶ Zugehörige Arbeitsblätter können später getestet werden

Spurdetektoren

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

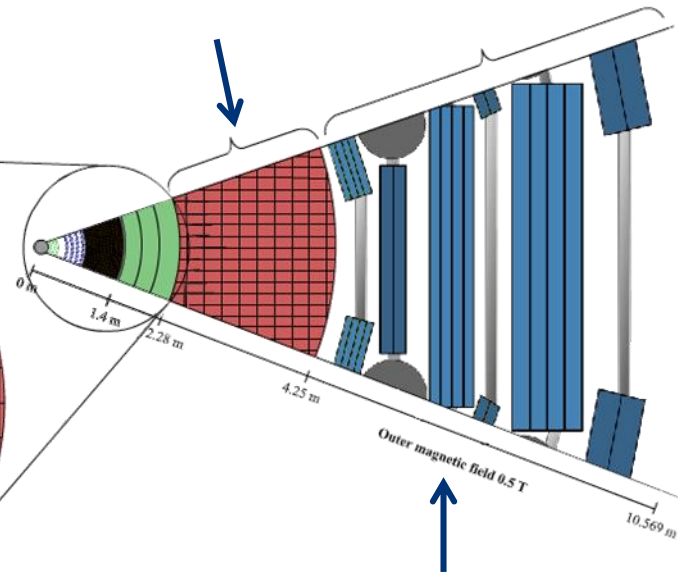


Elektromagnetisches Kalorimeter

- 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

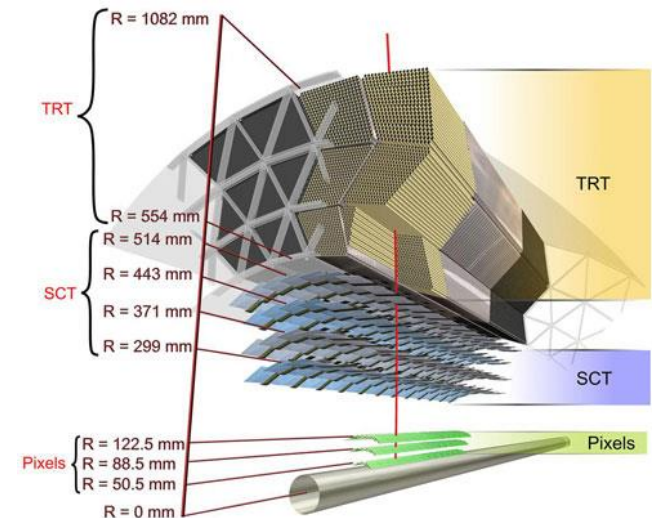
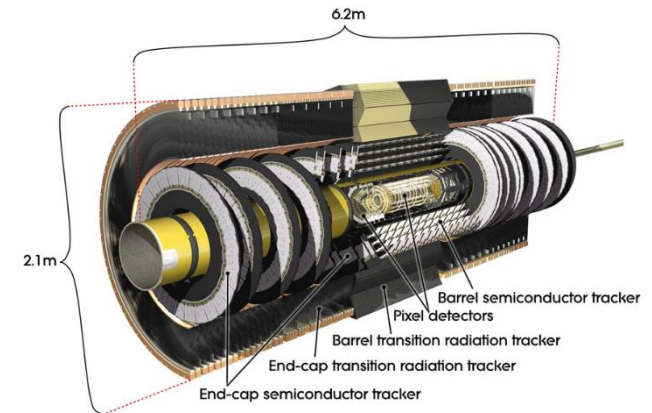
ATLAS - Spurdetektoren

▶ Pixel Detektor

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

▶ Silicon Microstrip Tracker

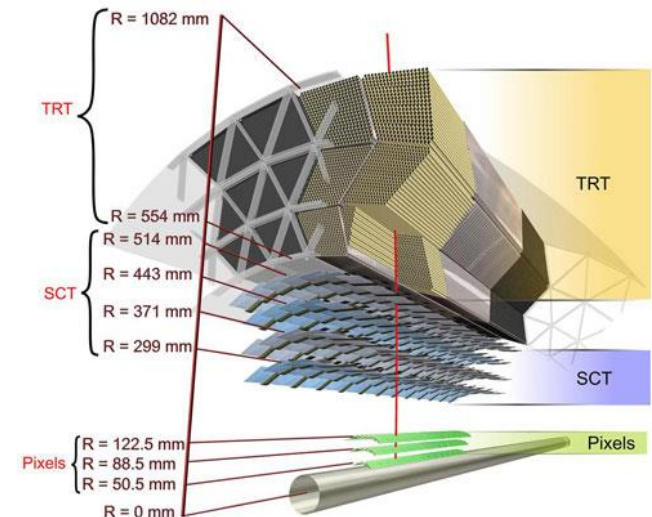
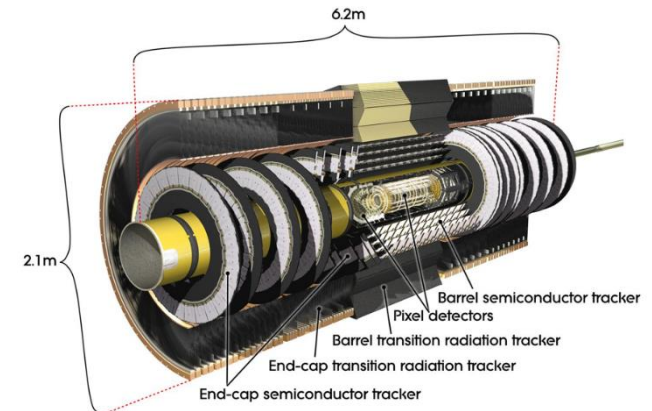
- Bestehend aus 4,088 doppelseitigen Modulen
- 6 Million Auslese Kanäle



