

Detektoren und Eventdisplays

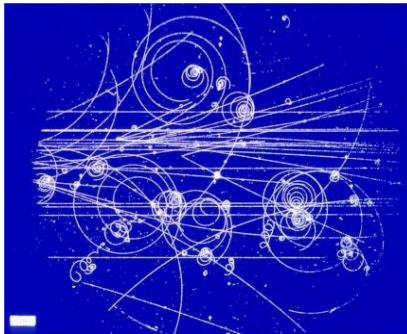
Bad Wildbad | 21.12.2023



Wie weist man Elementarteilchen nach?

▶ Bildgebende Detektoren

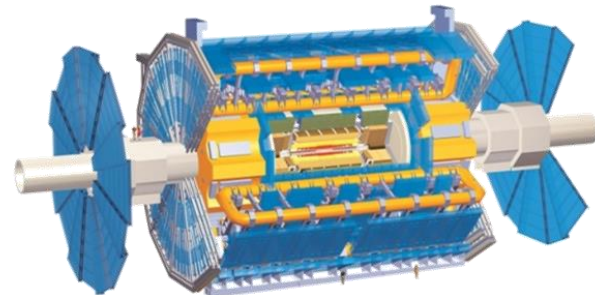
- Nebelkammer
- Blasenkammer



▶ sichtbare Teilchenspuren

▶ Elektronische Detektoren

- ATLAS-Detektor
- Geiger-Müller-Zählrohr



▶ Elektrische Signale

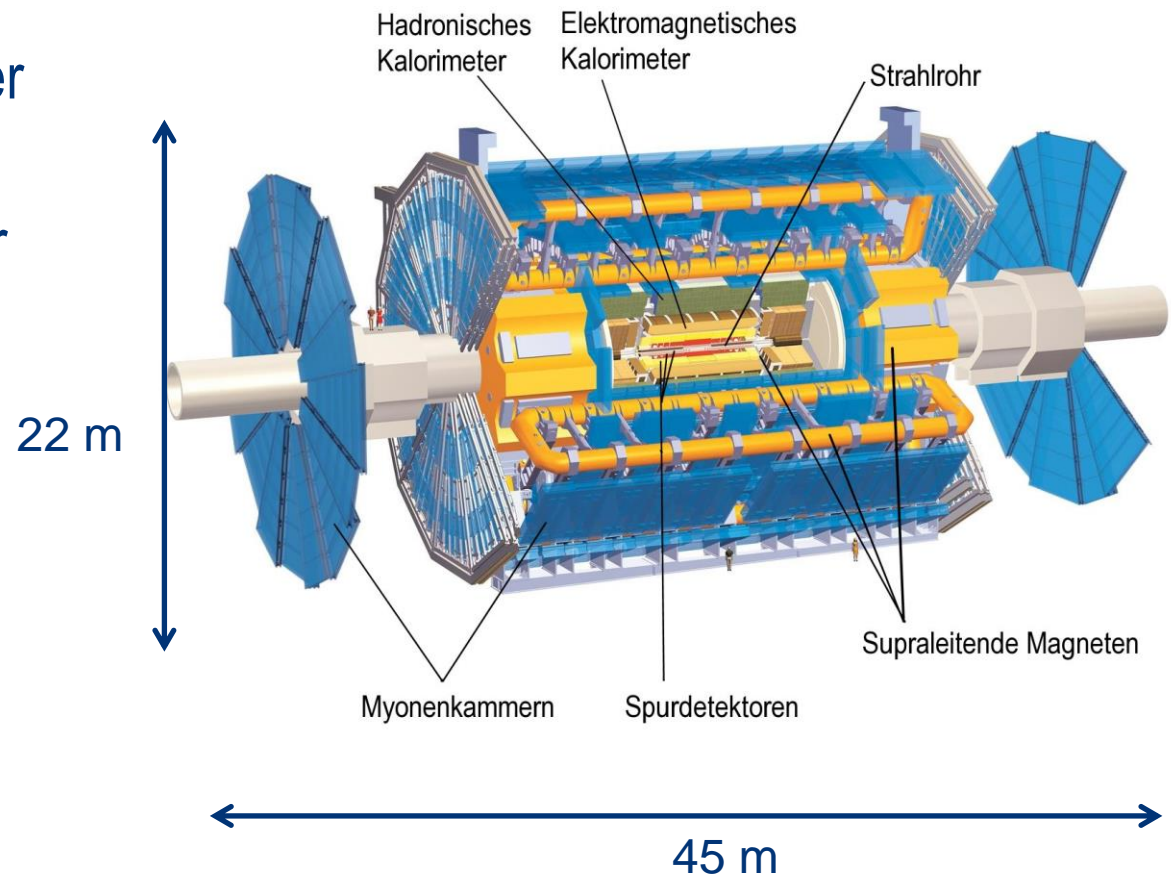
- ▶ Eigenschaften der Teilchen werden daraus rekonstruiert

Der ATLAS-Detektor ist das hier nicht!



