

Detektoren und Eventdisplays

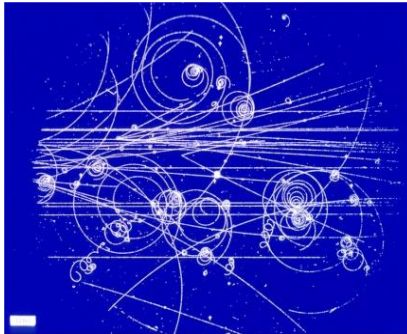
Philipp Lindenau
FTS@home | 01.03.2021



Wie weist man Elementarteilchen nach?

▶ Bildgebende Detektoren

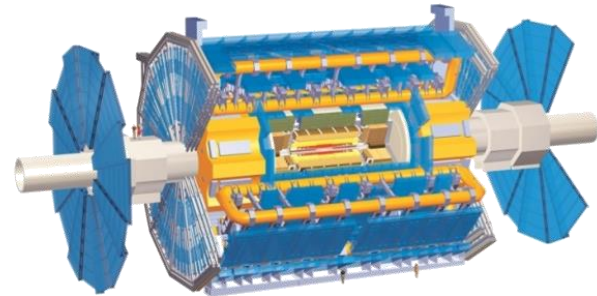
- Nebelkammer
- Blasenkammer



▶ sichtbare Teilchenspuren

▶ Elektronische Detektoren

- ATLAS-Detektor
- Geiger-Müller-Zählrohr



▶ Elektrische Signale

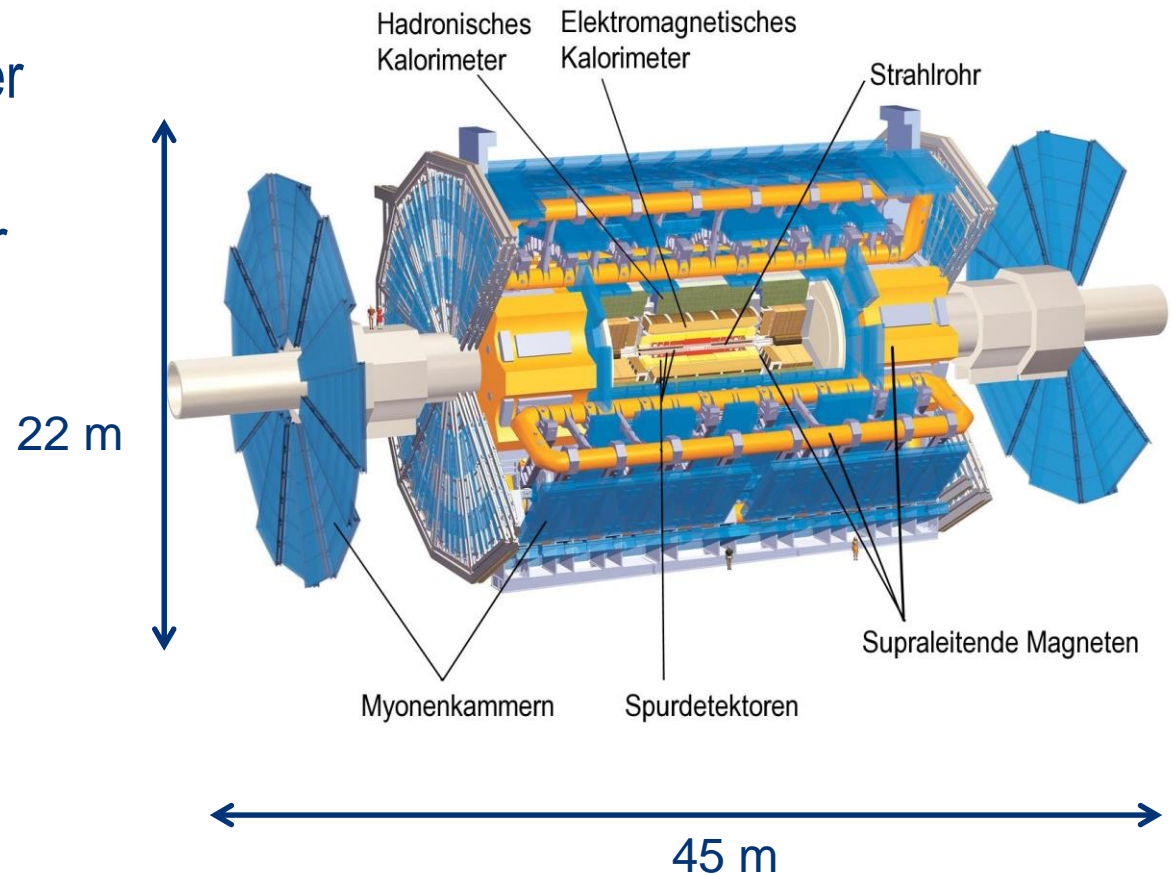
- ▶ Eigenschaften der Teilchen werden daraus rekonstruiert

Der ATLAS-Detektor ist das hier nicht!



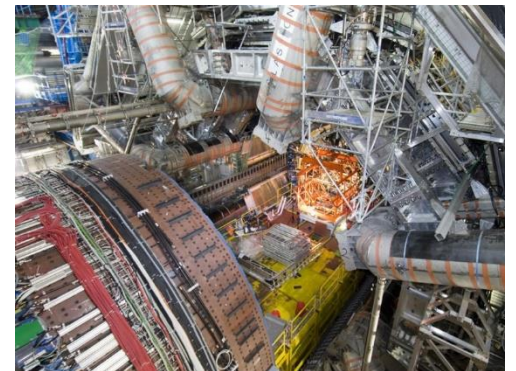
Der ATLAS-Detektor (A Toroidal LHC AparatuS)

- ▶ 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>

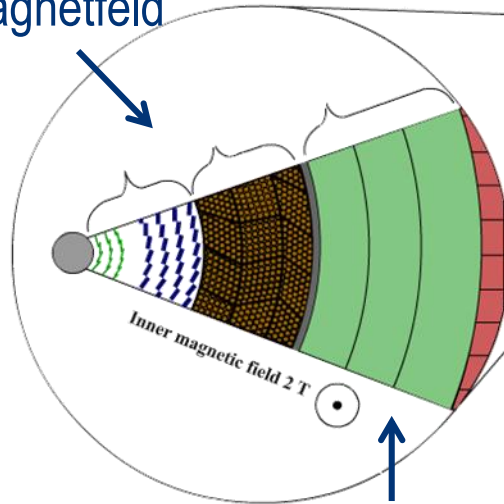


Detektoraufbau am Beispiel von ATLAS

- ▶ 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 el. geladenen Teilchen
- befinden sich in einem Magnetfeld

