

# Forschungsmethoden in der Teilchenphysik II

Und ausgewählte Materialien für den  
Schulunterricht



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG

Philipp Lindenau, Sebastian Fabianski  
Bad Wildbad | 15.-17.05.2019

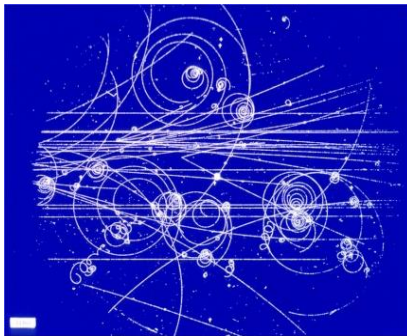


NETZWERK  
TEILCHENWELT

# Wie weist man Elementarteilchen nach?

## ► Bildgebende Detektoren

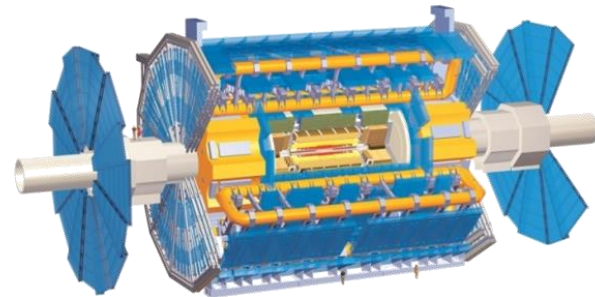
- Nebelkammer
- Blasenkammer



## ► sichtbare Teilchenspuren

## ► Elektronische Detektoren

- ATLAS-Detektor
- Geigerzähler



## ► Elektrische Signale

- Eigenschaften der Teilchen werden daraus rekonstruiert

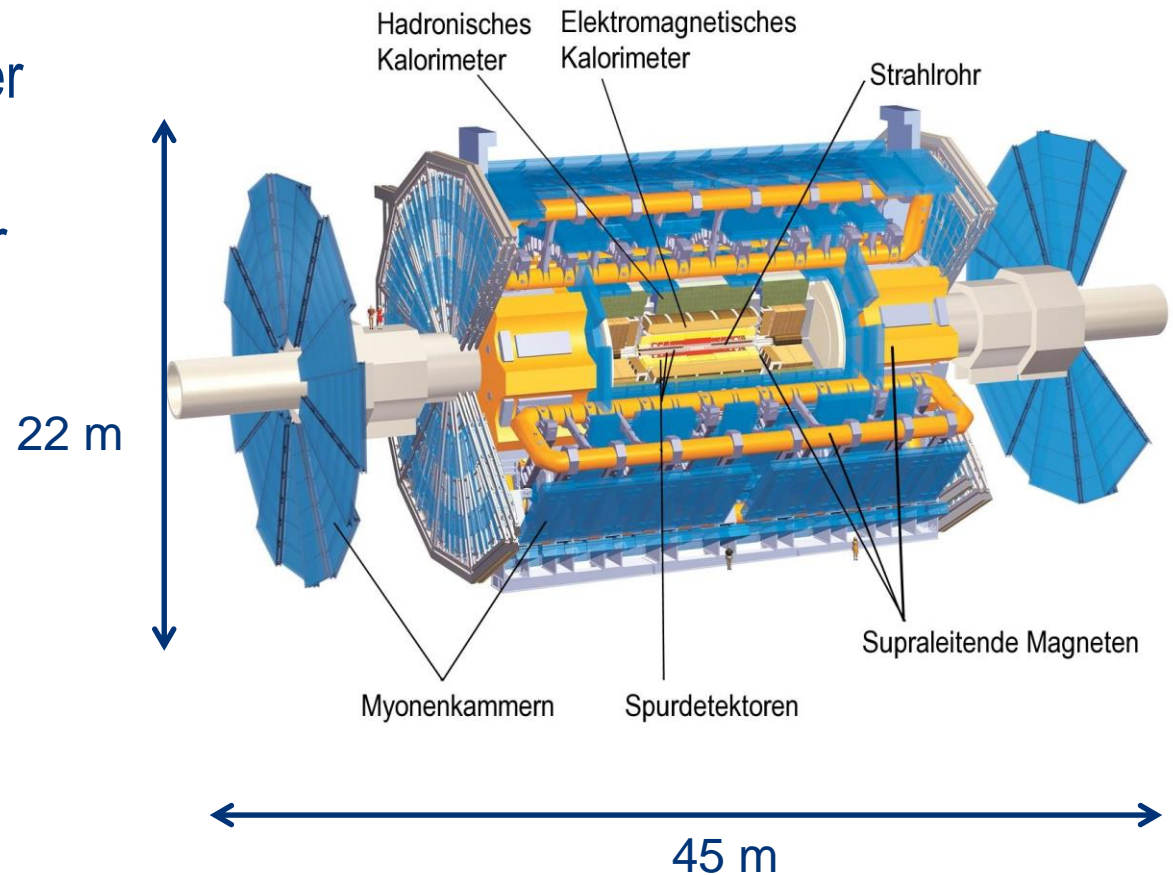
# Der ATLAS-Detektor ist das hier nicht!





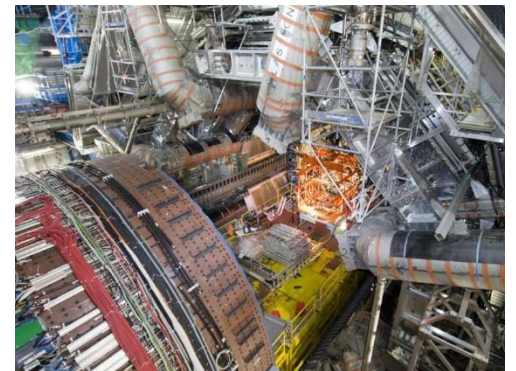
# Der ATLAS - Detektor (A Toroidal LHC AparatuS)