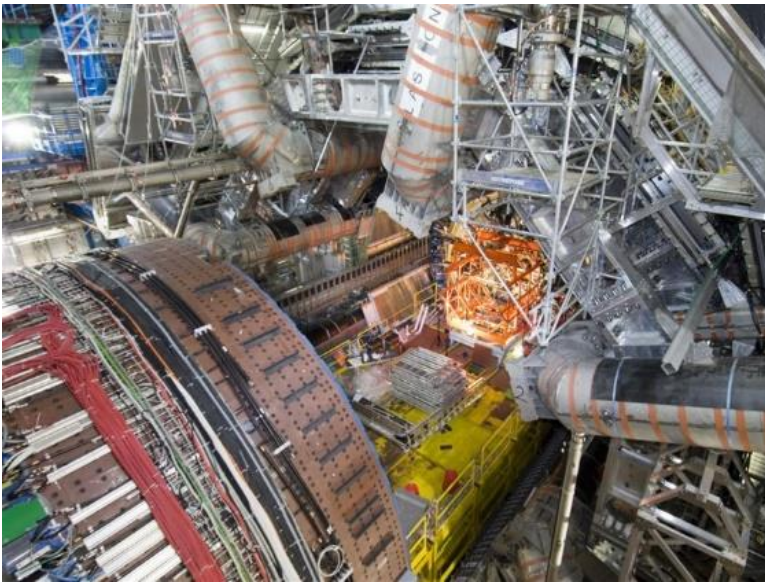
Der ATLAS-Detektor (A Toroidal LHC AparatuS)

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



Der ATLAS-Detektor

- ▶ Ist virtuell besuchbar
- ▶ <https://atlas-public.web.cern.ch/Discover/Visit/Virtual-Visit>

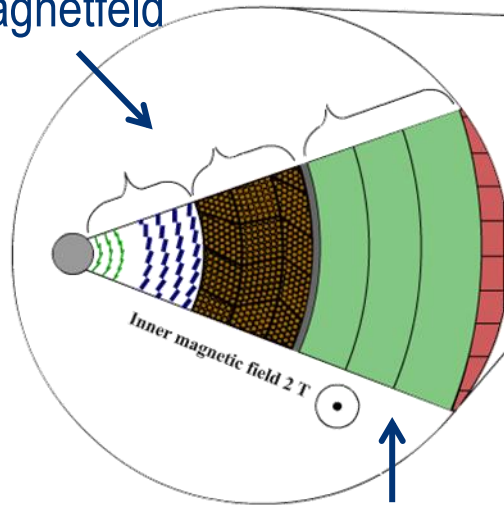


Detektoraufbau am Beispiel von ATLAS

- ▶ 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

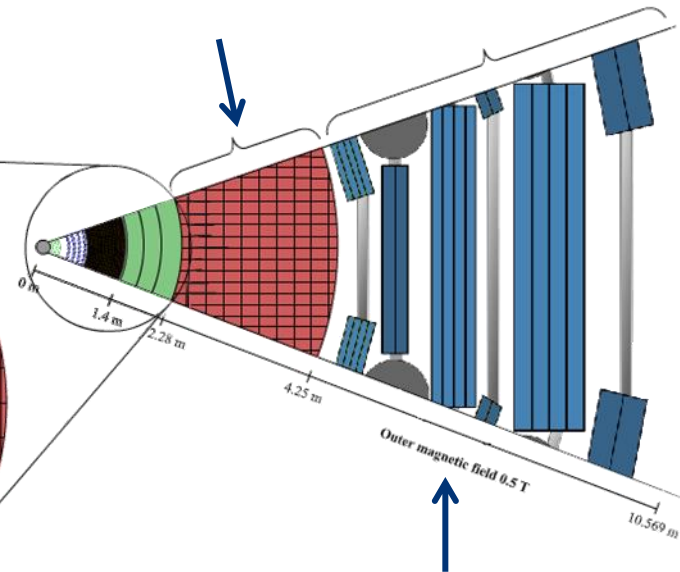


Elektromagnetisches Kalorimeter

- 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

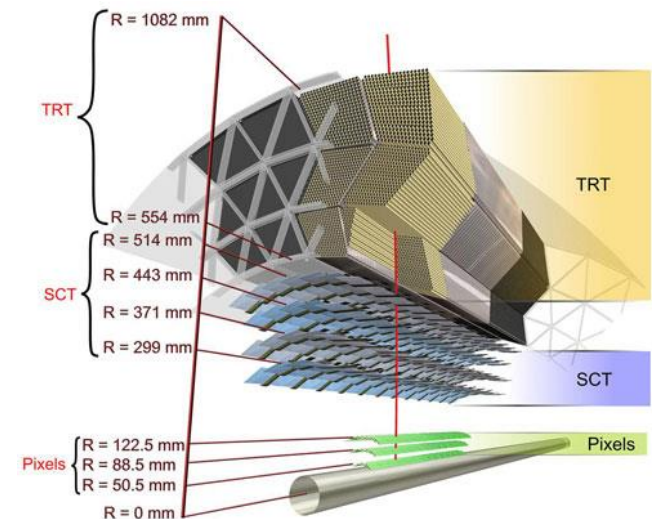
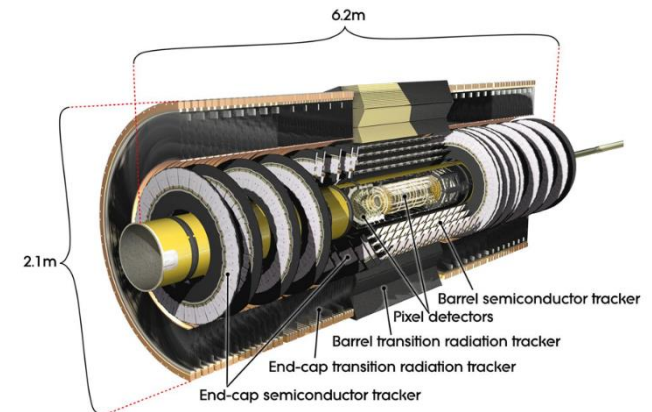
ATLAS - Spurdetektoren