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



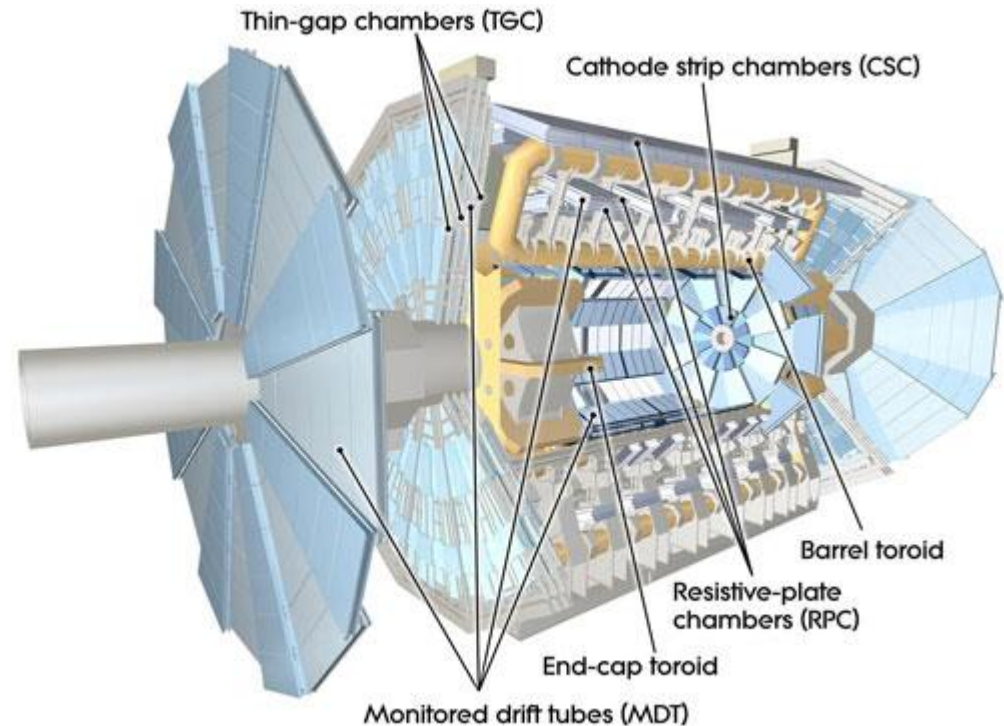
Kalorimeter

- ▶ Messung der Energie
- ▶ Aufbau in Schichten
- ▶ Teilchen wird durch Kalorimeter gestoppt
 - Abgegebene Energie wird in Detektorschichten nachgewiesen
- ▶ EM Kalorimeter
 - Nachweis via elektromagnetischen Kaskaden
 - Abhängig von Z des Materials
- ▶ Hadronisches Kalorimeter
 - Nachweis via starker Wechselwirkung