- ▶ 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>

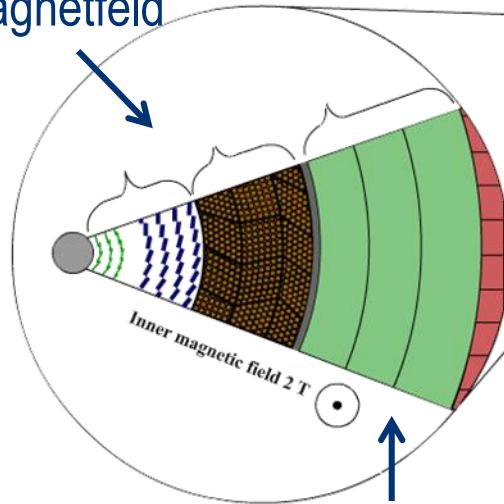


# Detektoraufbau am Beispiel von ATLAS

- ▶ 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

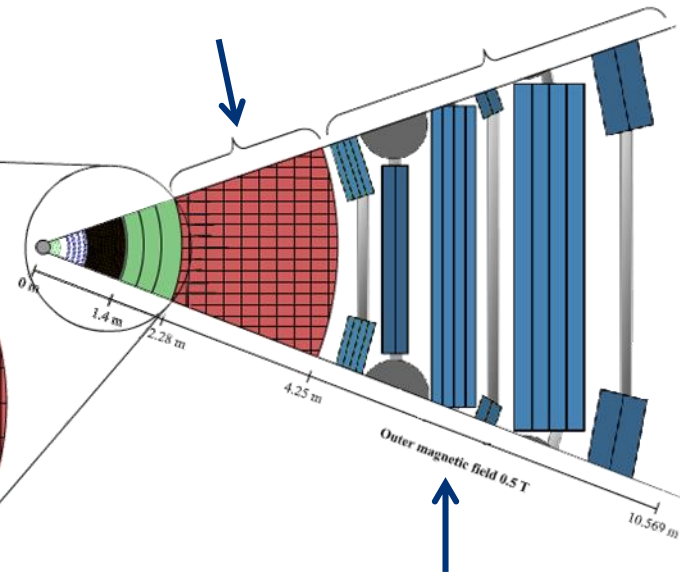


## Elektromagnetisches Kalorimeter

- 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

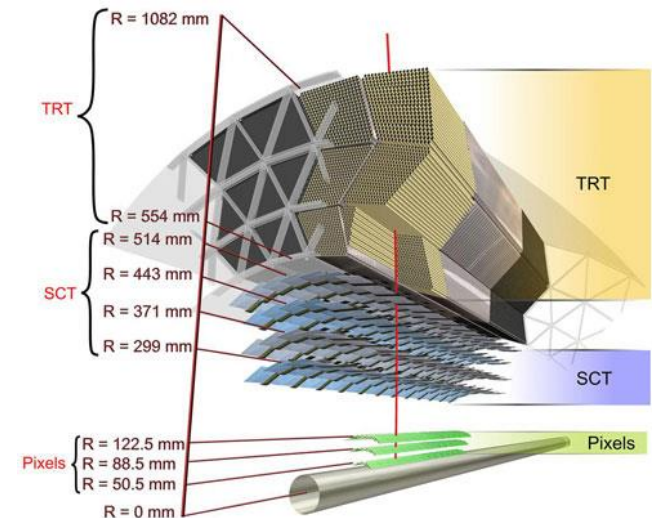
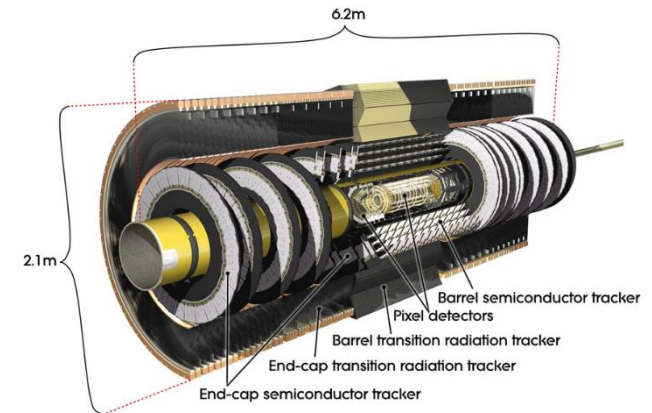
# ATLAS - Spurdetektoren

## ▶ Pixel Detektor

- Bestehend aus 80 Millionen Pixel
- Oberfläche  $1.7\text{m}^2$

## ▶ Silicon Microstrip Tracker

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

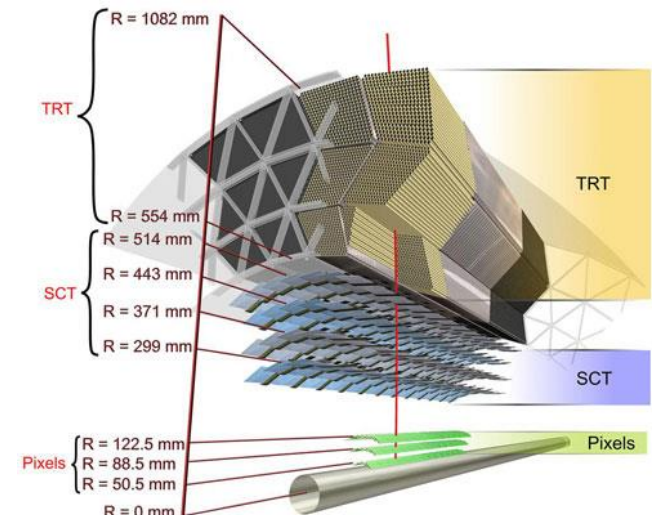
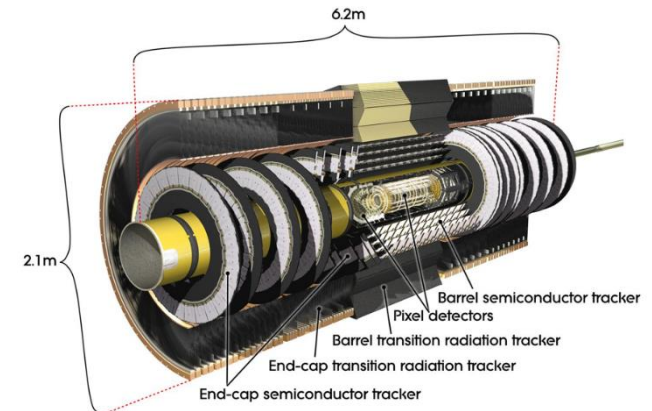




# ATLAS - Spurdetektoren

## ► Übergangsstrahlungsdetektor

- 350,000 Auslese Kanäle
- Volumen  $12\text{m}^3$
- 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