▶ Pixel Detektor

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

▶ Silicon Microstrip Tracker

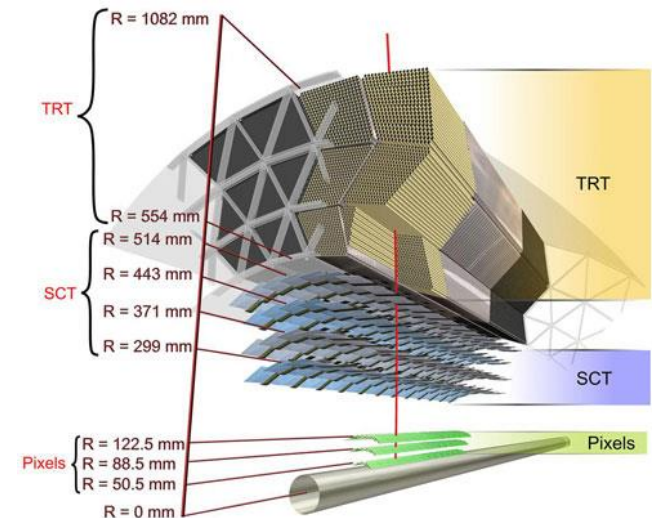
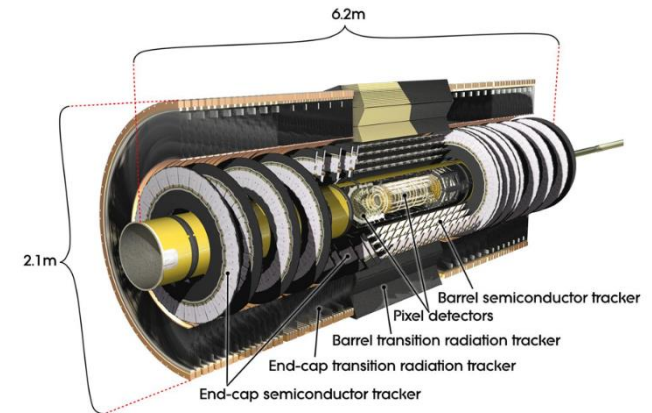
- Bestehend aus 4,088 doppelseitigen Modulen
- 6 Million Auslese Kanäle



ATLAS - Spurdetektoren

► Übergangsstrahlungsdetektor

- Volumen 12m^3
- Besteht aus "Straw Tubes":
 - Geiger Müller Zählrohre
 - Durchmesser 4mm
 - Im Inneren 0.03mm Gold ummantelter Wolfram Draht
- 300.000 Straws
- Genauigkeit der Ortsauflösung: 0.17mm
- Zusätzlich Information über die Teilchenart