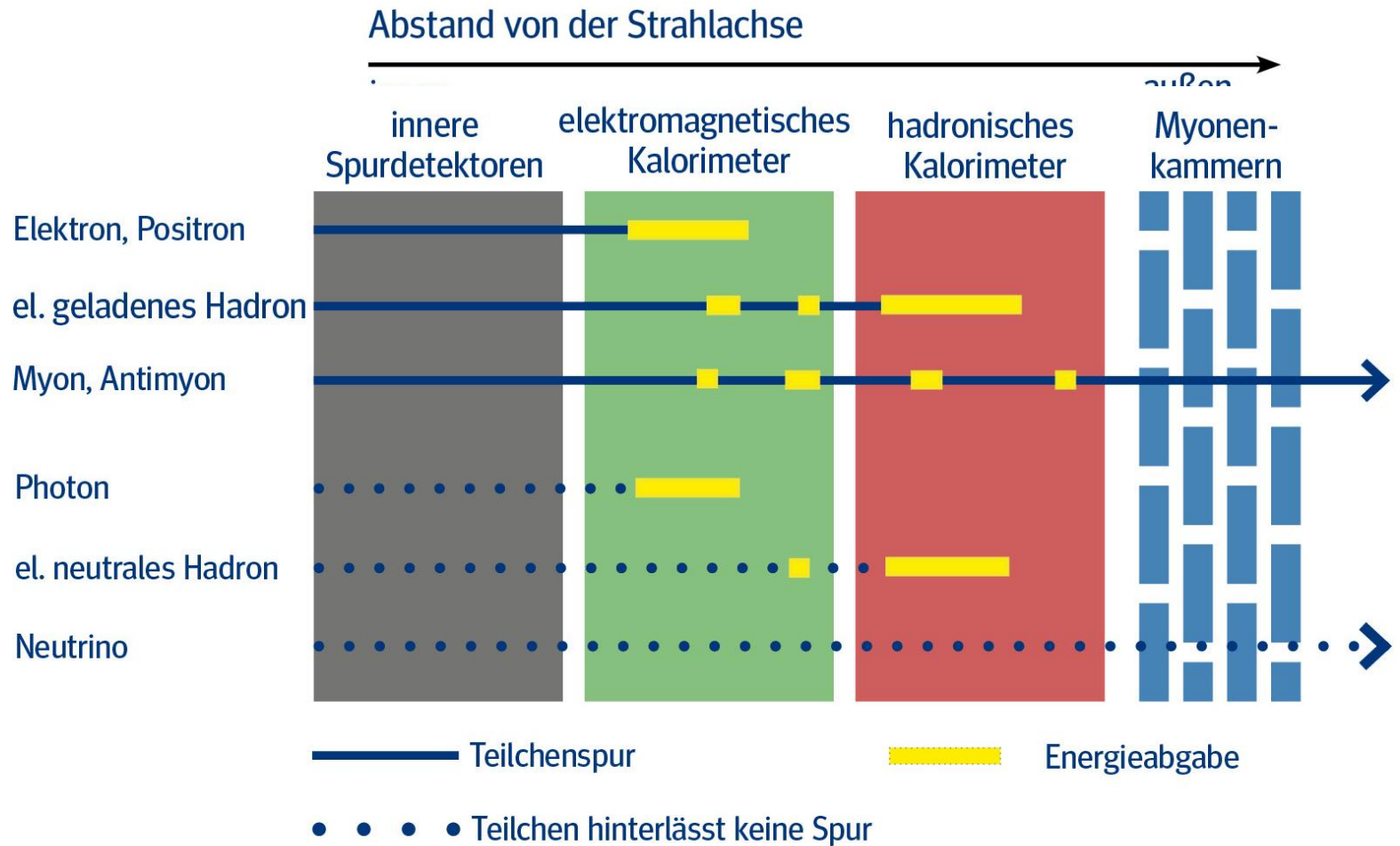


Myonenkammern

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

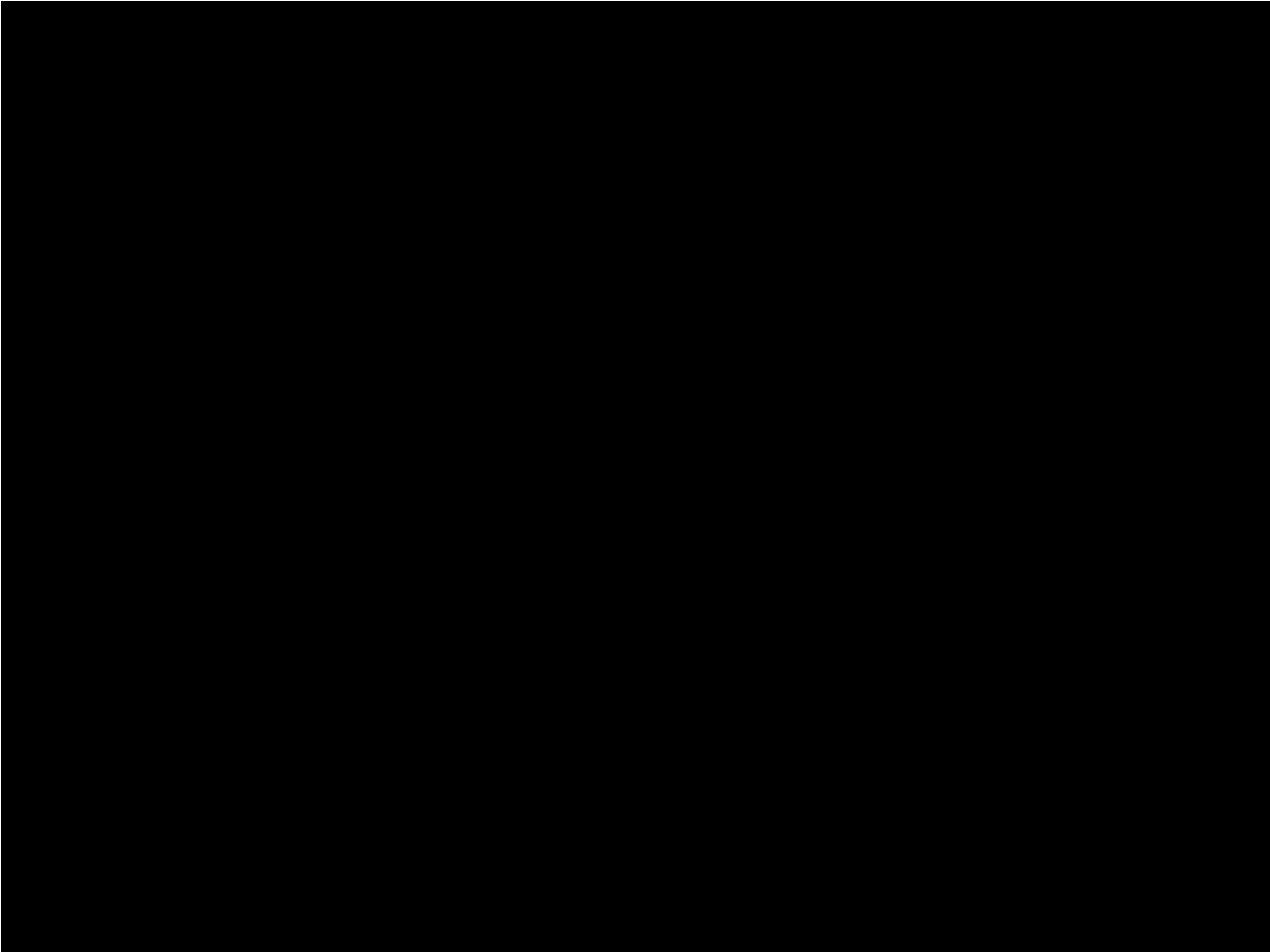


Teilchenspuren im ATLAS-Detektor





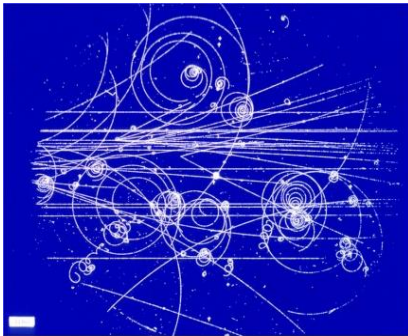
DER ATLAS-DETEKTOR



Aufgaben/Materialien für den Schulunterricht

▶ Bildgebende Detektoren

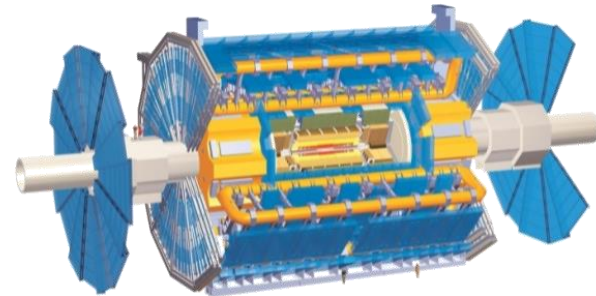
- Nebelkammer
- Blasenkammer



▶ 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 Blasenkammeraufnahme

Aufgabe 2

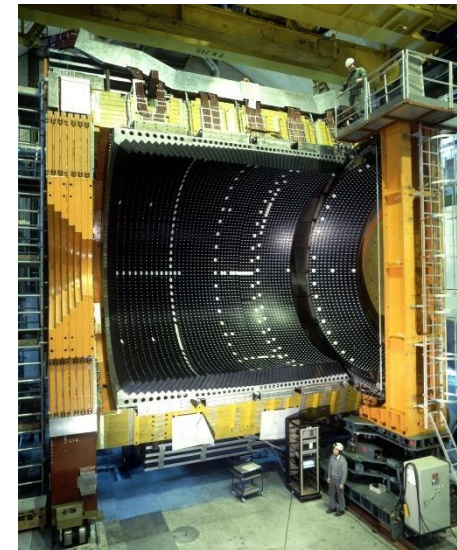
Die blau und die orange hervorgehobene Spur stammen jeweils von einem Teilchen. Entscheide, welches die größere Geschwindigkeit besitzt.