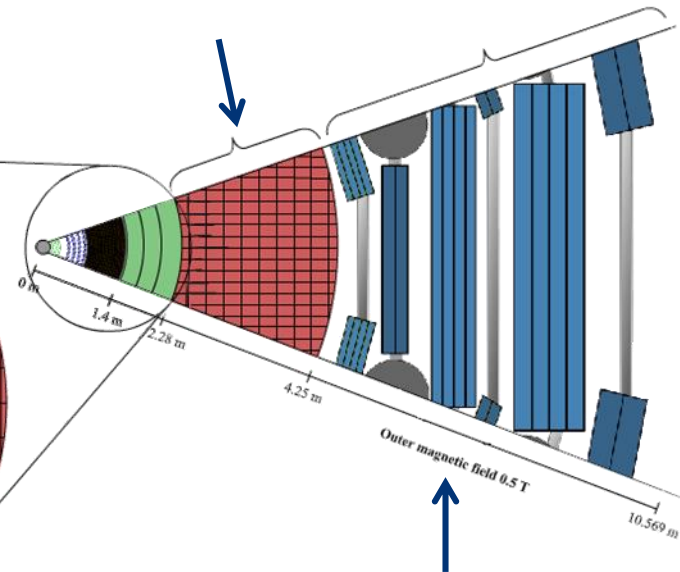


Elektromagnetisches Kalorimeter

- 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

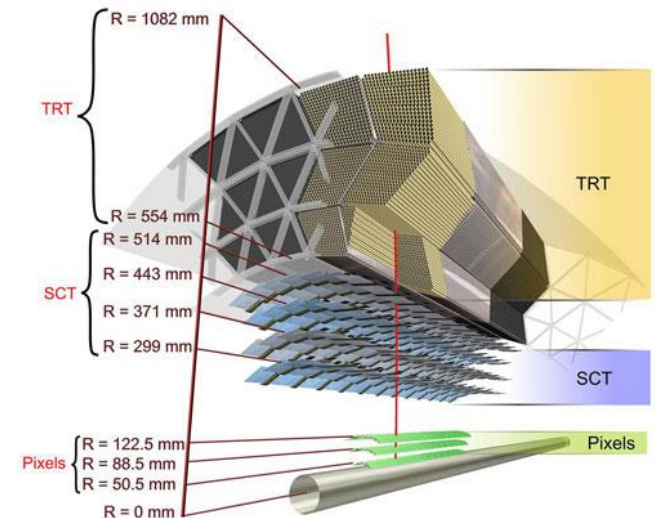
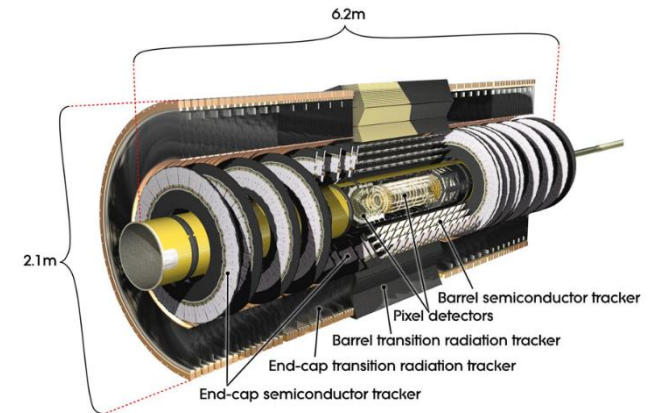
ATLAS - Spurdetektoren

► Pixel Detektor

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

► Silicon Microstrip Tracker

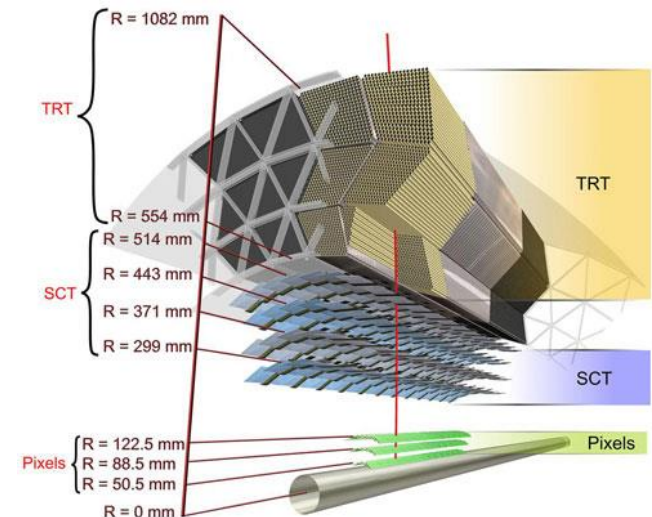
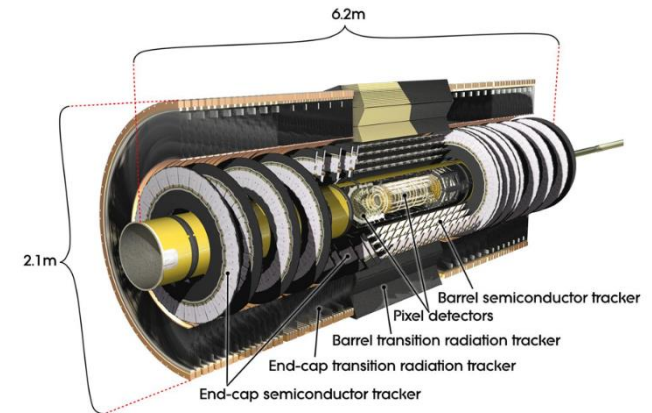
- Bestehend aus 4,088 doppelseitigen Modulen
- 6 Million Auslese Kanäle



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



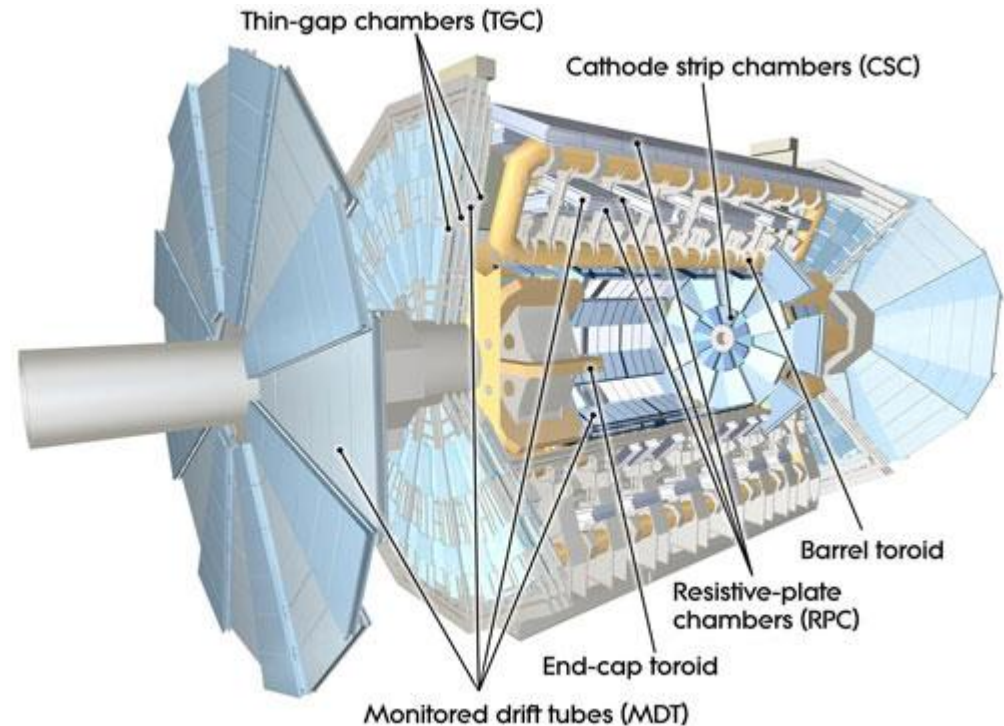
Kalorimeter

- ▶ Messung der Energie
- ▶ Aufbau in Schichten (Absorber – Detektor – Absorber – ...)
 - Wechselwirkung im Absorbermaterial führt zu Teilchenschauer
 - Energie wird in Detektorschichten nachgewiesen
- ▶ EM Kalorimeter
 - Nachweis via elektromagnetischen Kaskaden
 - Abhängig von Z des Materials
- ▶ Hadronisches Kalorimeter
 - Nachweis via starker Wechselwirkung