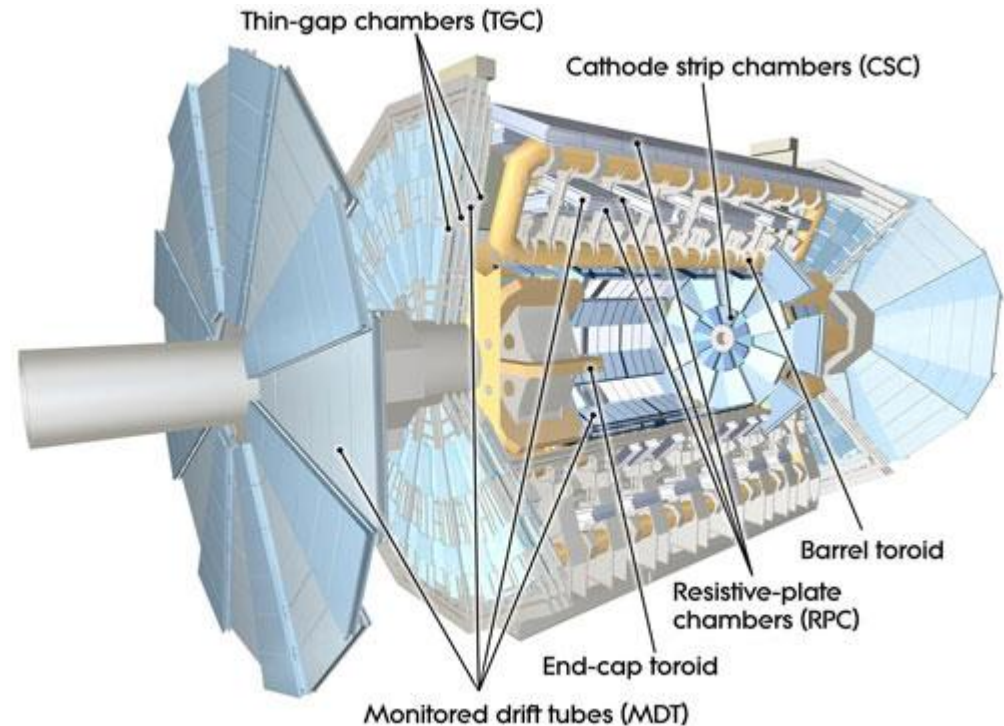
Kalorimeter

- ▶ 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

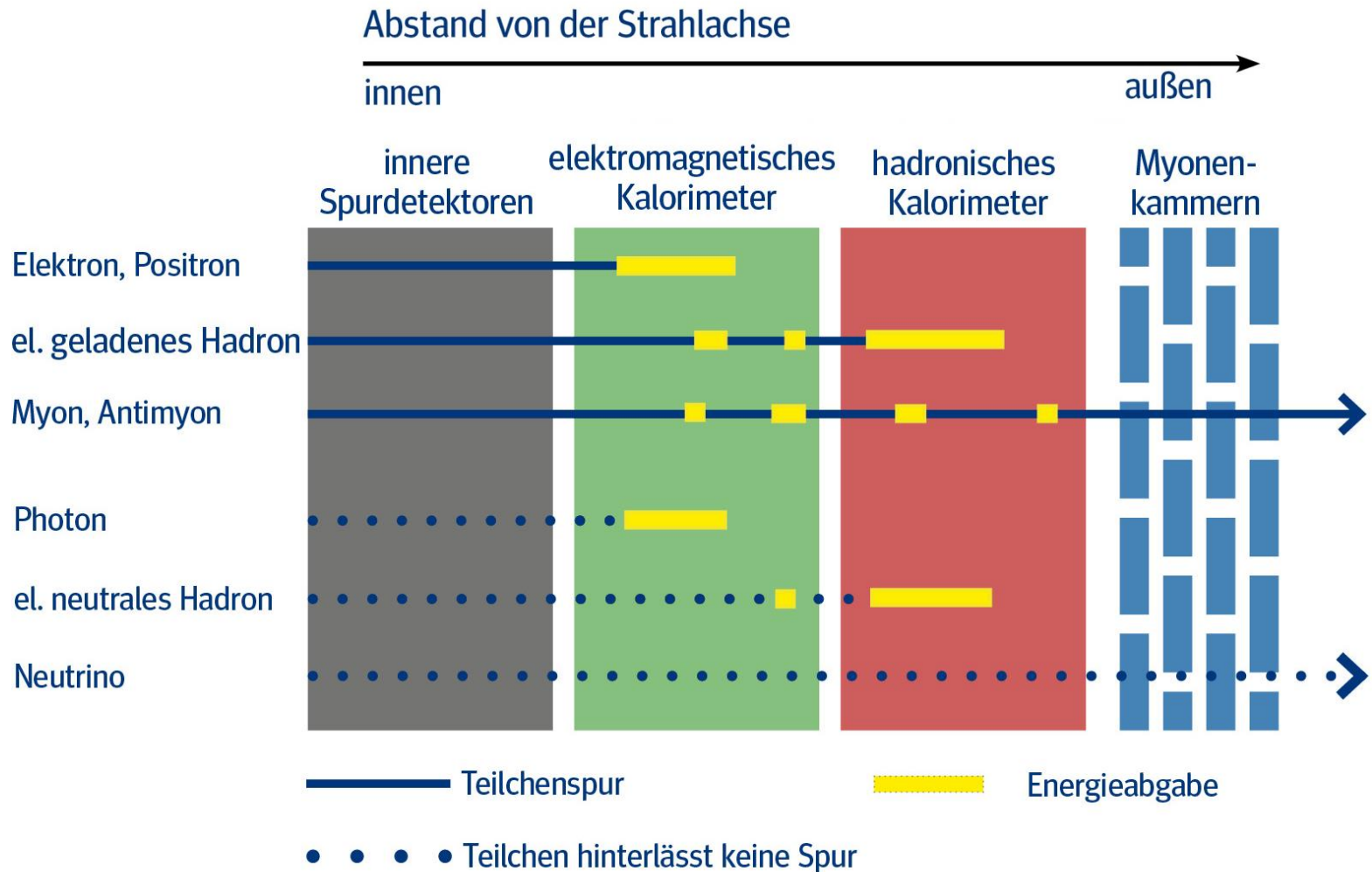


Myonenkammern

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



Teilchenspuren im ATLAS-Detektor



Arbeitsblätter: Aufbau ATLAS-Detektor

▶ Enthalten in der Materialsammlung von NTW

▶ <https://www.teilchenwelt.de/material/materialsammlung>

LÖSUNG

ATLAS-DETEKTOR

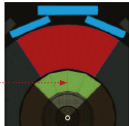
NETZWERK TEILCHENWELT

LÖSUNG FÜR ARBEITSBLATT 1/GRUPPE 2A: ELEKTROMAGNETISCHES KALORIMETER

▶ 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, Positronen 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

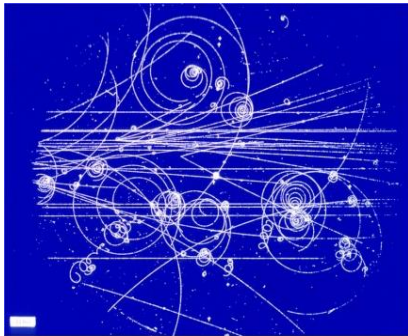
6. Beschreibe kurz in eigenen Worten, was in der Detektor-Komponente geschieht.

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.