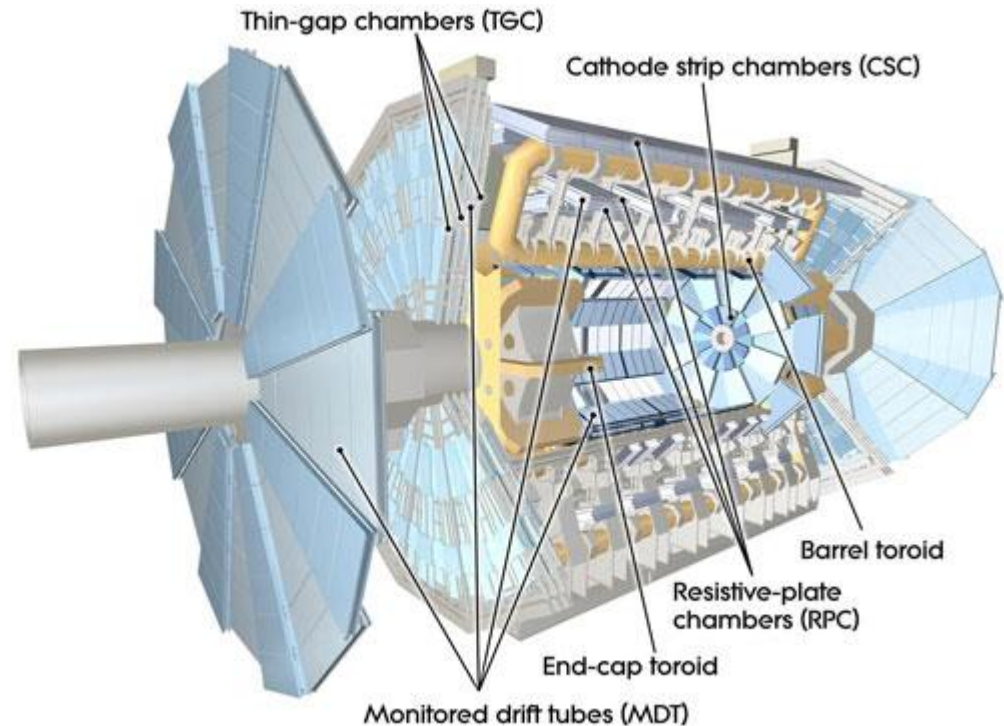
# Kalorimeter

- ▶ 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

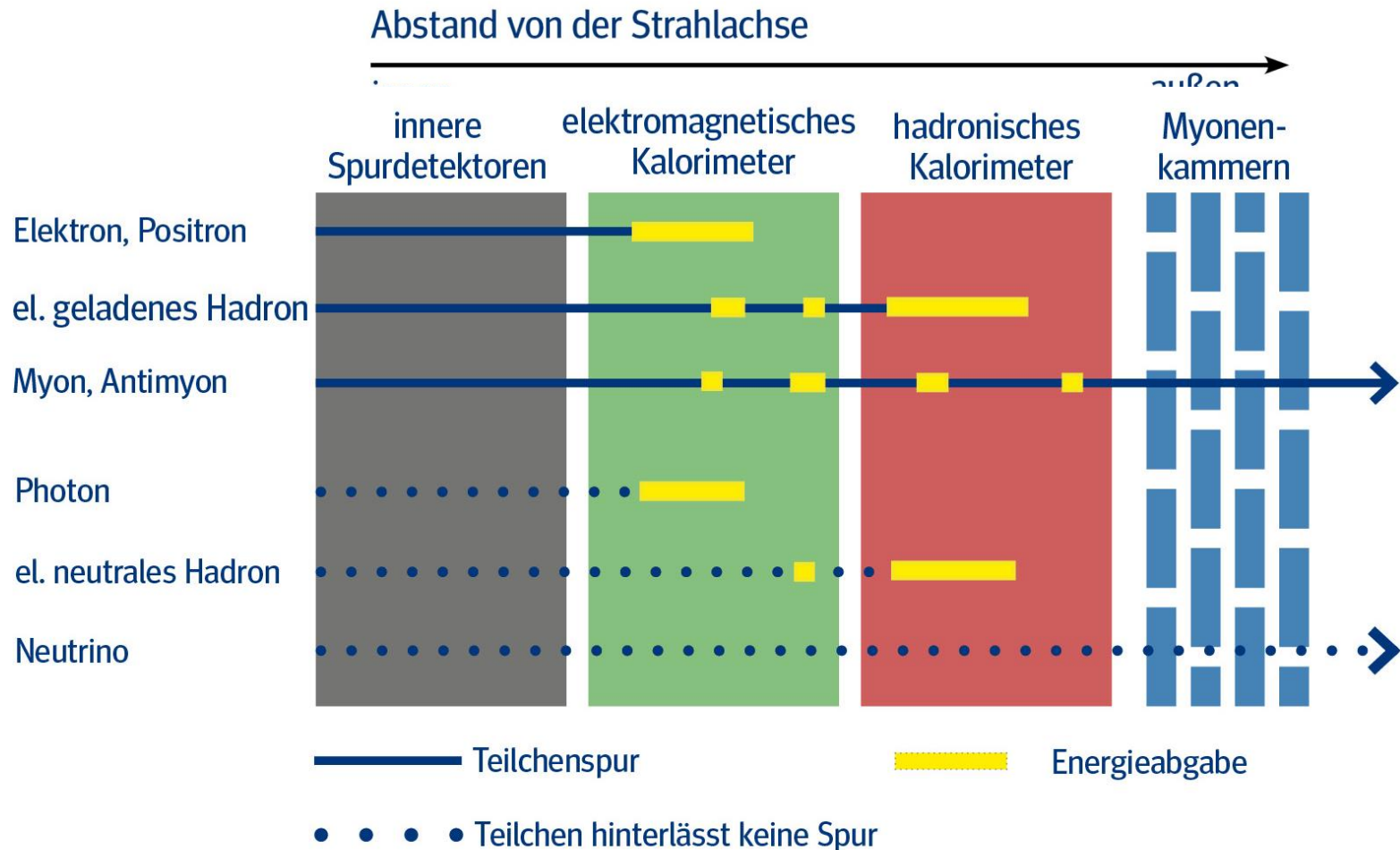


# Myonenkammern

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



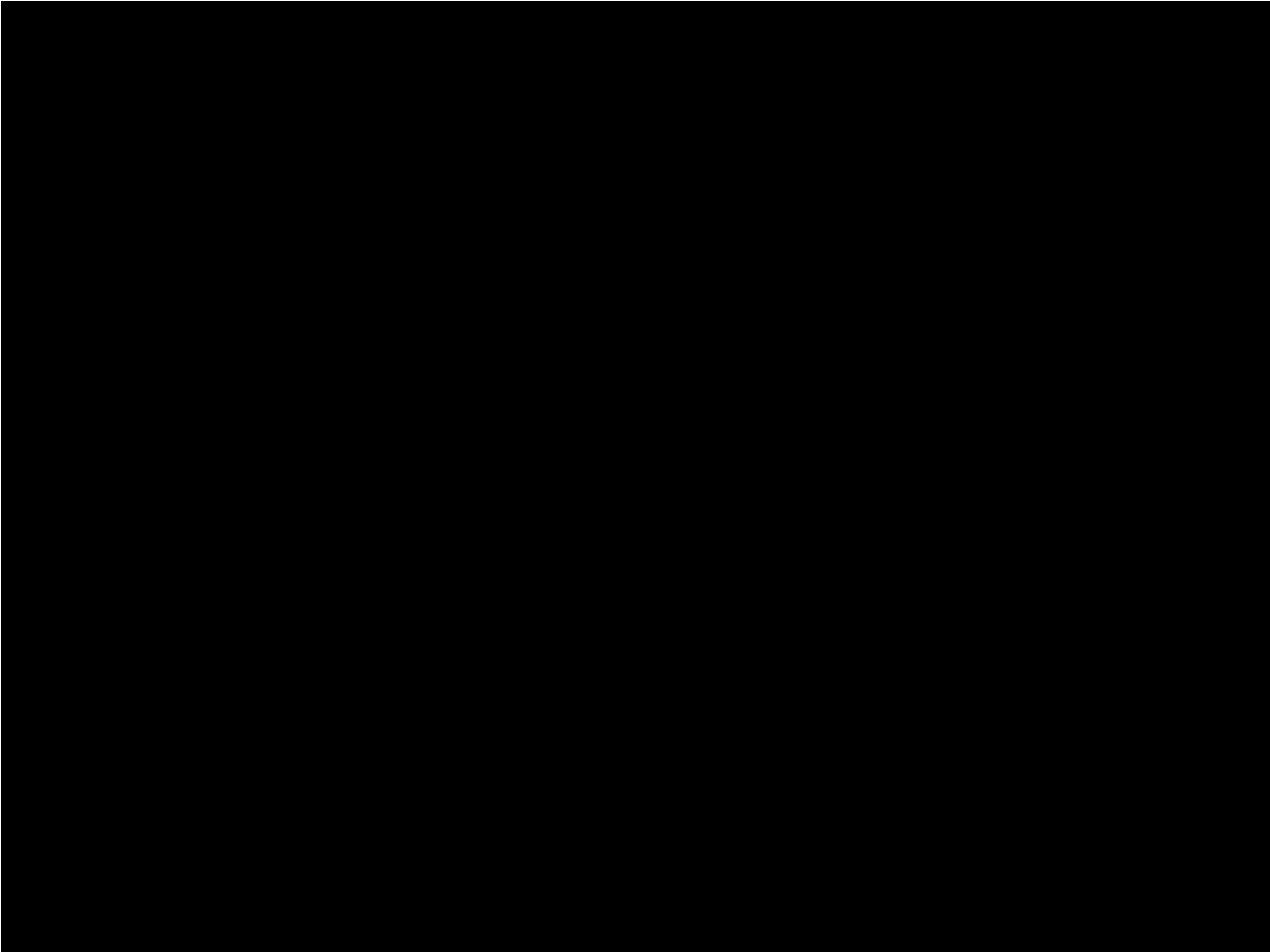
# Teilchenspuren im ATLAS-Detektor







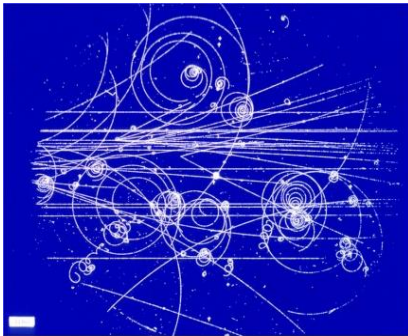
# DER ATLAS-DETEKTOR



# Aufgaben/Materialien für den Schulunterricht

## ▶ Bildgebende Detektoren

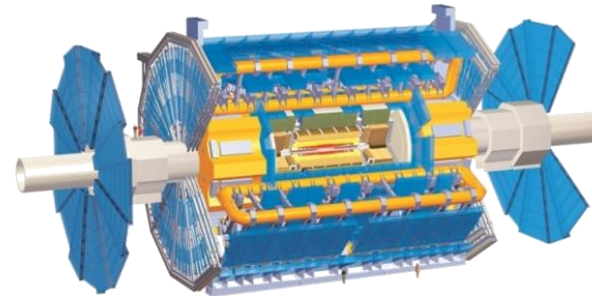
- Nebelkammer
- Blasenkammer



## ▶ 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 Blasenkameraaufnahme

**Aufgabe 2**

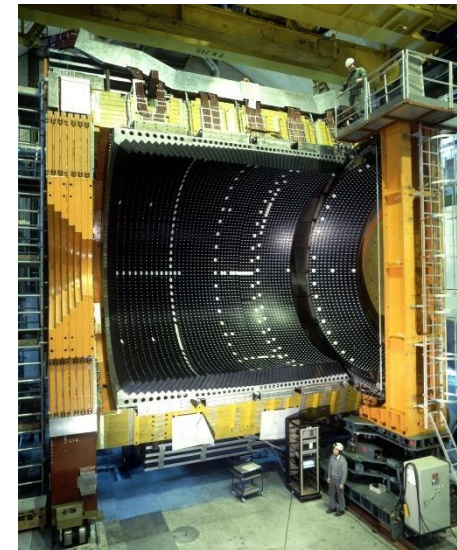