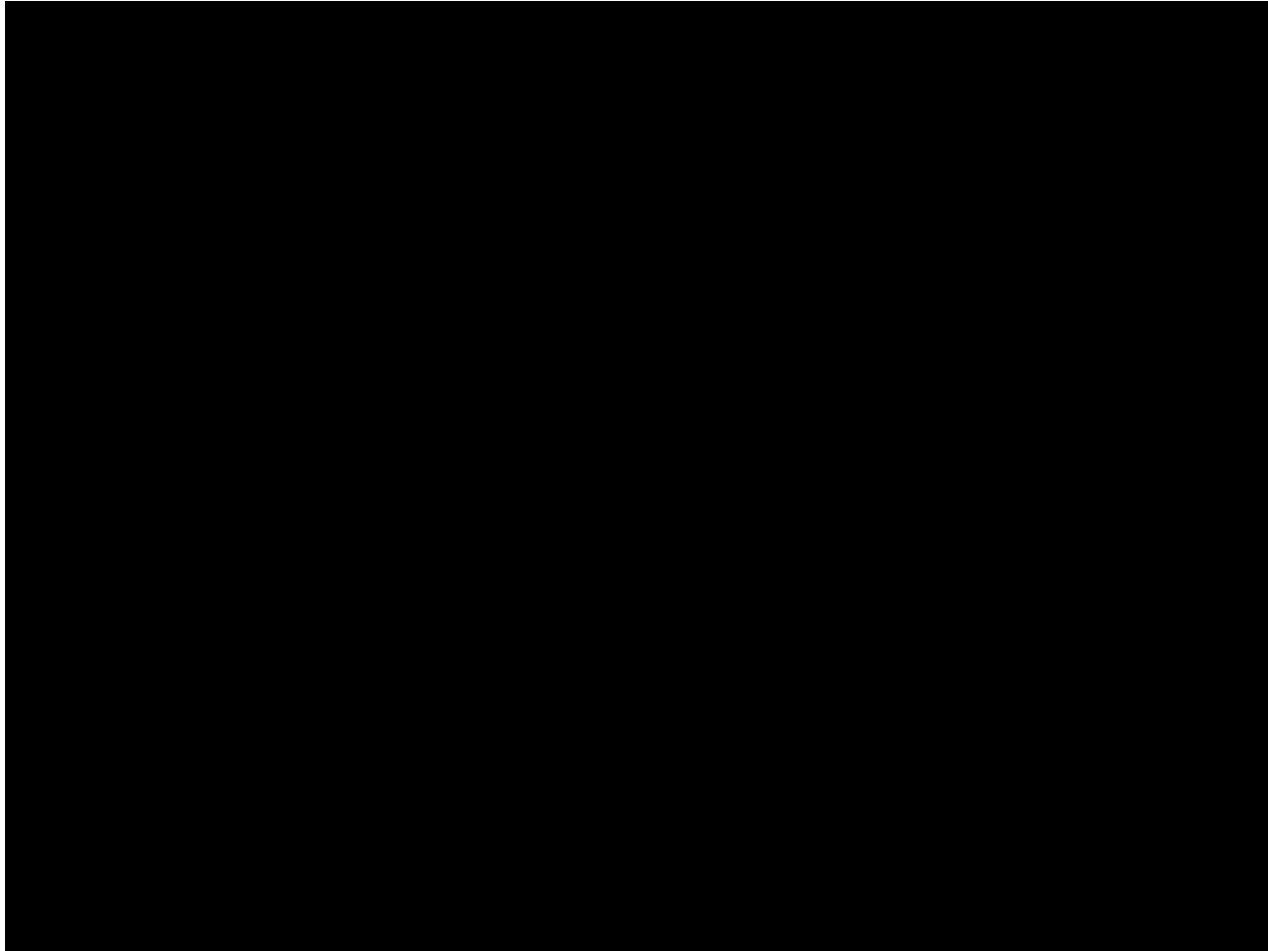


Myonenkammern

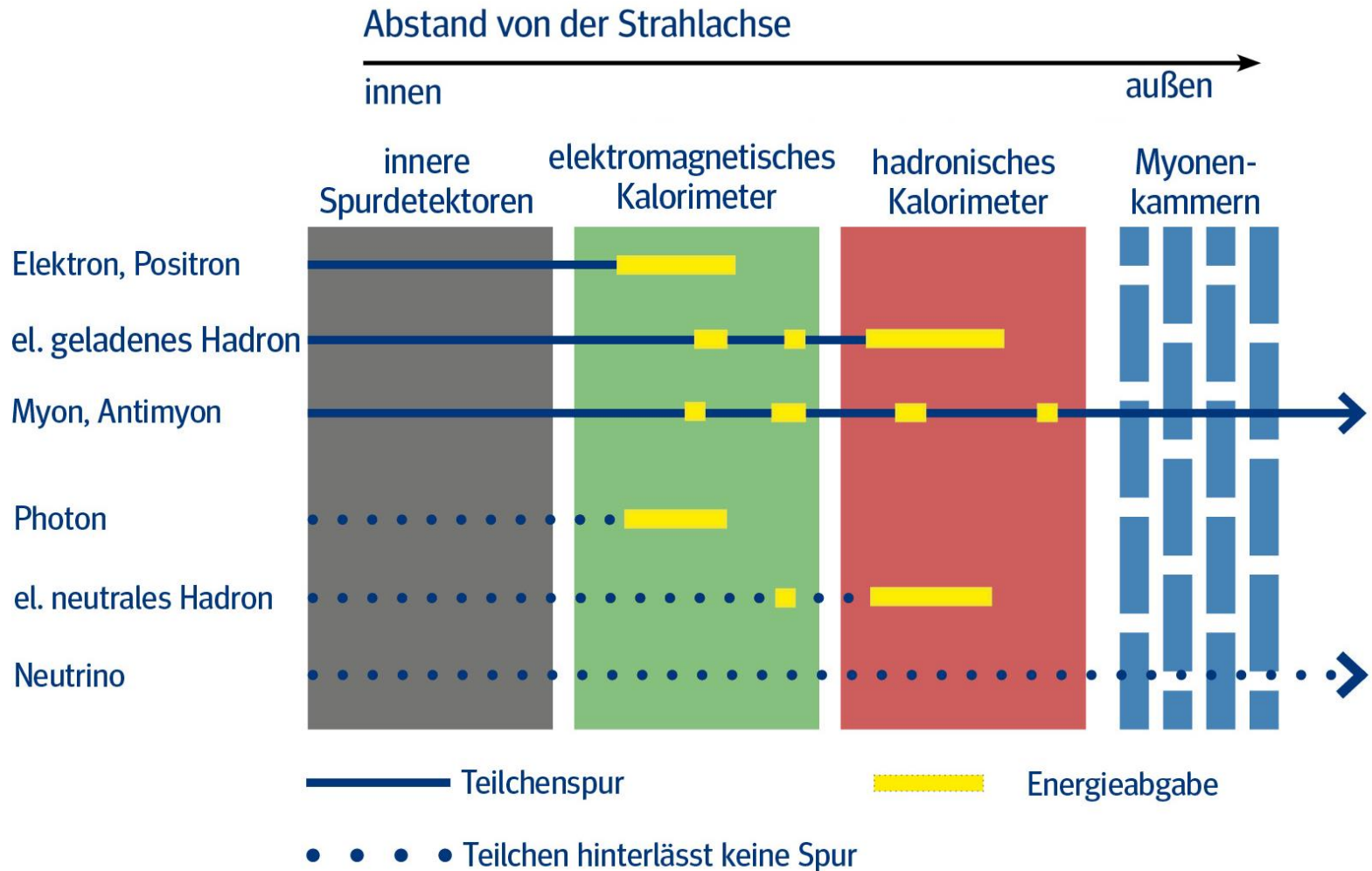
- ▶ 1.150 Myonenkammern
- ▶ Mehr als 350.000 Driftrohren
- ▶ Gesamtfläche ~ eines Fußballfelds
- ▶ Genauigkeit der Ortsauflösung: wenige Hundertstel Millimeter



DER ATLAS-DETEKTOR



Teilchenspuren im ATLAS-Detektor



Arbeitsblätter Aufbau ATLAS-Detektor

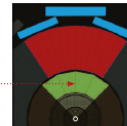
- ▶ Enthalten in der Materialsammlung von NTW
- ▶ <https://www.teilchenwelt.de/material/materialsammlung>



▶ Welcher Teil des ATLAS-Detektors wird in dem Video-Ausschnitt vorgestellt?

Das elektromagnetische Kalorimeter

▶ Zeichne in der Grafik rechts ein, wo sich diese Detektor-Komponente befindet.



1. Welche Teilchensorte(n) weist man mit diesem Teil des Detektors nach?

- | | | |
|--|--|------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Elektronen | <input type="checkbox"/> Myonen* | <input type="checkbox"/> Neutrinos |
| <input type="checkbox"/> Protonen* | <input checked="" type="checkbox"/> Photonen | <input type="checkbox"/> Neutronen |
| <input type="checkbox"/> alle elektrisch geladenen Teilchen* | <input type="checkbox"/> alle Hadronen | |
| <input type="checkbox"/> alle elektrisch neutralen Teilchen | <input type="checkbox"/> alle Leptonen | |

2. Was geschieht, wenn diese Teilchen mit dem Detektor-Material wechselwirken?

- Sie ionisieren Atome, d.h. sie setzen Elektronen frei.
- Sie erzeugen Photonen.
- Sie wechselwirken mit den Atomkernen und erzeugen Teilchenschauer aus Hadronen.
- Sie erzeugen Teilchenschauer aus Elektronen, Protonen und Photonen.