Aufgaben/Materialien für den Schulunterricht

▶ Bildgebende Detektoren

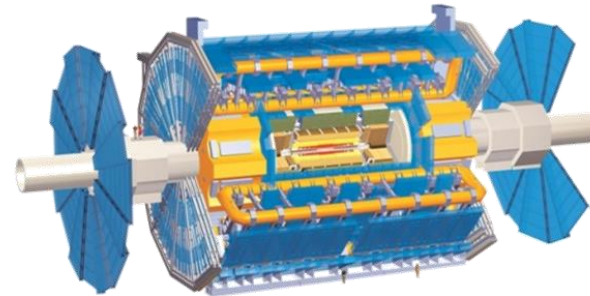
- Nebelkammer
- Blasenkammer



▶ Blasenkammeraufnahmen mit GeoGebra

▶ Elektronische Detektoren

- ATLAS-Detektor
- Geige-Müller-Zählrohr

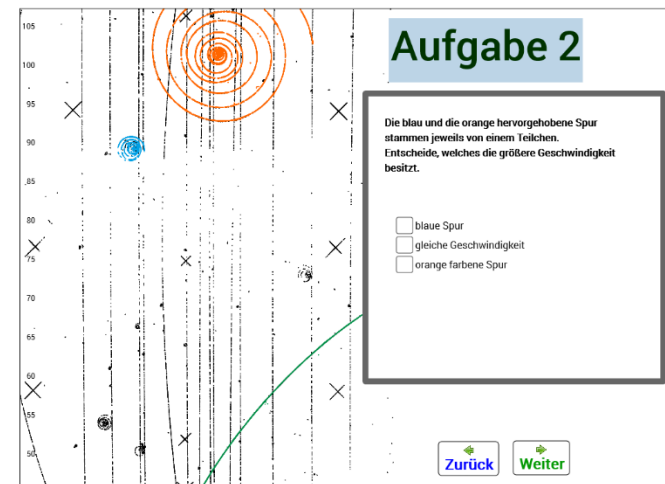


▶ Eventdisplays von Großdetektoren

Bildgebende Detektoren im Unterricht

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

AB_2650 – Auswertung Blaskammeraufnahme



Aufgabe 2

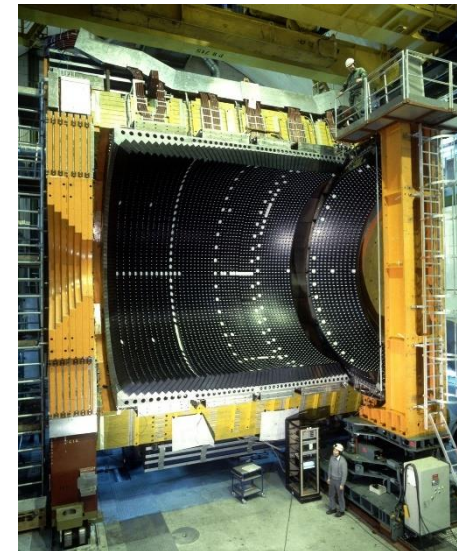
Die blau und die orange hervorgehobene Spur stammen jeweils von einem Teilchen. Entscheide, welches die größere Geschwindigkeit besitzt.

blaue Spur
 gleiche Geschwindigkeit
 orange farbene Spur

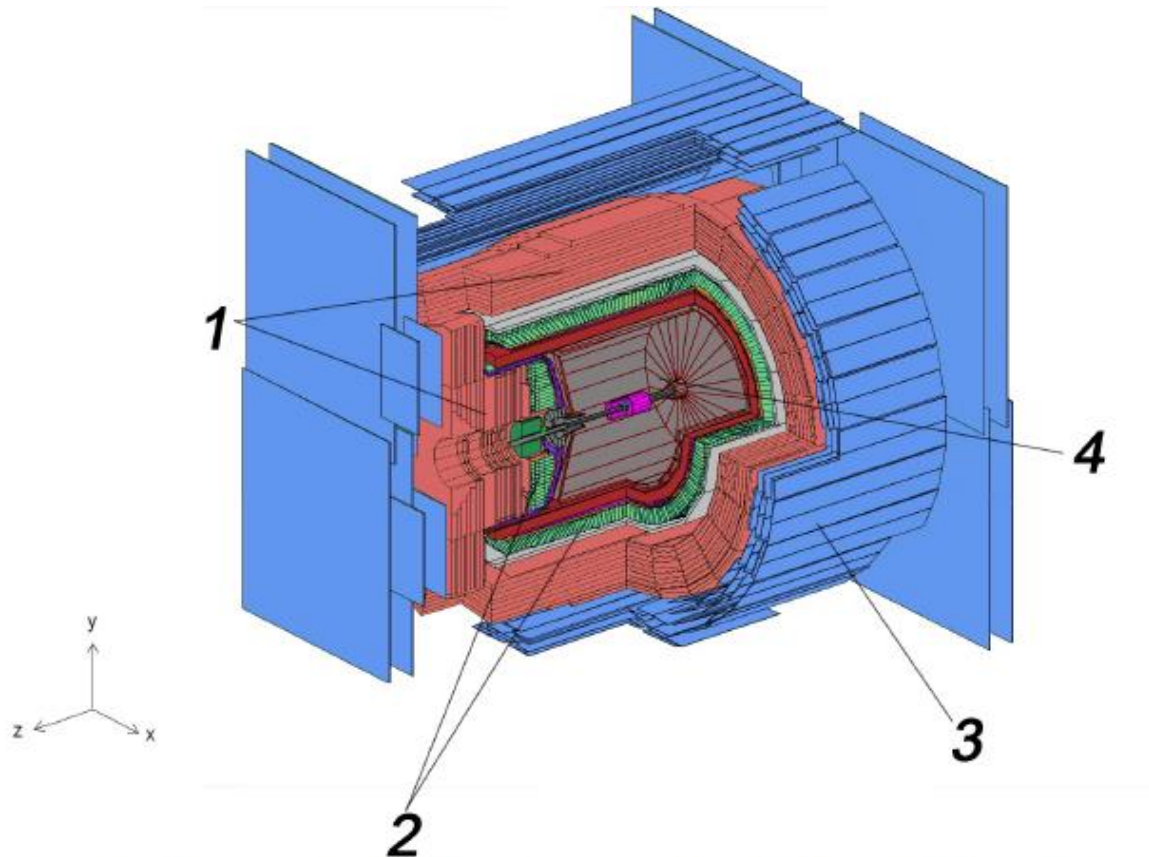
Zurück Weiter

Beispiel für Großdetektoren: OPAL

- ▶ Der OPAL-Detektor war ein Detektor bei LEP
- ▶ 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
- ▶ Präzise Untersuchung der Eigenschaften von Z-Teilchen (LEP1) und W-Teilchen (LEP2)