Die blau und die orange hervorgehobene Spur stammen jeweils von einem Teilchen. Entscheide, welches die größere Geschwindigkeit besitzt.

blaue Spur  
 gleiche Geschwindigkeit  
 orange farbene Spur

Zurück Weiter

# Das OPAL-Eventdisplay

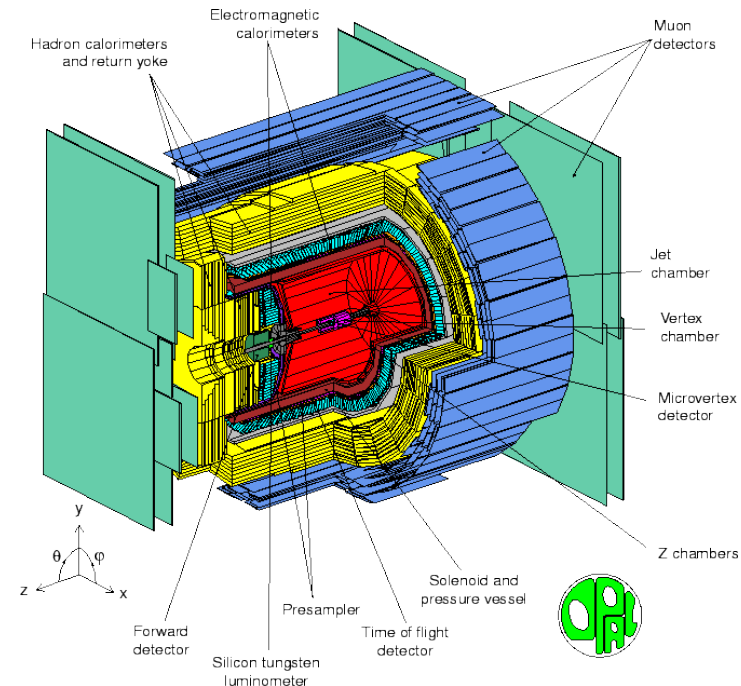
- ▶ Der OPAL-Detektor war ein Detektor bei LEP
- ▶ Teilchenbeschleuniger, der bis 2000 im selben Tunnel wie der LHC betrieben wurde
- ▶ Kollisionen von Elektronen und Positronen bei Energien bis 104 GeV pro Teilchen
- ▶ Erzeugung sehr vieler Z-Teilchen (LEP1) und Paaren von W-Teilchen (LEP2)





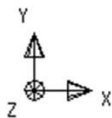
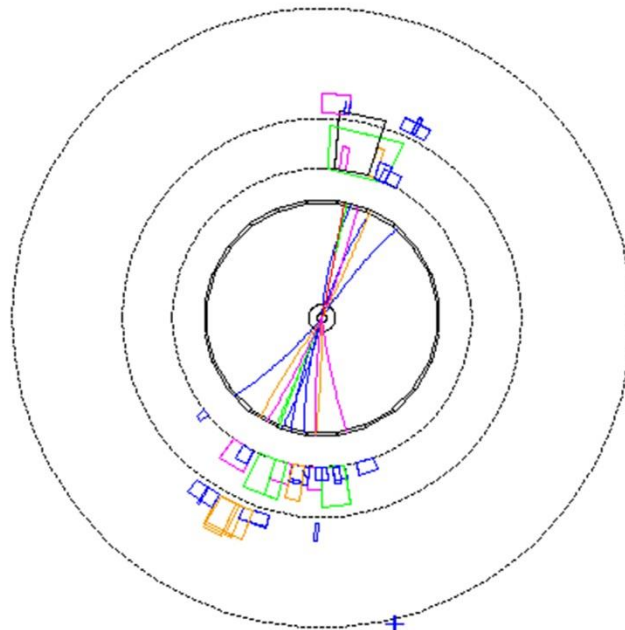
# LEP oder LHC in der Schule?