3. Wie erzeugen die Sekundärteilchen elektrische Signale?

- Ionisation
- Szintillation

4. Welche physikalische(n) Größe(n) bestimmt man mit diesem Teil des Detektors?

- Energie des ursprünglichen Teilchens
- Impuls des Teilchens
- elektrische Ladung des Teilchens
- Spur des Teilchens

5. Woraus besteht dieser Teil von ATLAS?

- Silizium
- flüssiges Argon
- Gas in Driftrohren
- Blei
- Stahl
- Szintillatoren

6. Beschreibe kurz in eigenen Worten, was in der Detektor-Komponente geschieht:

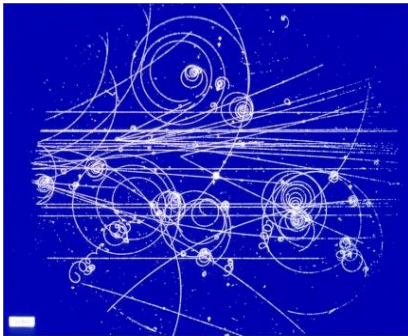
Photonen und elektrisch geladene Teilchen erzeugen in Blei- und Stahlschichten Schauer aus Elektronen, Positronen und Photonen. Diese Teilchen ionisieren flüssiges Argon. Die freigesetzten Elektronen wandern zu Elektroden. Aus der insgesamt gemessenen elektrischen Ladung kann man schließen, wieviel Energie das ursprüngliche Teilchen besaß.

* In Fern werden nur die angelernten Teilchen erwähnt, für diese stimmt auch die Antwort auf Frage 2. Genau genommen wechselwirken alle elektrisch geladenen Teilchen im elektromagnetischen Kalorimeter. Hadronen und Myonen durchqueren es jedoch, ohne damit sämtliche Energie abzugeben: Hadronen lösen Teilchenschauer aus Hadronen aus, Myonen ionisieren das Material. Diese Teilchensorten hinterlassen auch in weiter außen liegenden Detektorebenen Signale.

Aufgaben/Materialien für den Schulunterricht

▶ Bildgebende Detektoren

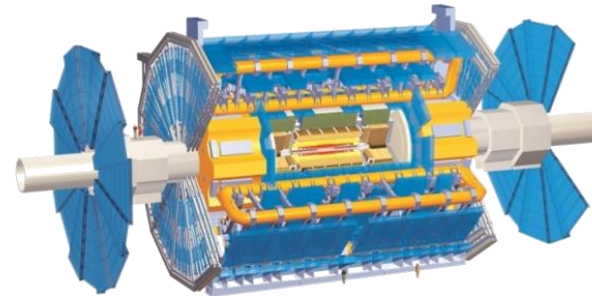
- Nebelkammer
- Blasenkammer



▶ 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

AB_2650 – Auswertung Blasenkammeraufnahme

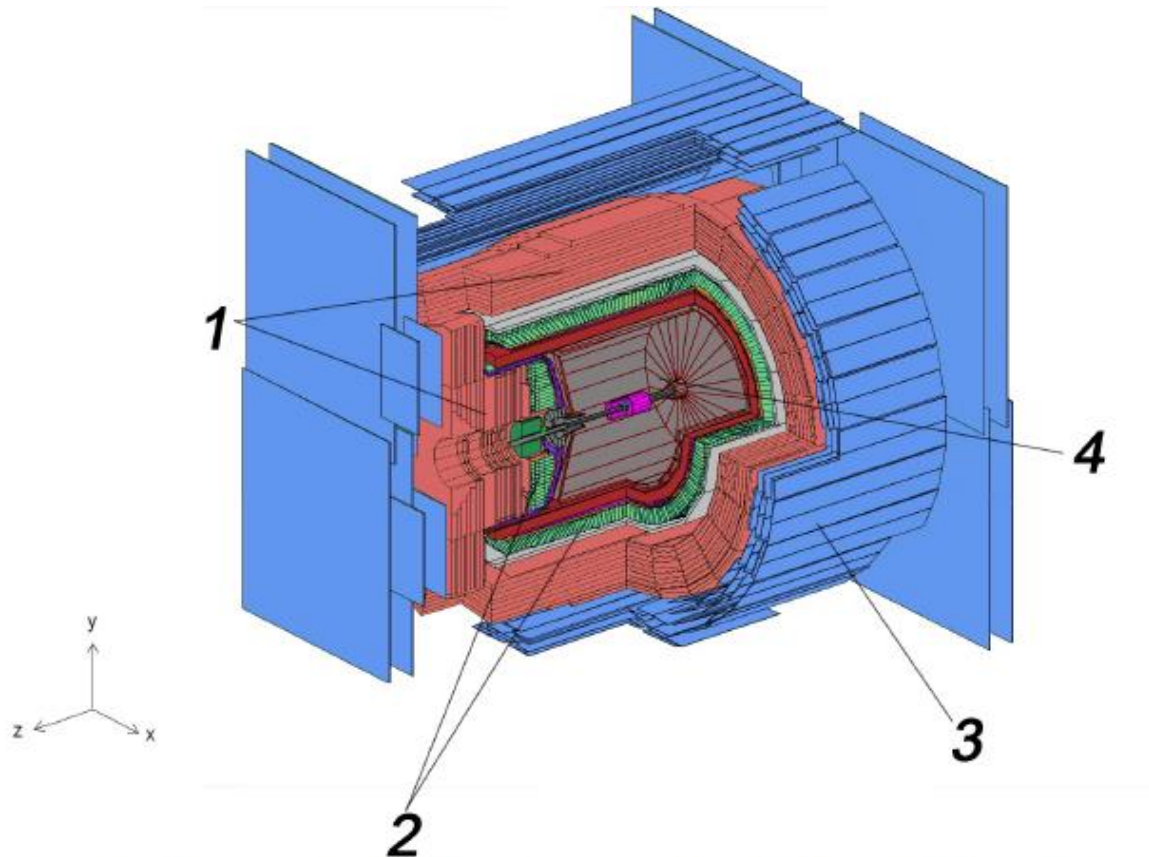
Aufgabe 2

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

Der OPAL-Detektor



(Quelle: Vollmer, C. F. (2004). Bestimmung der Masse und Breite des W-Bosons im semileptonischen Zerfallskanal mit dem OPAL Detektor bei LEP, verändert durch Philipp Lindenu)

1 hadronische Kalorimeter

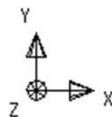
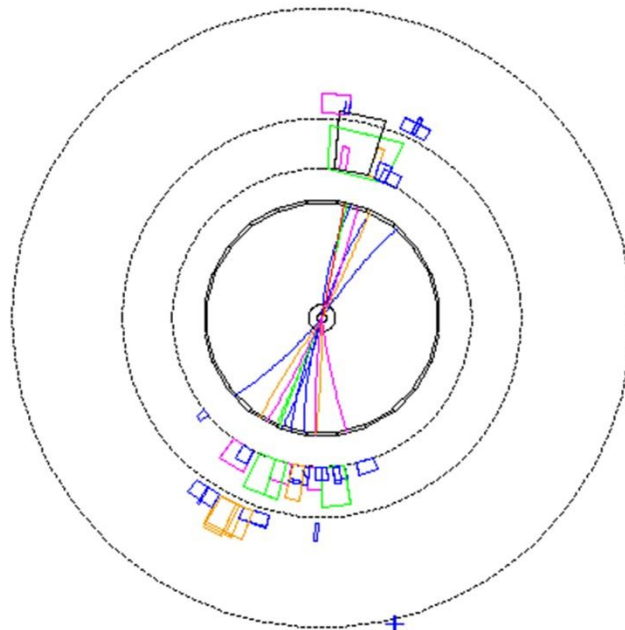
2 elektromagnetische Kalorimeter

3 Myonenkammer

4 Spurkammer

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)

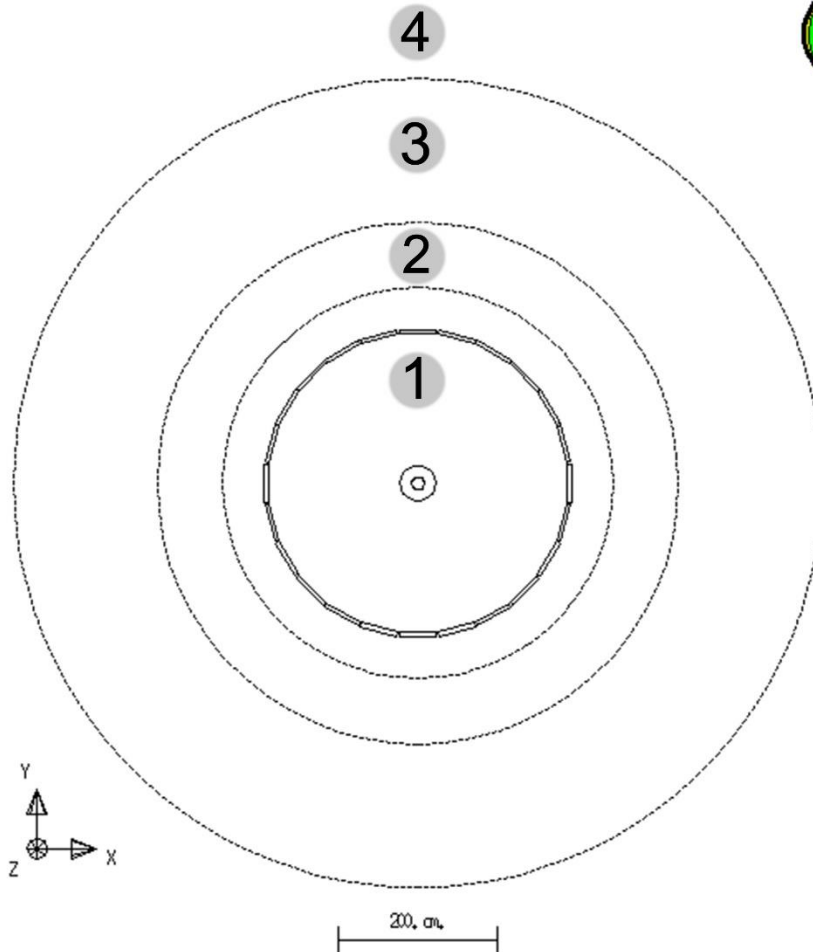


Centre of screen is (.000, 19.288, .000)