Aufbau des OPAL-Detektors



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

1 hadronische Kalorimeter

3 Myonenkammer

2 elektromagnetische Kalorimeter

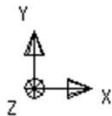
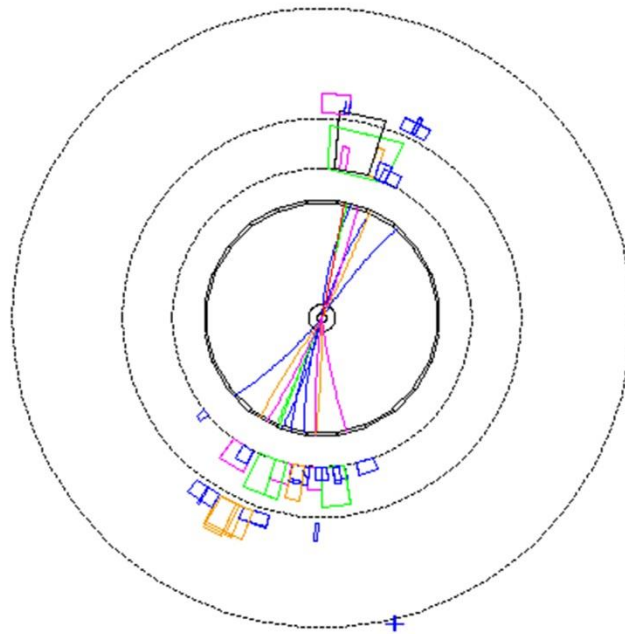
4 Spurkammer

LEP oder LHC in der Schule?

- ▶ LHC zwar aktueller, aber interessante Ereignisse bei LEP einfacher analysierbar
- ▶ Liegt u.a. an der Struktur der kollidierenden Teilchen: Elektronen und Positronen sind Elementarteilchen, die Protonen am LHC nicht
- Einfachere Ausgangszustände vereinfachen auch die möglichen Endzustände und deren Beschreibung

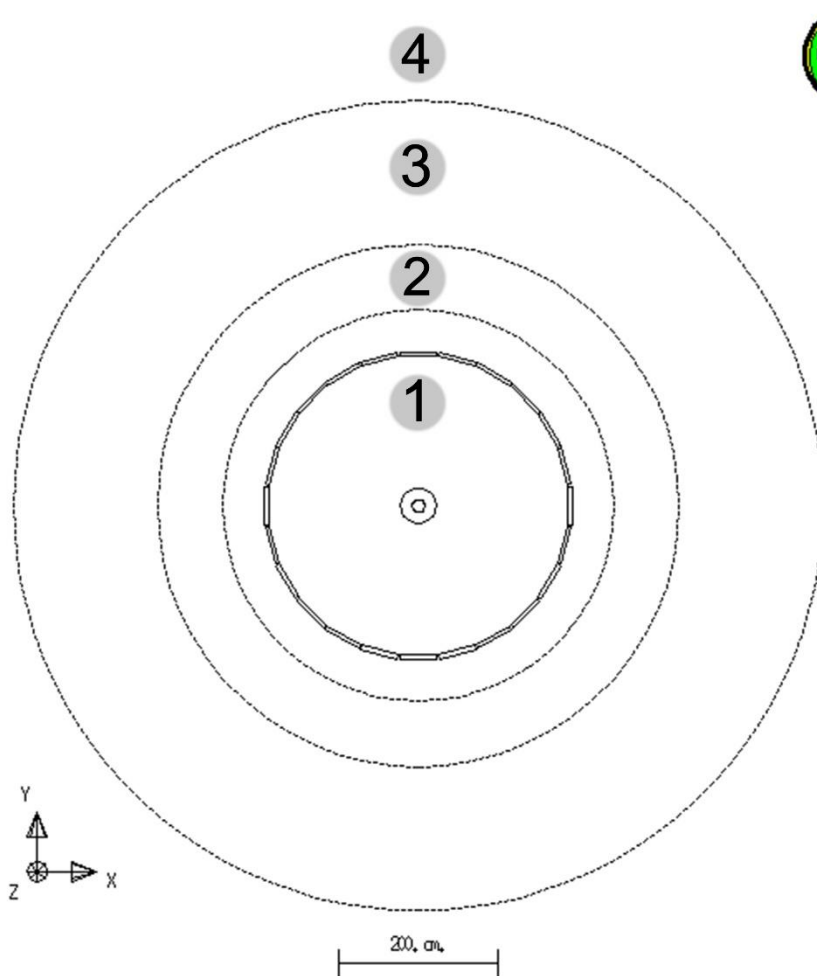
Das OPAL-Eventdisplay

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

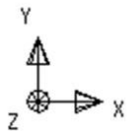
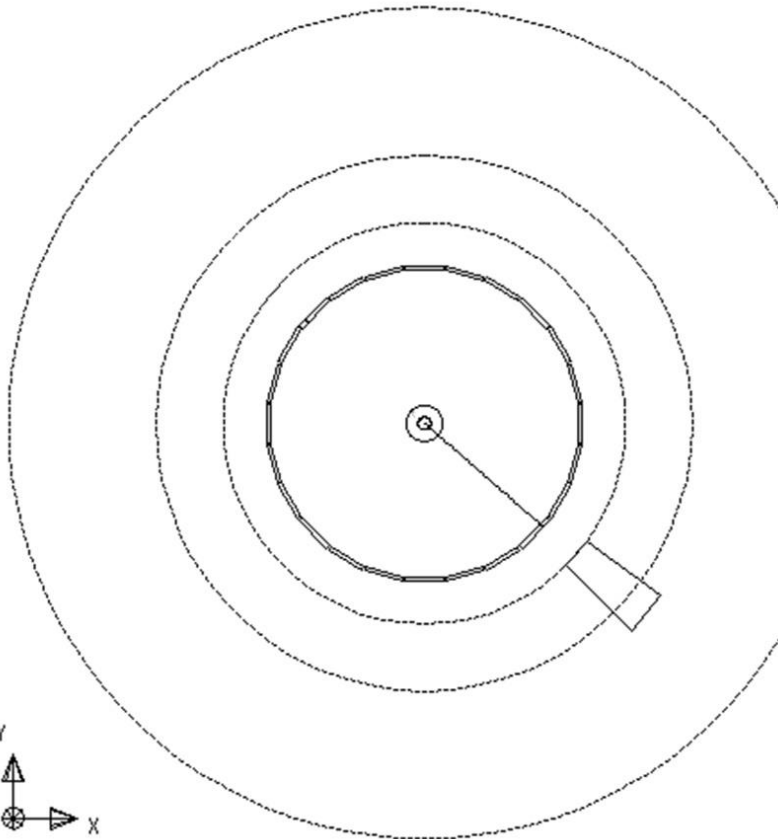