- ▶ 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



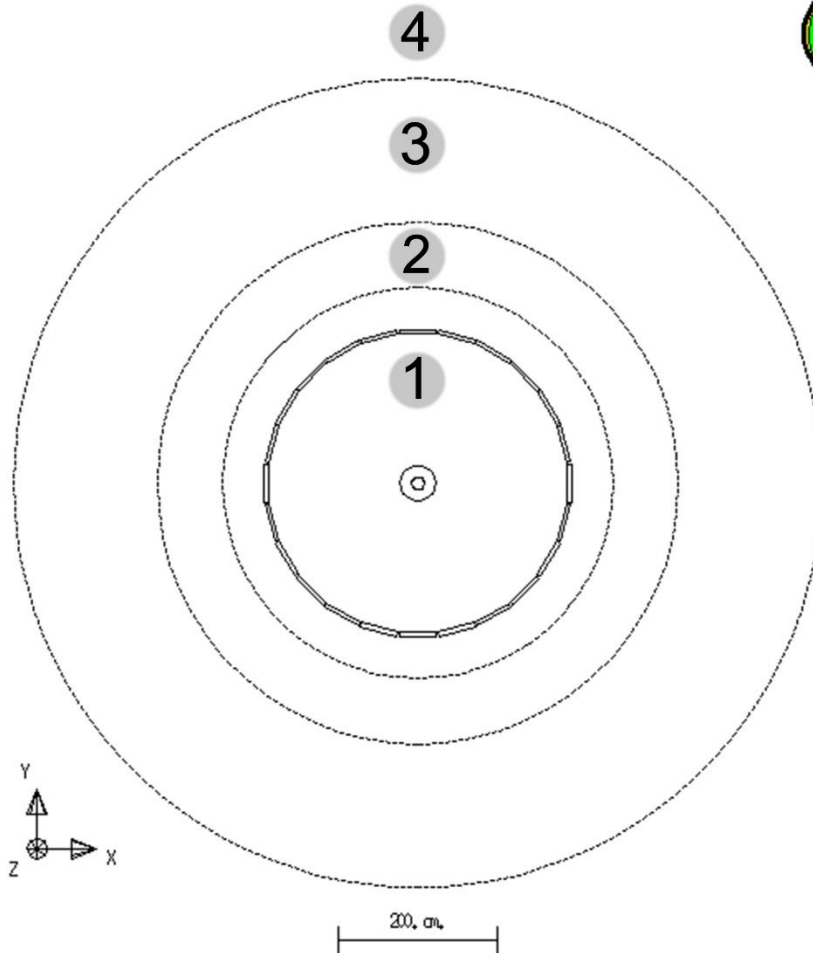
# Das OPAL-Eventdisplay

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



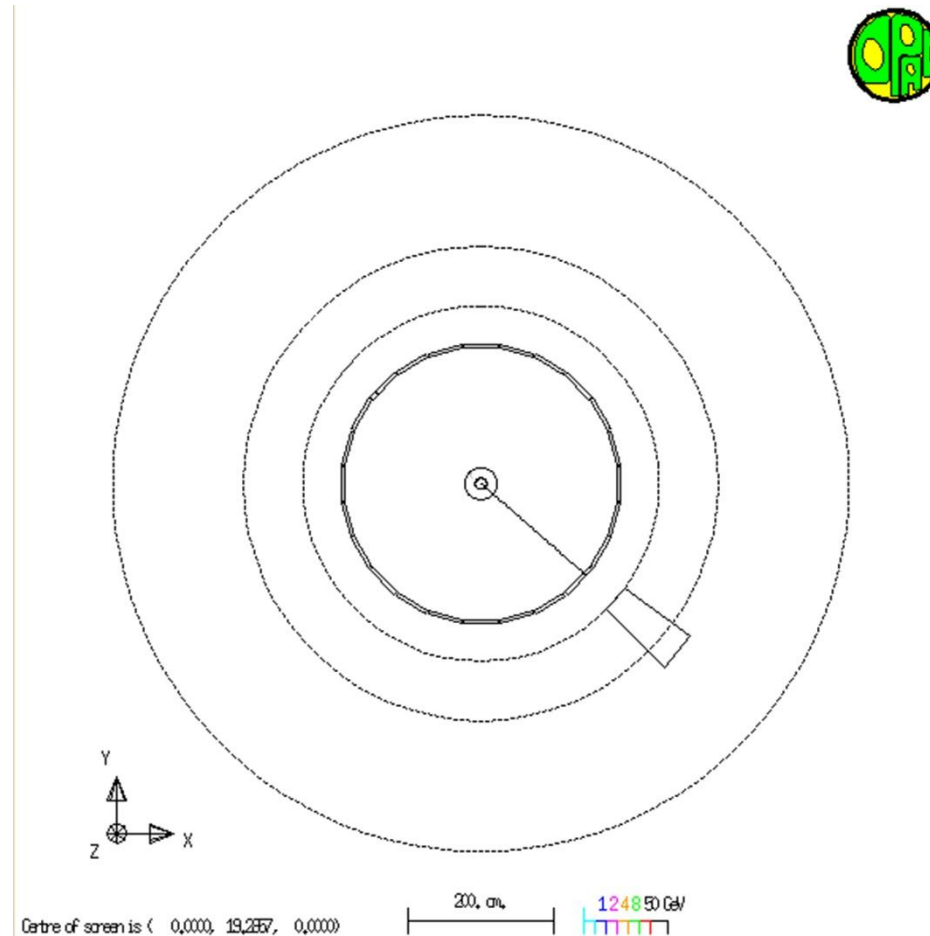
1 Spurkammer

2 elektromagn. Kalorimeter

3 hadronisches Kalorimeter