blaue Spur
 gleiche Geschwindigkeit
 orange farbene Spur

Zurück Weiter

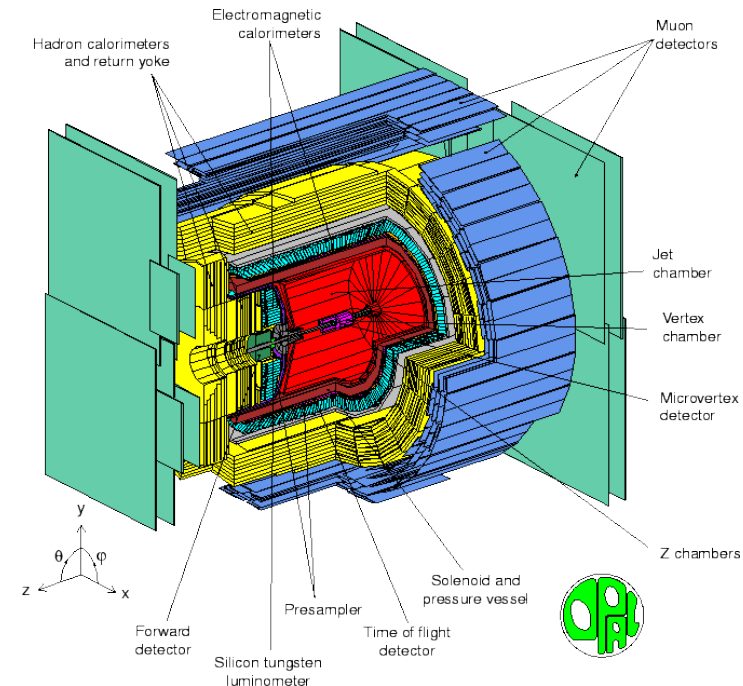
Das OPAL-Eventdisplay

- ▶ 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)



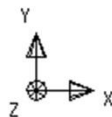
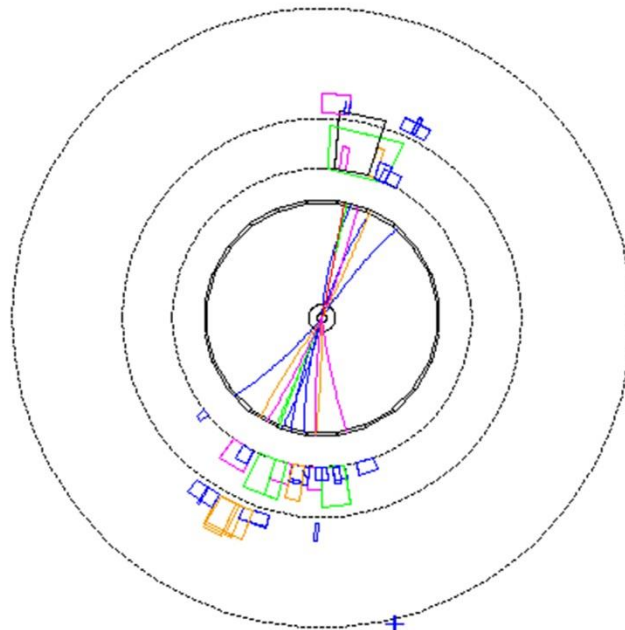
LEP oder LHC in der Schule?