200 cm

124850 GeV

Das OPAL-Eventdisplay

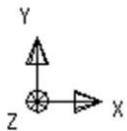
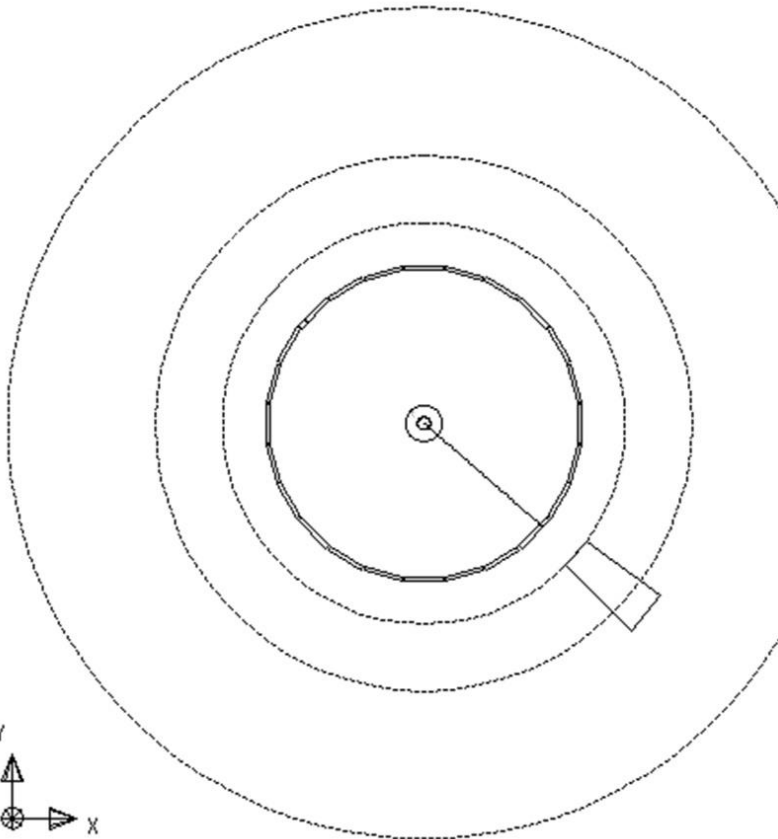


1 Spurkammer

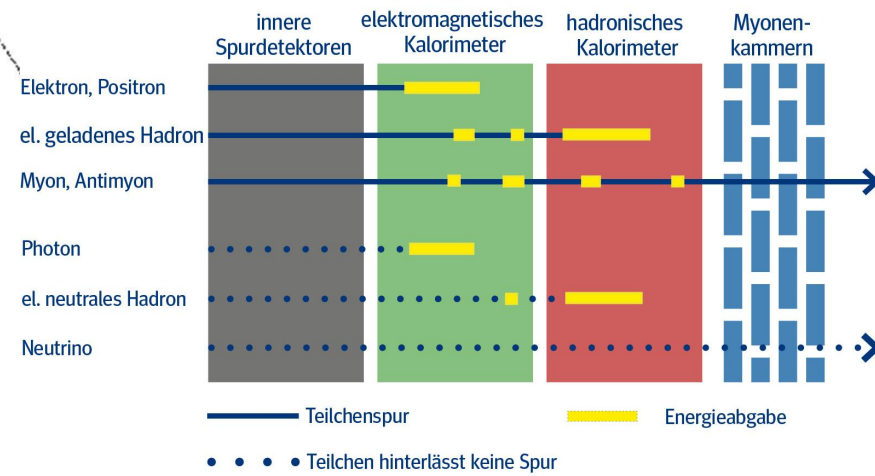
2 elektromagn. Kalorimeter

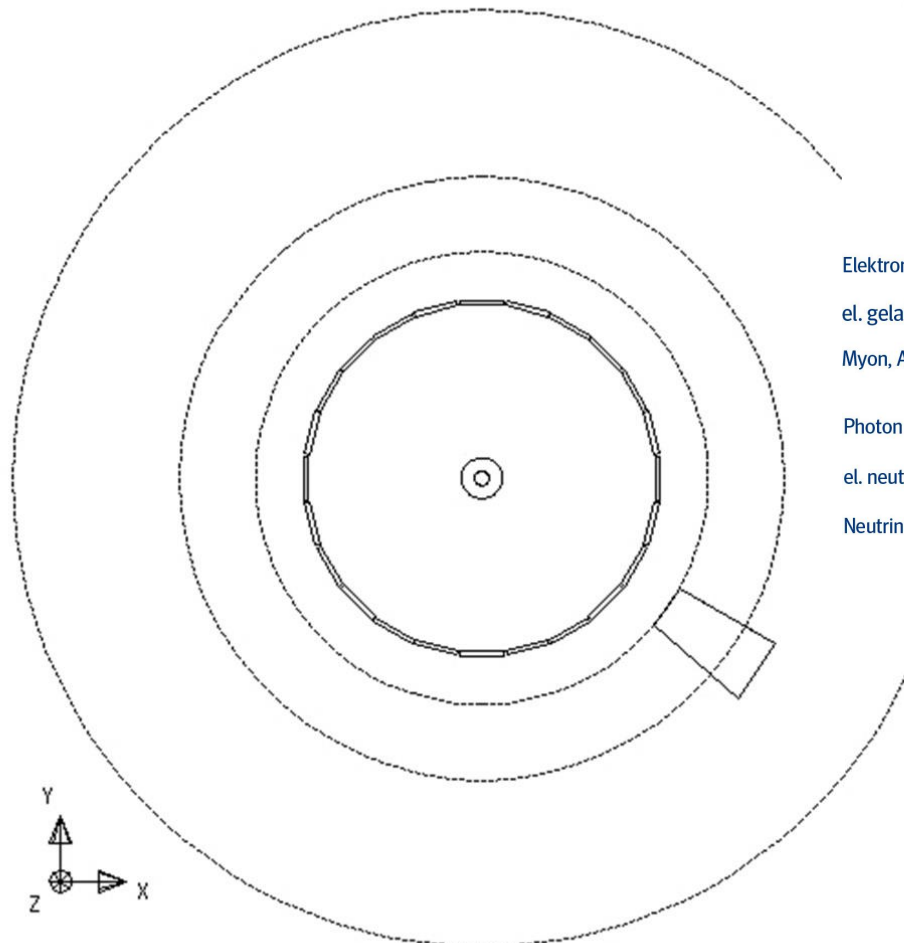
3 hadronisches Kalorimeter

4 Myonkammer



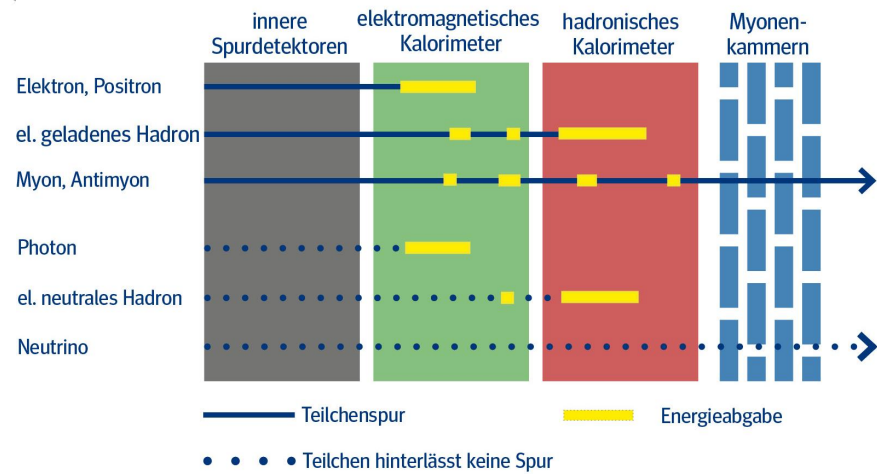
Centre of screen is (0,000, 19,2857, 0,0000) 200, cm 1248 50 GeV