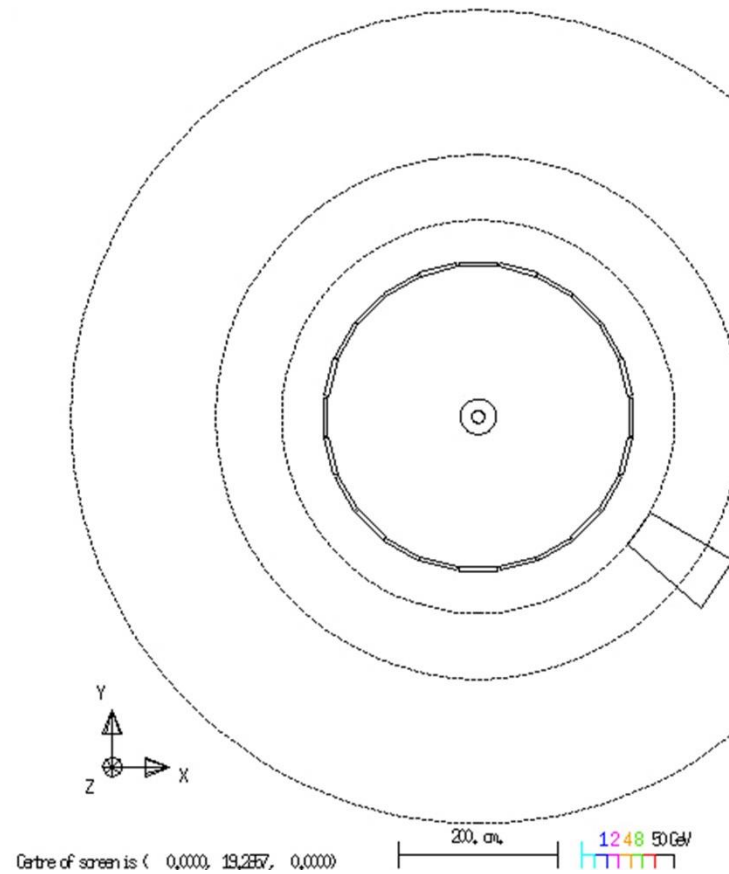
4 Myonkammer

# Elektron oder Positron

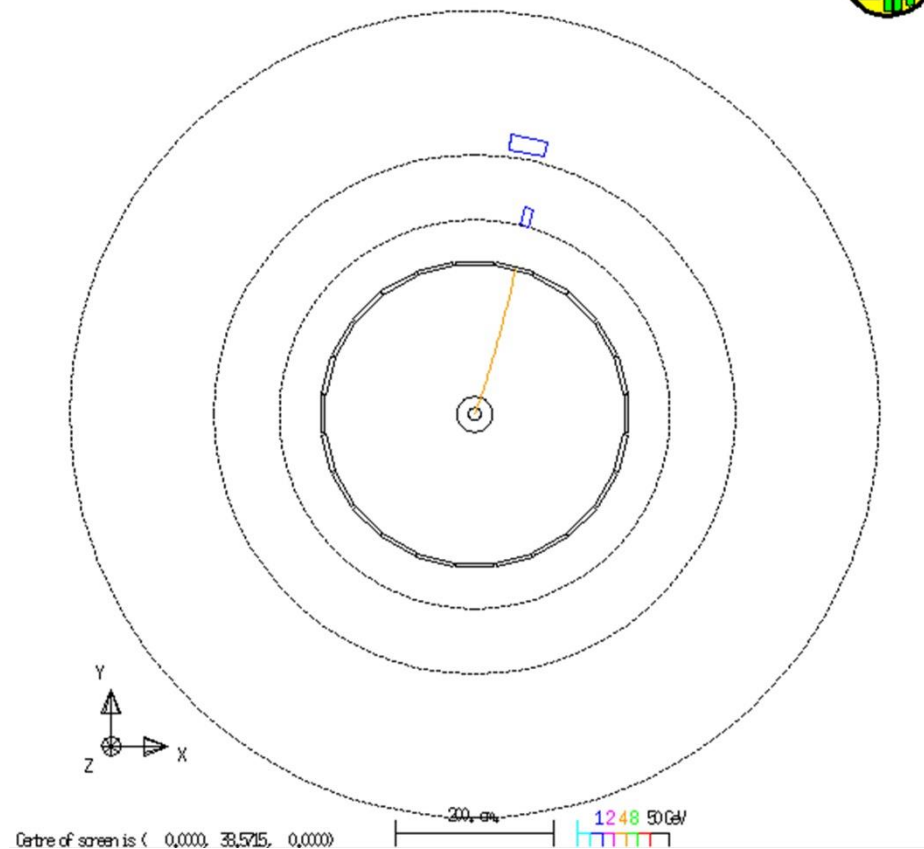




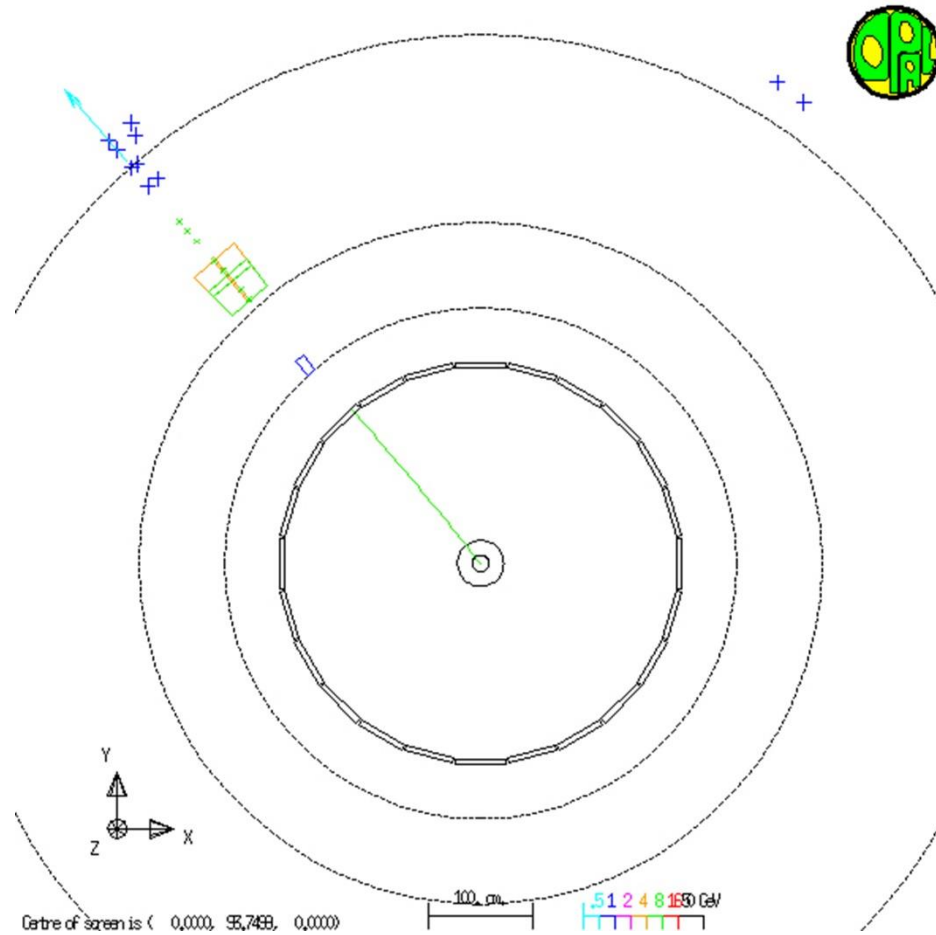
# Photon



# Elektrisch geladenes Hadron

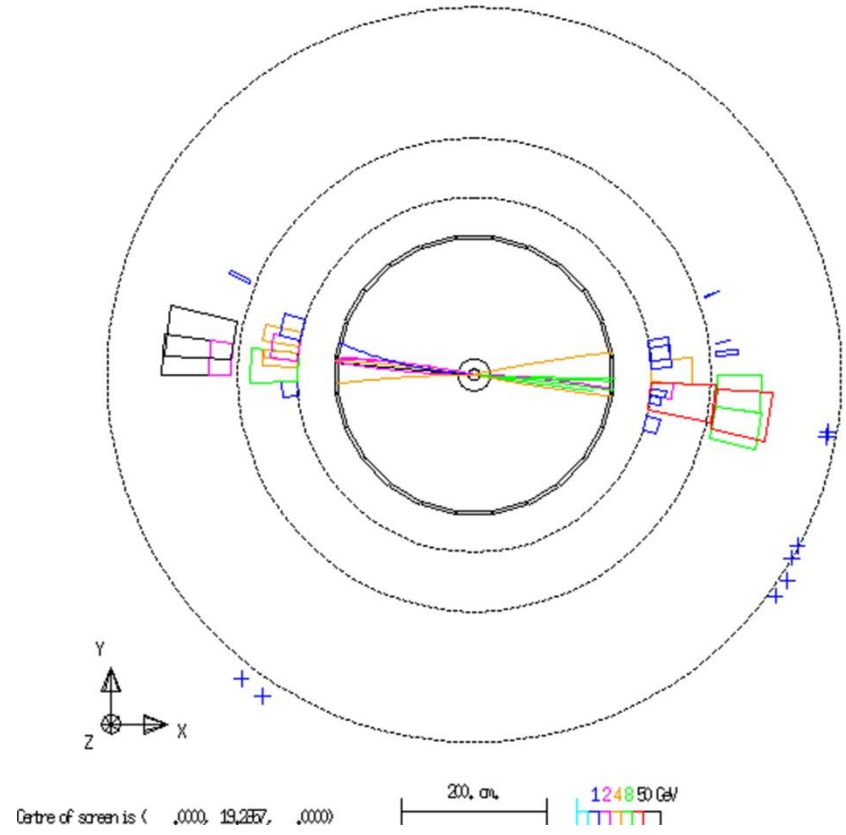