1 Spurkammer

2 elektromagn. Kalorimeter

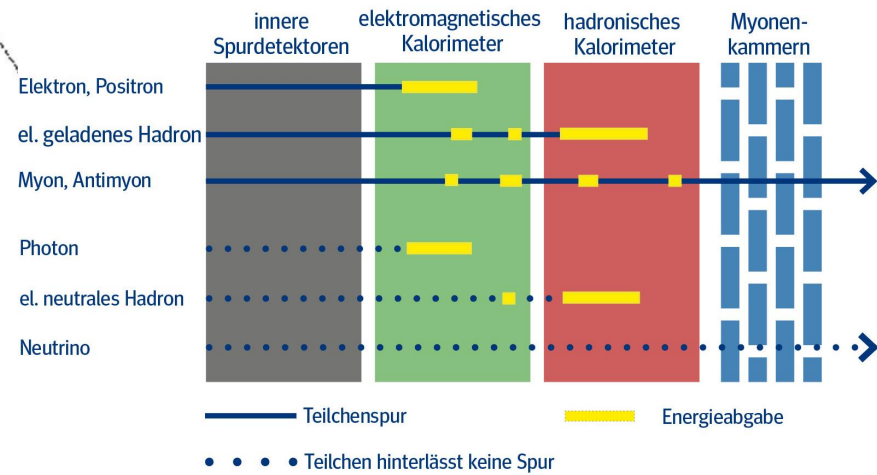
3 hadronisches Kalorimeter

4 Myonkammer

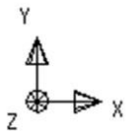
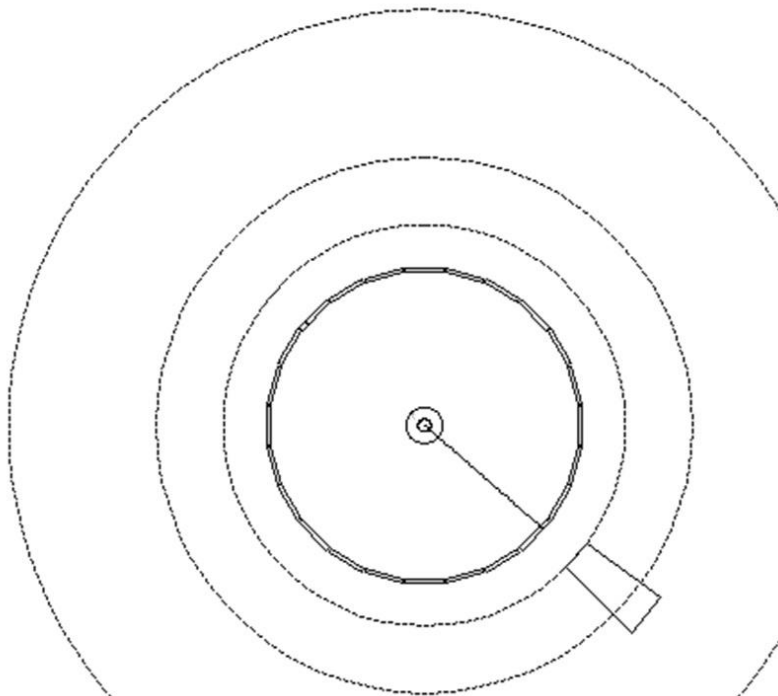


Centre of screen is (0,000, 19,2857, 0,0000)