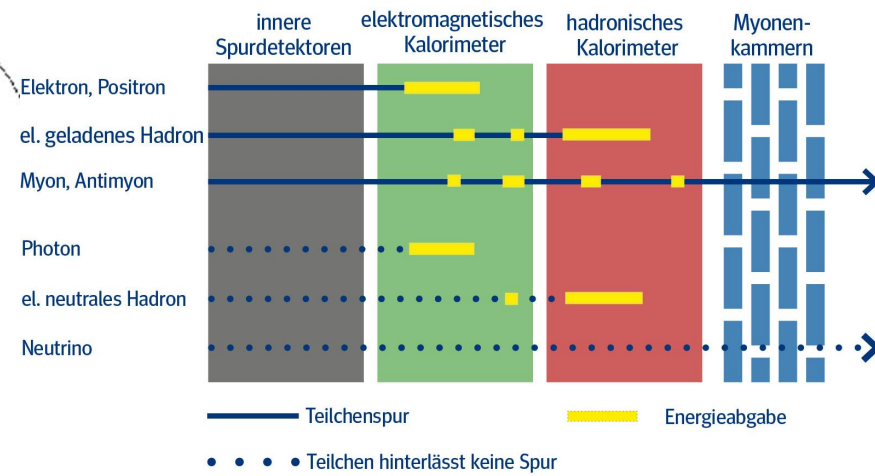
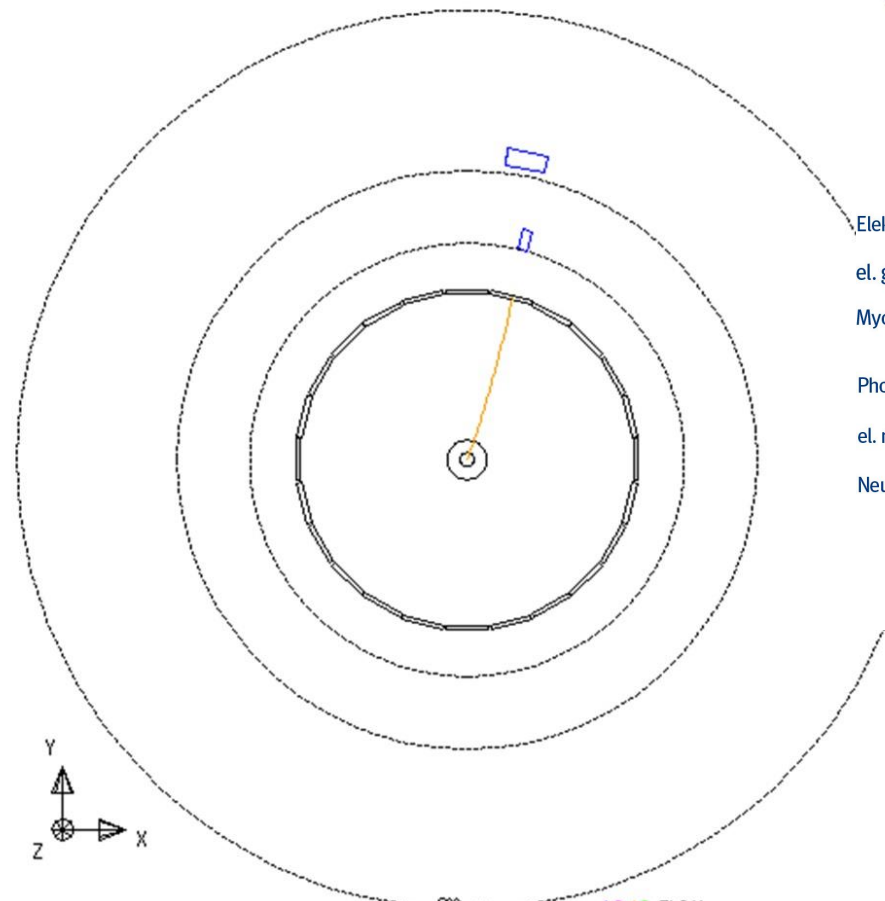




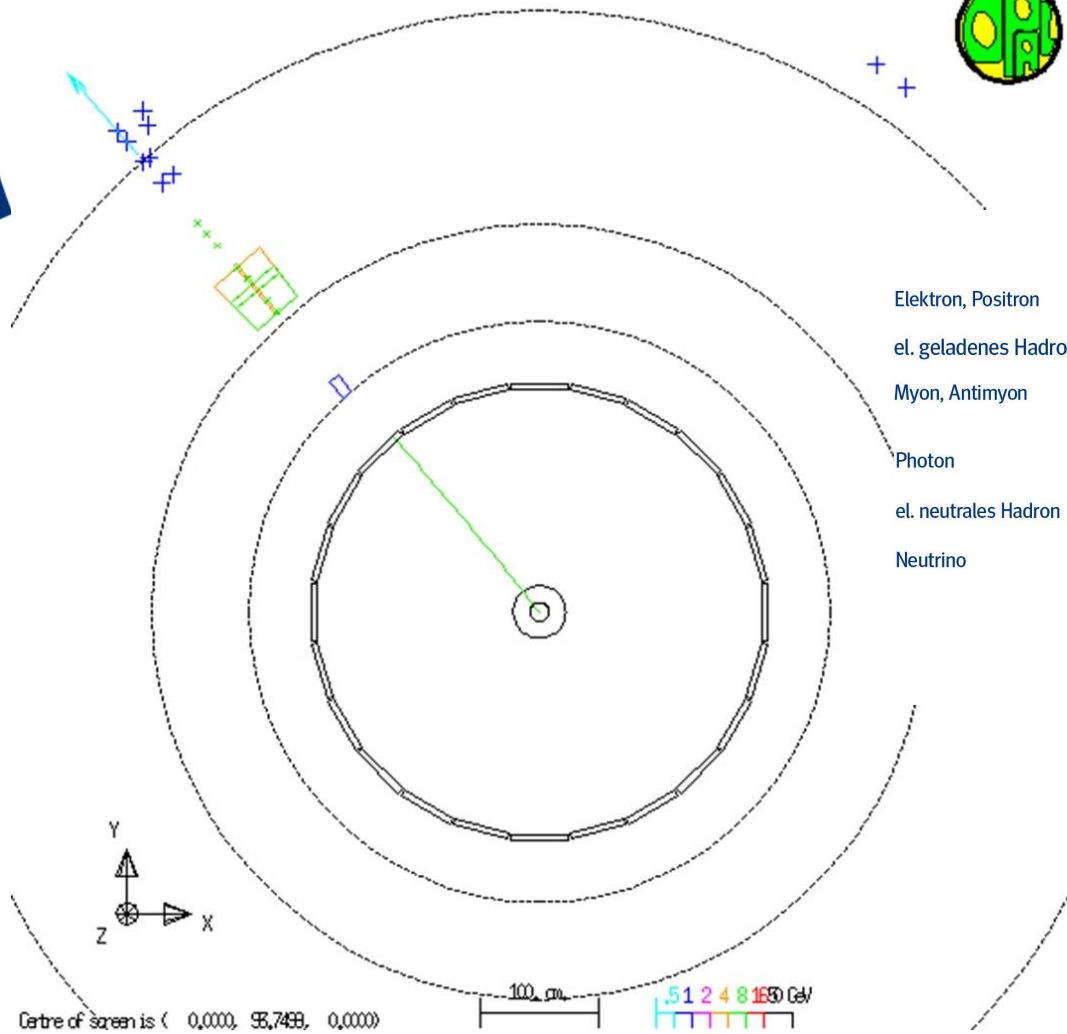
Centre of screen is (0,000, 19,287, 0,000)