# Anti-/Myon



# Jets - erzeugt durch Quarks oder Gluonen

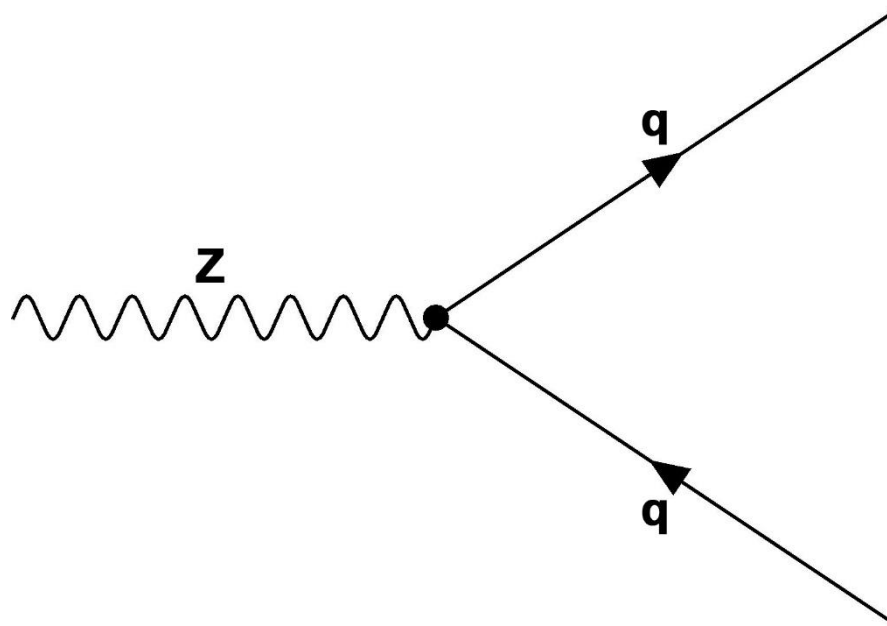
Run: event 5293: 54644 CTrk(N= 26 SumP= 59.9) Ecal(N= 28 SumE= 40.2)  
Ebeam 46.599 Vtx ( .00, .04, .17) Hcal(N=14 SumE= 33.0) Muon(N= 0)





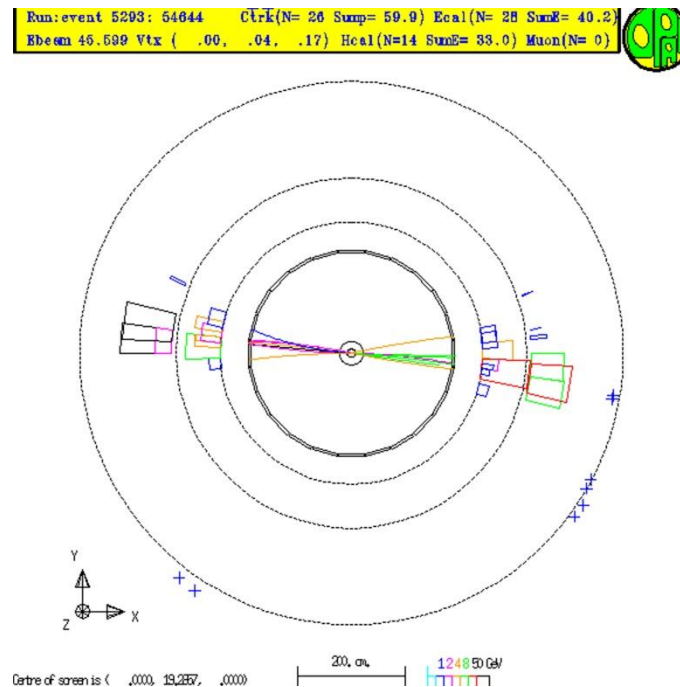
# Was hat man gemessen?