- ▶ 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



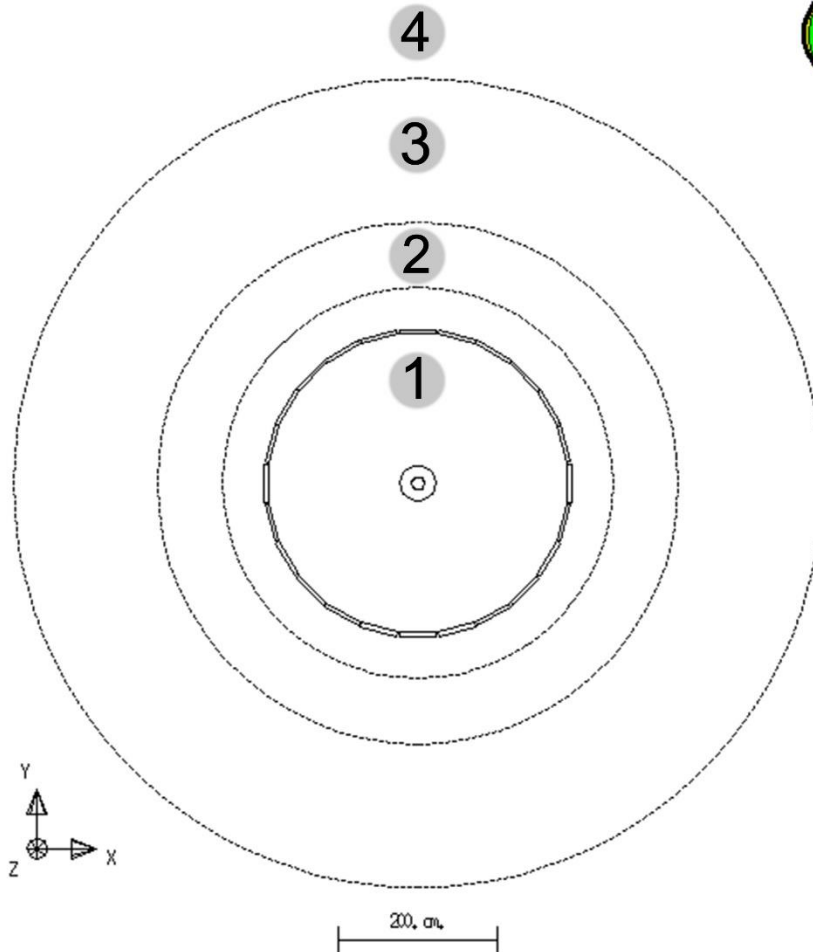
Das OPAL-Eventdisplay

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



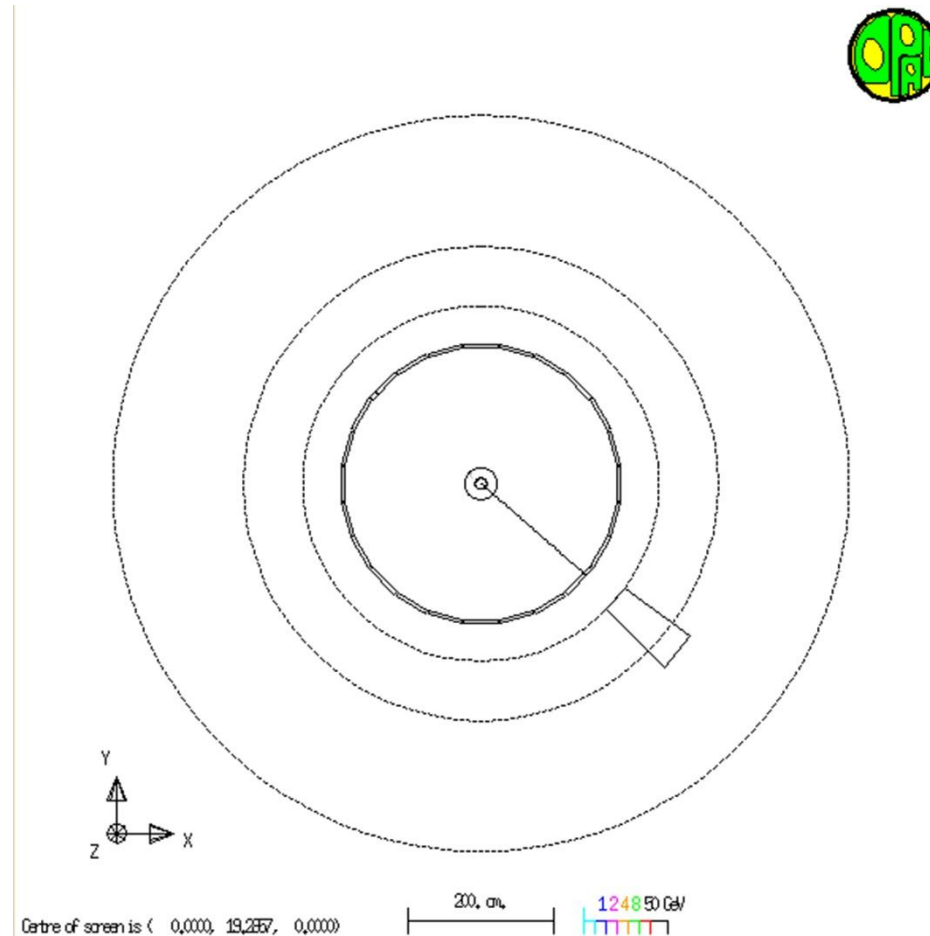
1 Spurkammer

2 elektromagn. Kalorimeter

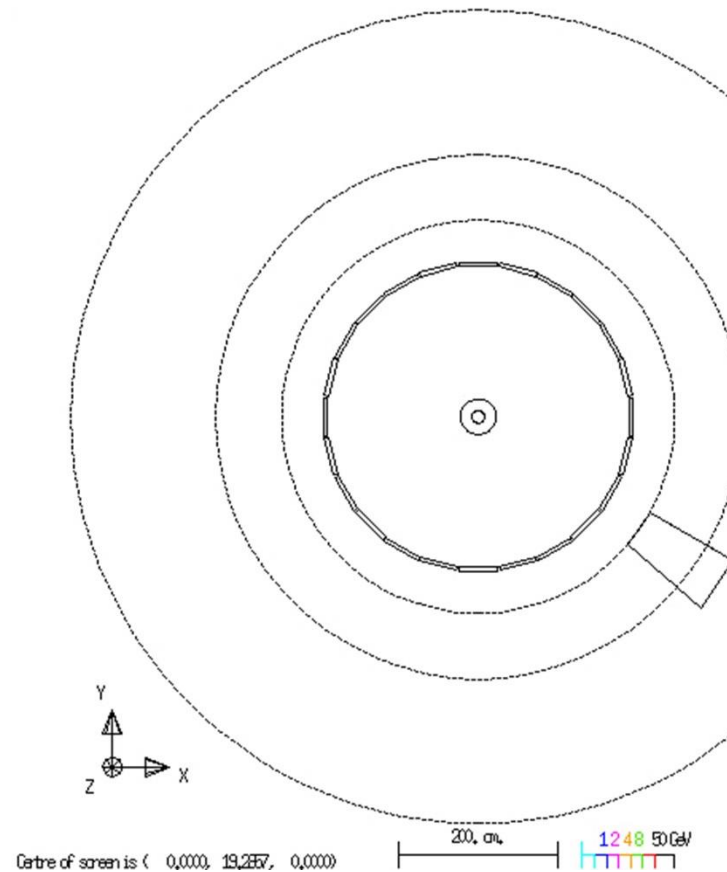
3 hadronisches Kalorimeter

4 Myonkammer