200 cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 50 GeV



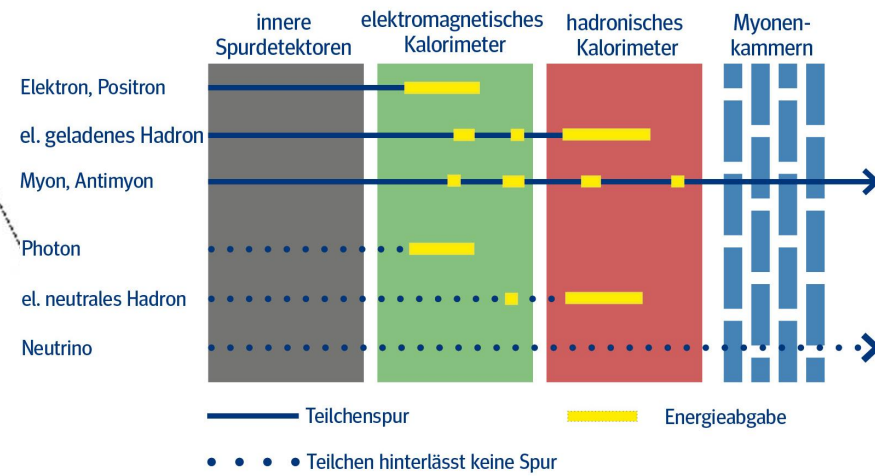


Centre of screen is (0,000, 38,5715, 0,000) 200 cm 1248 50 Cal



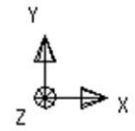
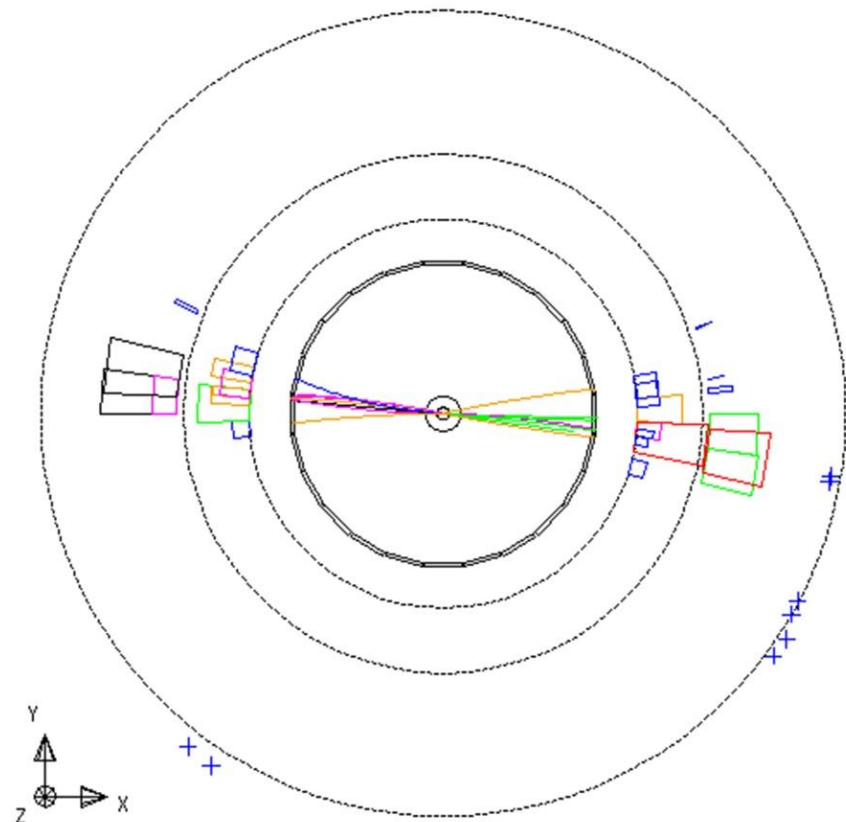
Centre of screen is (0,000, 95,745, 0,000)

100 cm
 0.5 1 2 4 8 16 30 GeV



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

Umwandlungskanäle des Z-Teilchens

1. $Z \rightarrow q + \bar{q}$
2. $Z \rightarrow e^- + e^+$
3. $Z \rightarrow \mu^- + \mu^+$
4. $Z \rightarrow \tau^- + \tau^+$
5. $Z \rightarrow \nu + \bar{\nu}$

Umwandlungskanäle des Z-Teilchens

1. $Z \rightarrow q + \bar{q}$

2. $Z \rightarrow e^- + e^+$

3. $Z \rightarrow \mu^- + \mu^+$

4. $Z \rightarrow \tau^- + \tau^+$ nur Anhand der Umwandlungsprodukte
der Tauonen identifizierbar (siehe Übung)

~~5. $Z \rightarrow \nu + \bar{\nu}$~~ im Detektor nicht (direkt) nachweisbar

Diskussion / Fragen



Teilchenidentifikation im OPAL-Eventdisplay

Übung



NETZWERK
TEILCHENWELT



Aufgaben

- ▶ Arbeitsblätter in Indico-Agenda
- ▶ ZOOM breakout sessions
 - 3 Personen pro Raum automatisch zugewiesen
- ▶ Vorschlag: Bearbeitung der einzelnen Arbeitsblätter individuell und nach jeder Aufgabe Diskussion in der 3-er Gruppe
- ▶ Hilfestellung: Übersicht Teilchensignaturen und Aufbau OPAL-Eventdisplay

Aufgaben

1. AB Nachweis von Teilchen mit Großdetektoren

→ Wdh. Teilchen-Signaturen in einzelnen Komponenten

2. AB Umwandlungen des Z-Teilchens in Tauonen

→ Informationen zu Tauonumwandlungen

→ Entscheidung, ob Ereignis auf Z-Umwandlung in Tauon-Anti-Tauon-Paar hindeutet (oder andere Z-Umwandlung)



Aufgaben

3. AB Eventdisplay-Puzzle

→ Halbe Abbildungen sollen zu vollständigen Ereignissen zusammengesetzt werden, sodass jeder (sichtbare) Umwandlungskanal des Z-Teilchens einmal vorkommt

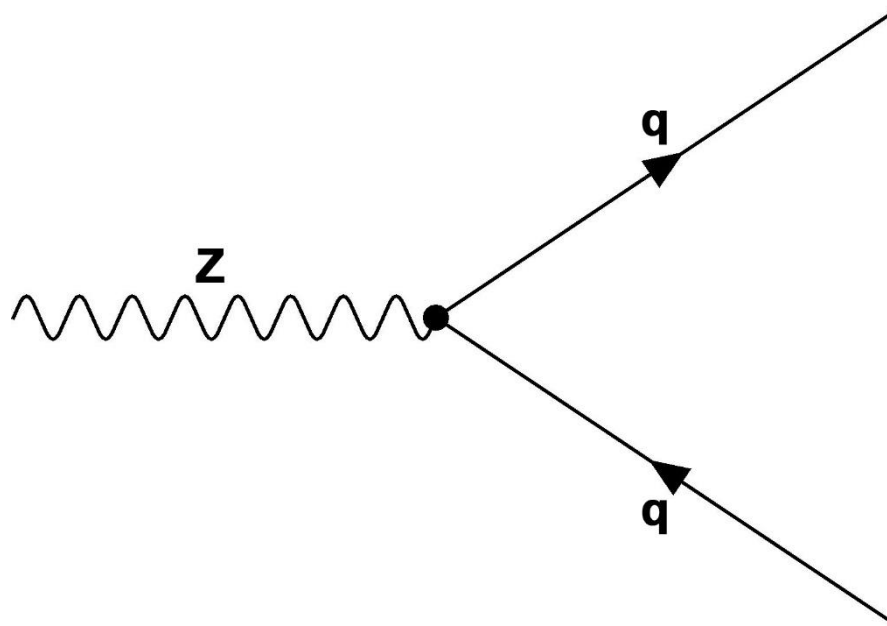
4. Infos – Ergebnisse der LEP-Forschung

→ 2 kurze Infotexte zu wichtigen Ergebnissen der LEP-Forschung

Forschungsergebnisse bei LEP

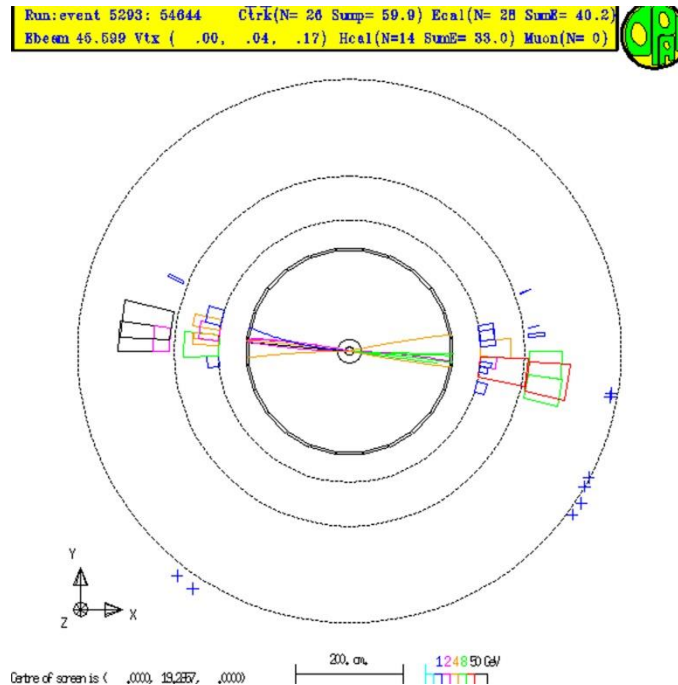
Was hat man gemessen?