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



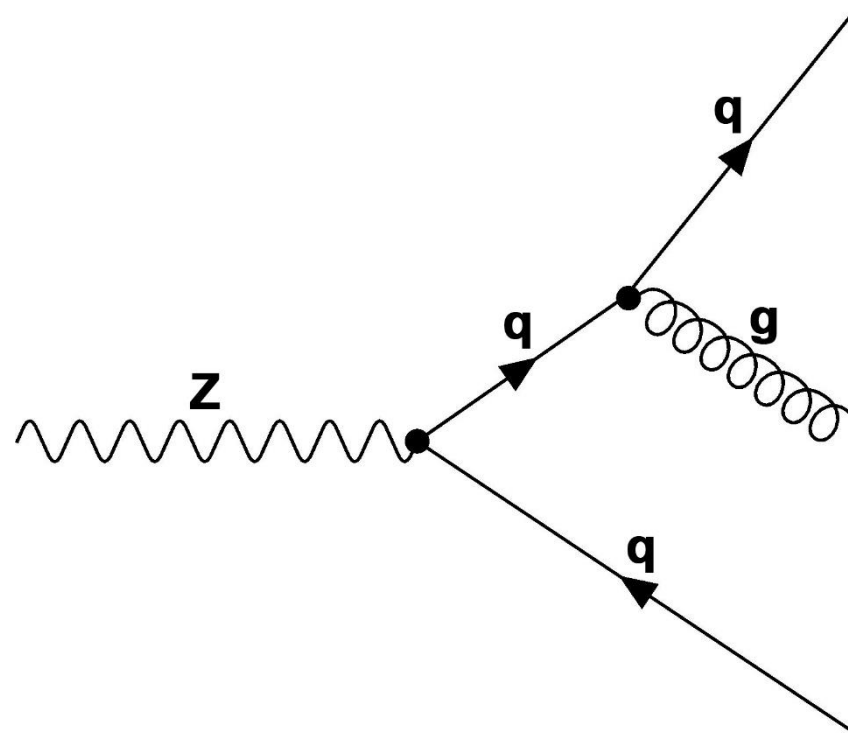
# Bestimmung des starken Kopplungsparameters

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



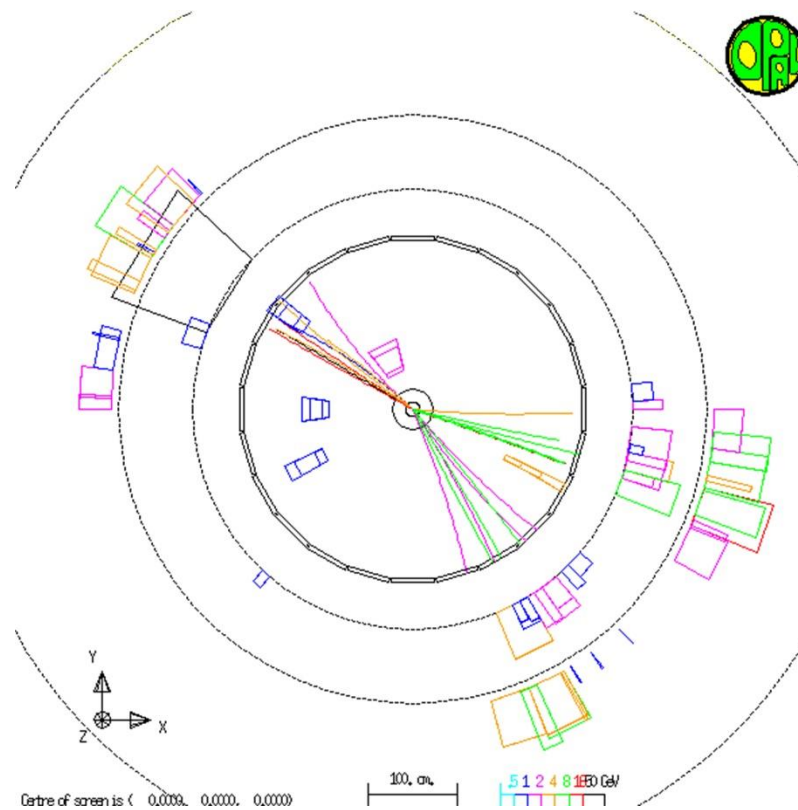
# Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- ▶ Manchmal passiert aber auch das:

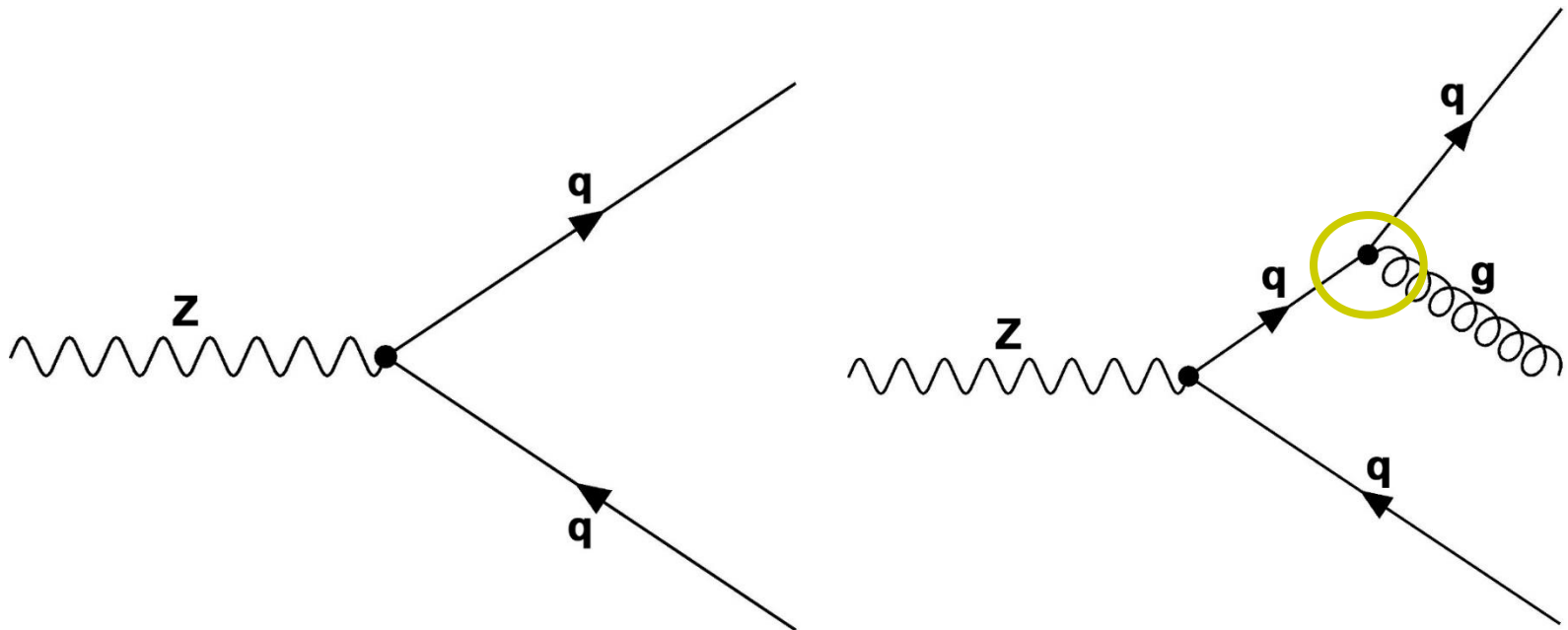


# Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- ▶ 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 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](http://www.teilchenwelt.de)

PROJEKTLEITUNG



PARTNER



SCHIRMHERRSCHAFT



FÖRDERER

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG



[www.facebook.de/teilchenwelt/](http://www.facebook.de/teilchenwelt/)



NETZWERK  
TEILCHENWELT

# Diskussion / Fragen