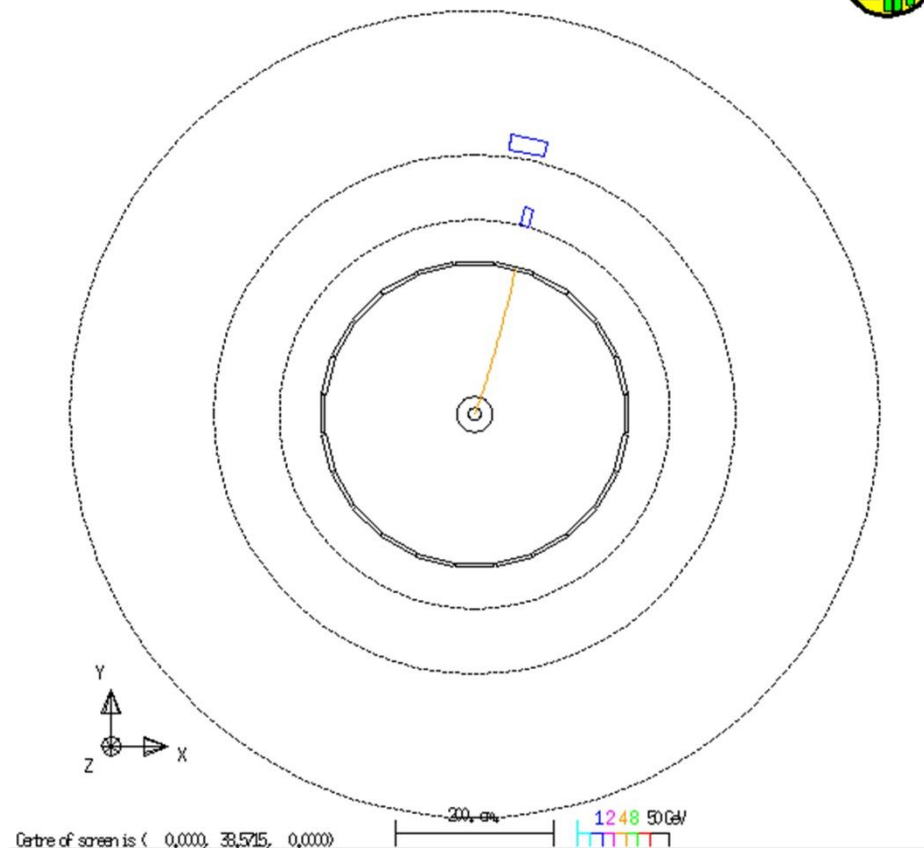
Elektron oder Positron



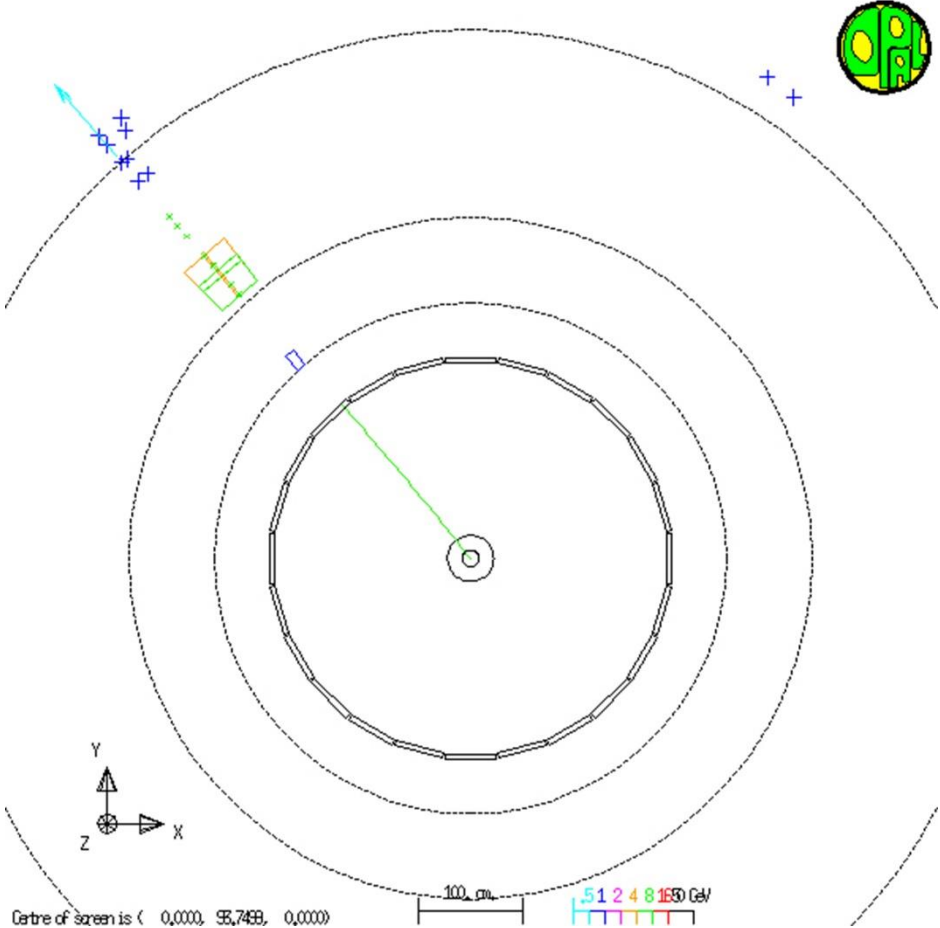
Photon



Elektrisch geladenes Hadron

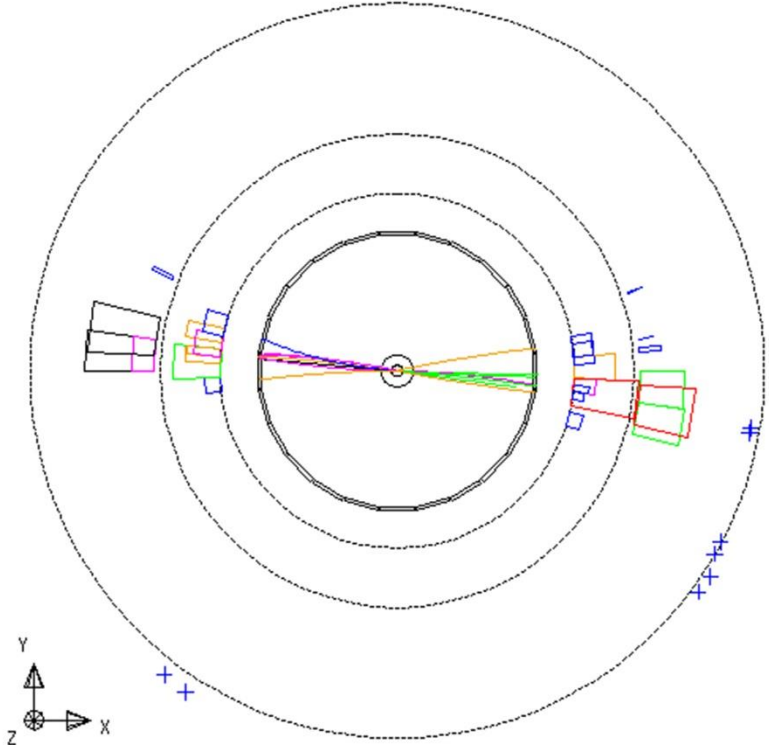


Anti-/Myon



Jets - erzeugt durch Quarks oder Gluonen

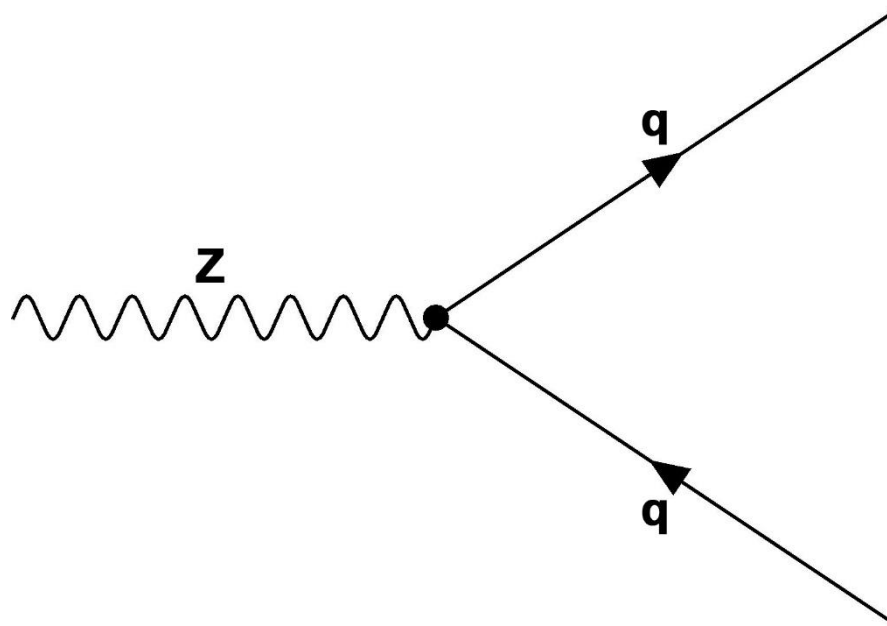
Run: event 5293: 54644 CTrk(N= 26 Sump= 59.9) Ecal(N= 28 SumE= 40.2)