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



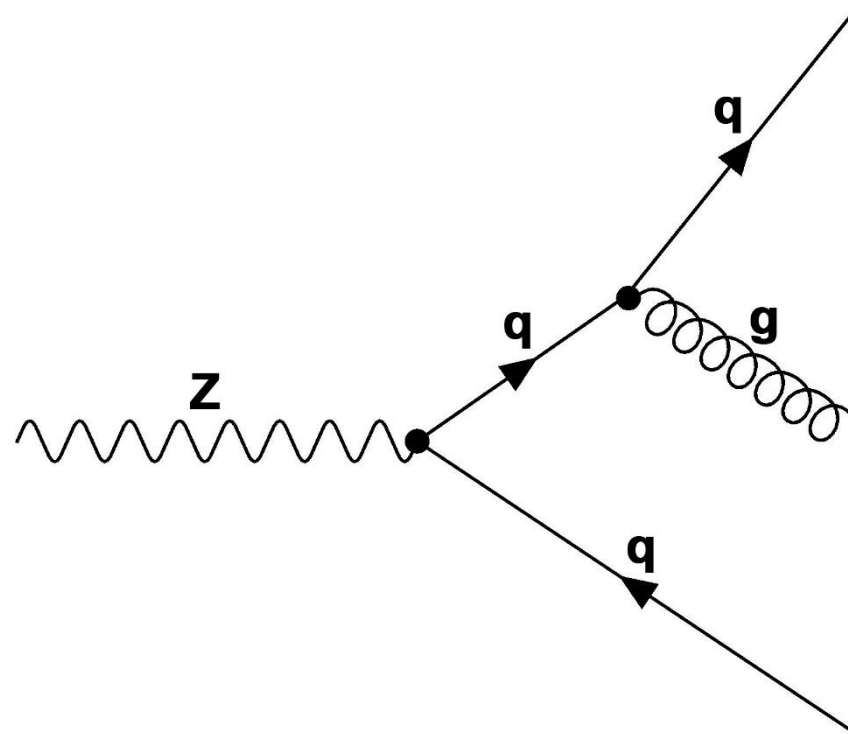
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

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



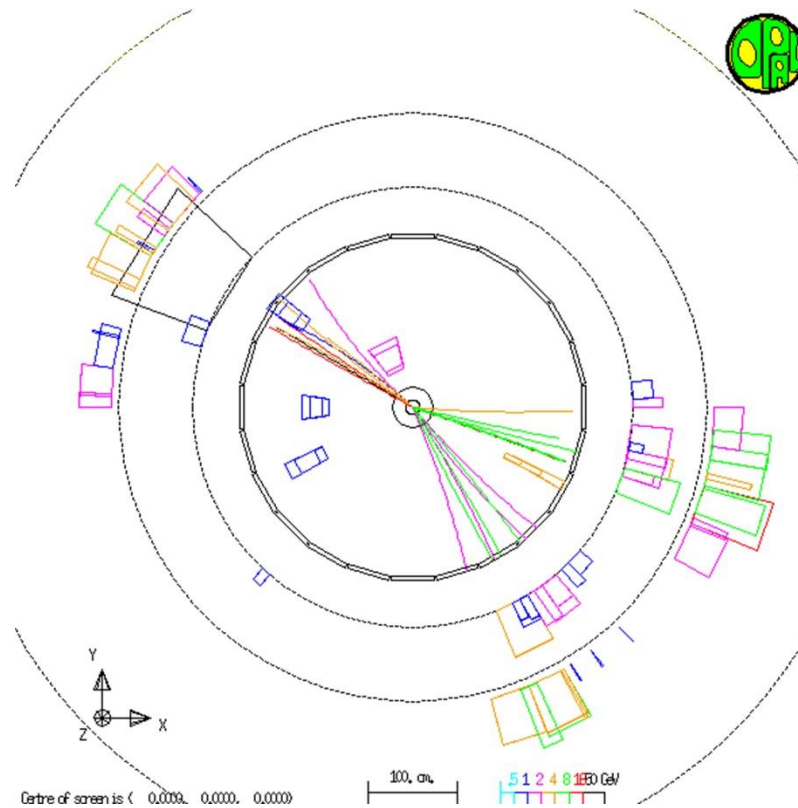
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- ▶ Manchmal passiert aber auch das:

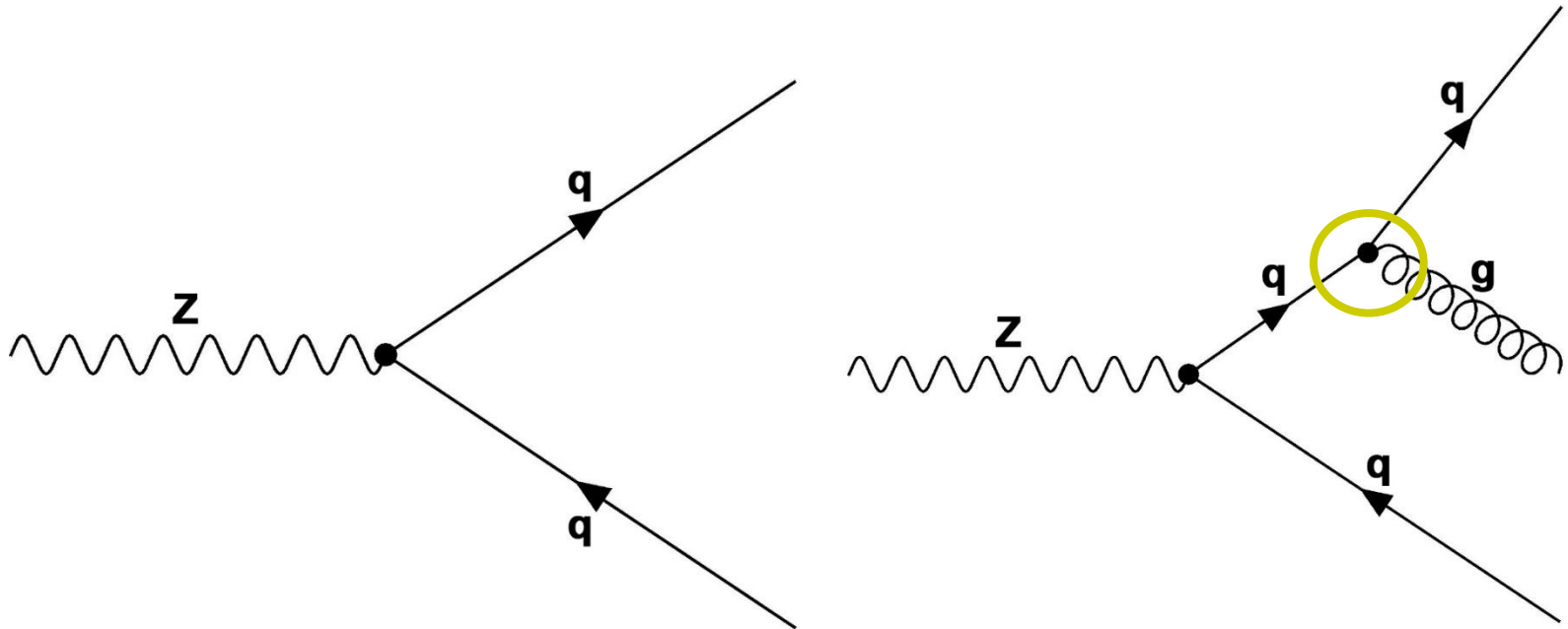


Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- ▶ 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 Eure
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