Ebeam 46.599 Vtx (.00, .04, .17) Hcal(N=14 SumE= 33.0) Muon(N= 0)



Centre of screen is (.0000, 19.2857, .0000) |----- 200 cm -----| 124850 GeV

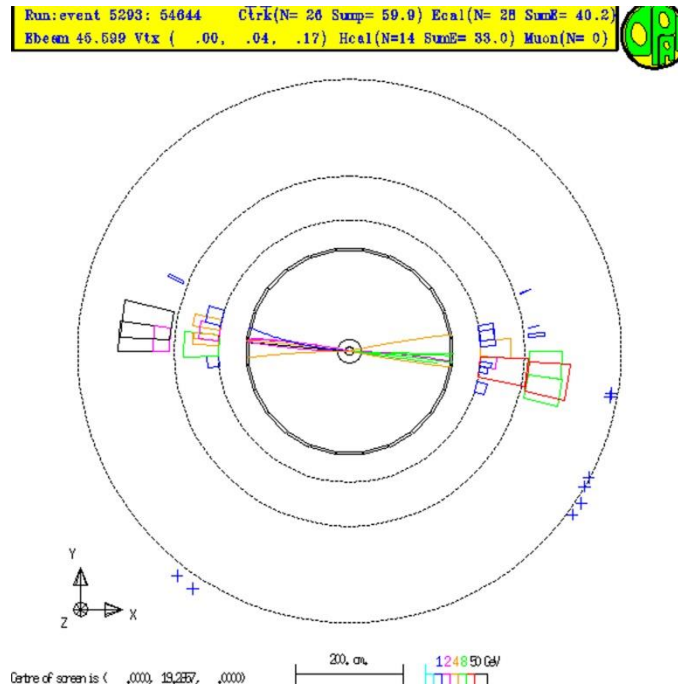
Was hat man gemessen?

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



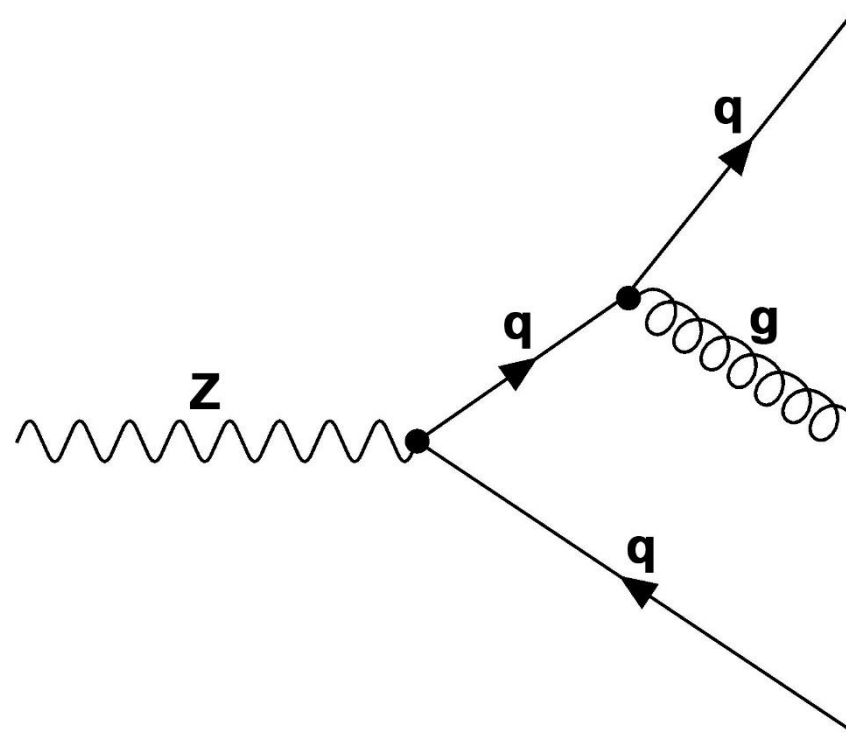
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

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



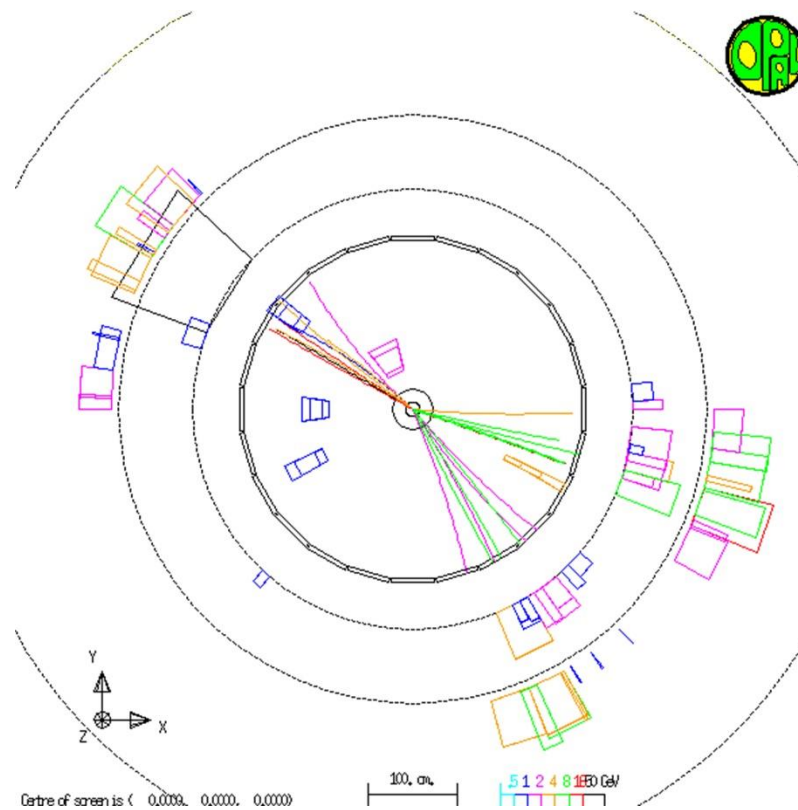
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- ▶ Manchmal passiert aber auch das:

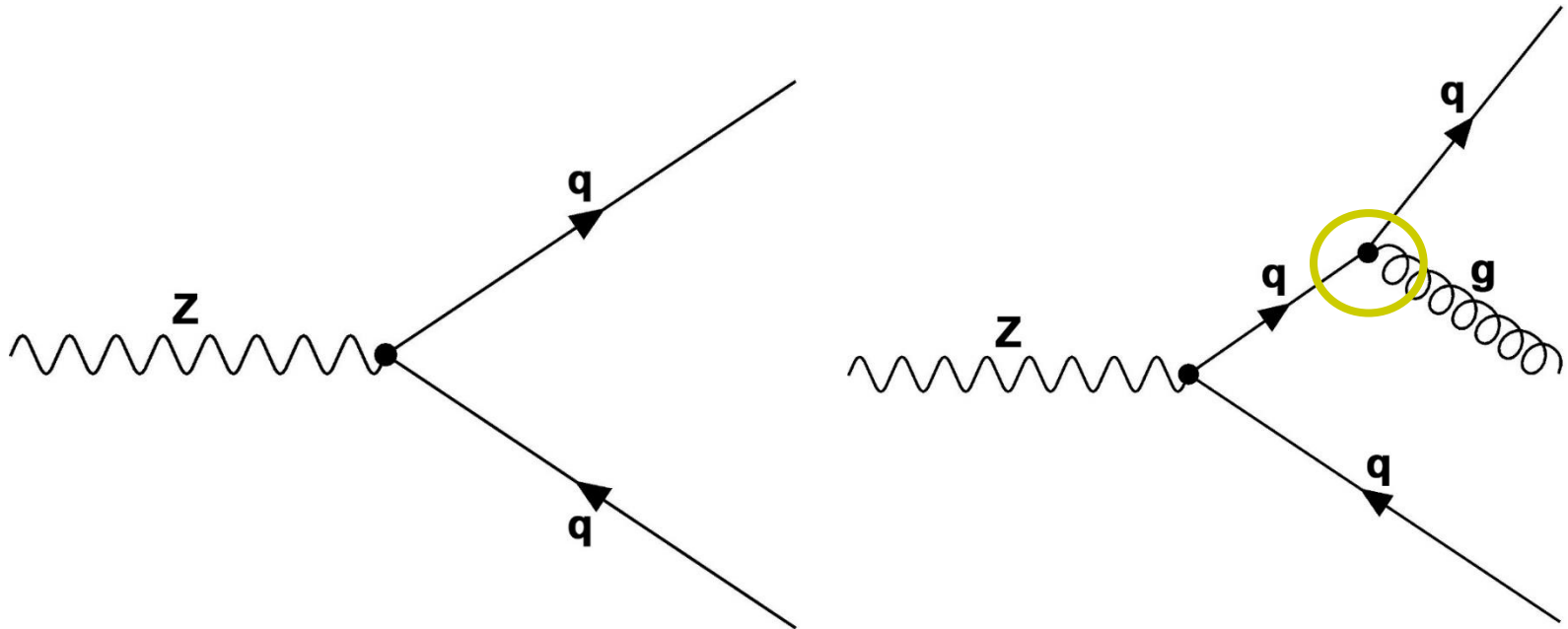


Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- ▶ 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 Wahrscheinlichkeit, 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 Wahrscheinlichkeit 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