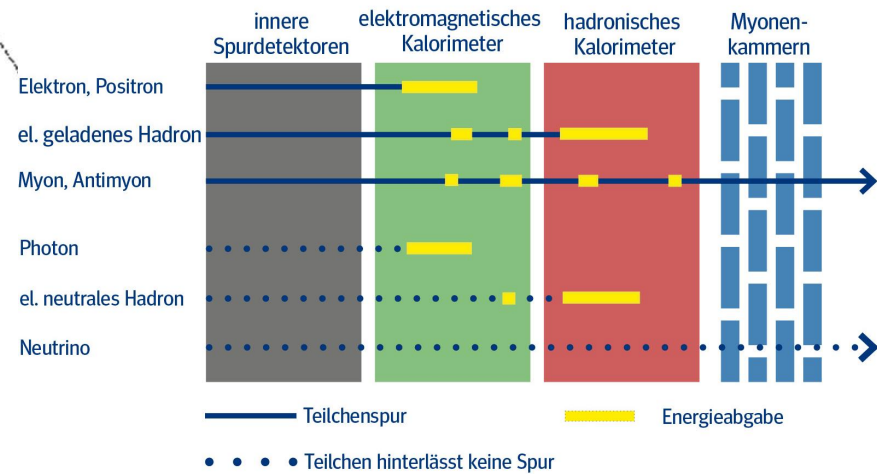
200, cm 1248 50 GeV

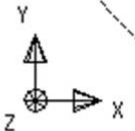
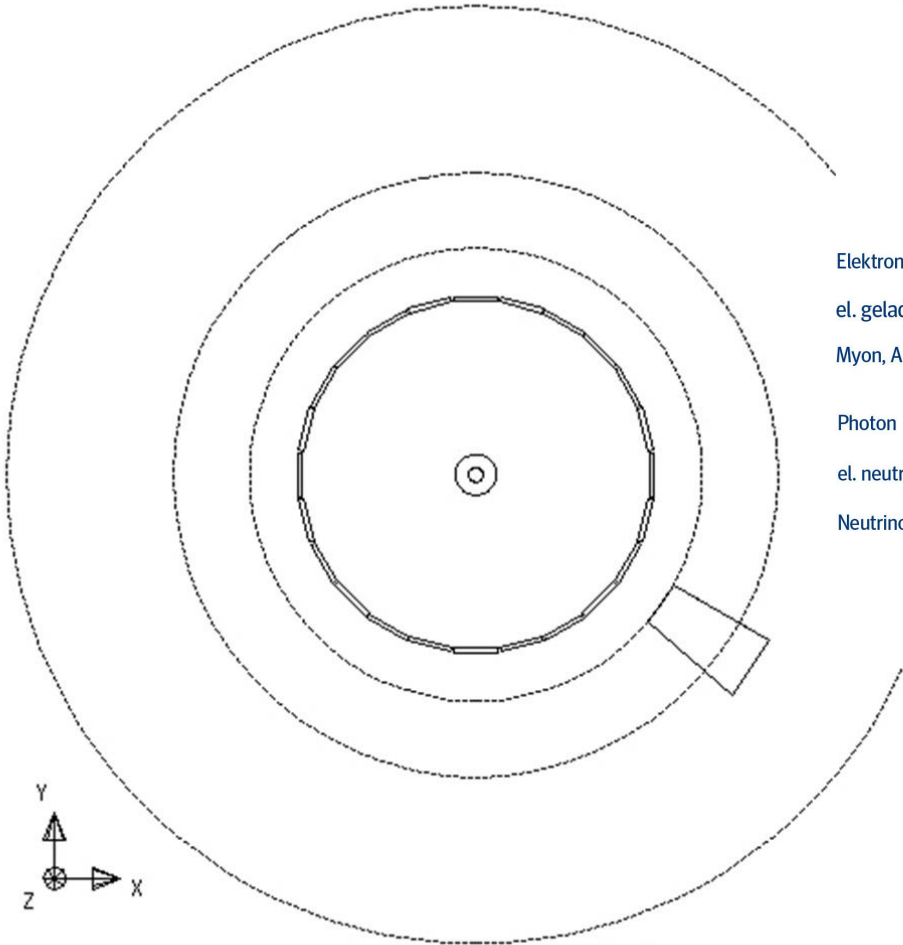


Elektron oder Positron



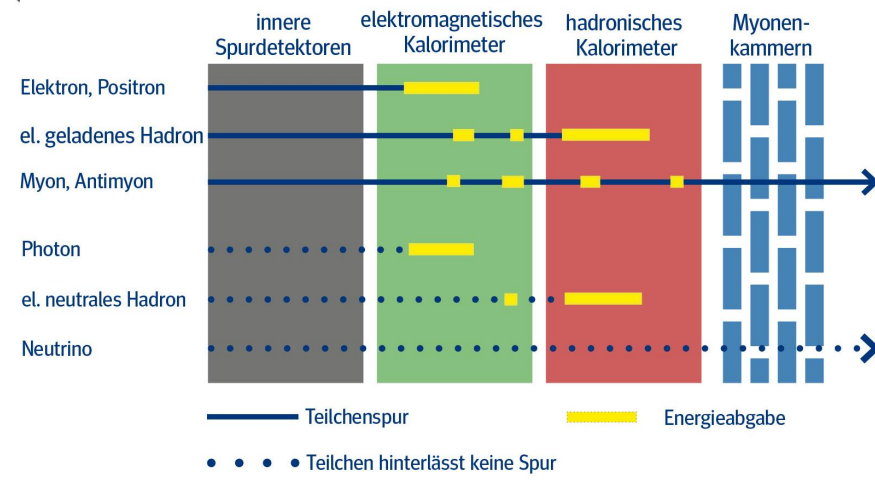
Centre of screen is (0,000, 19,2857, 0,0000) | 200 cm | 1248 50 GeV



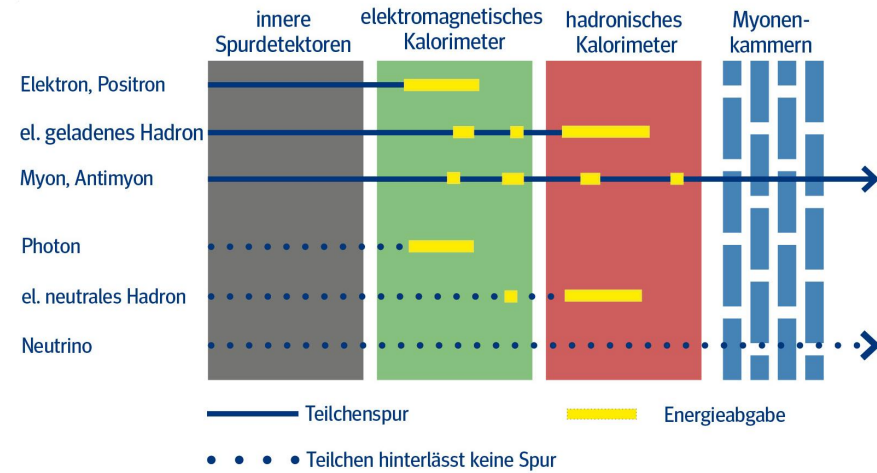
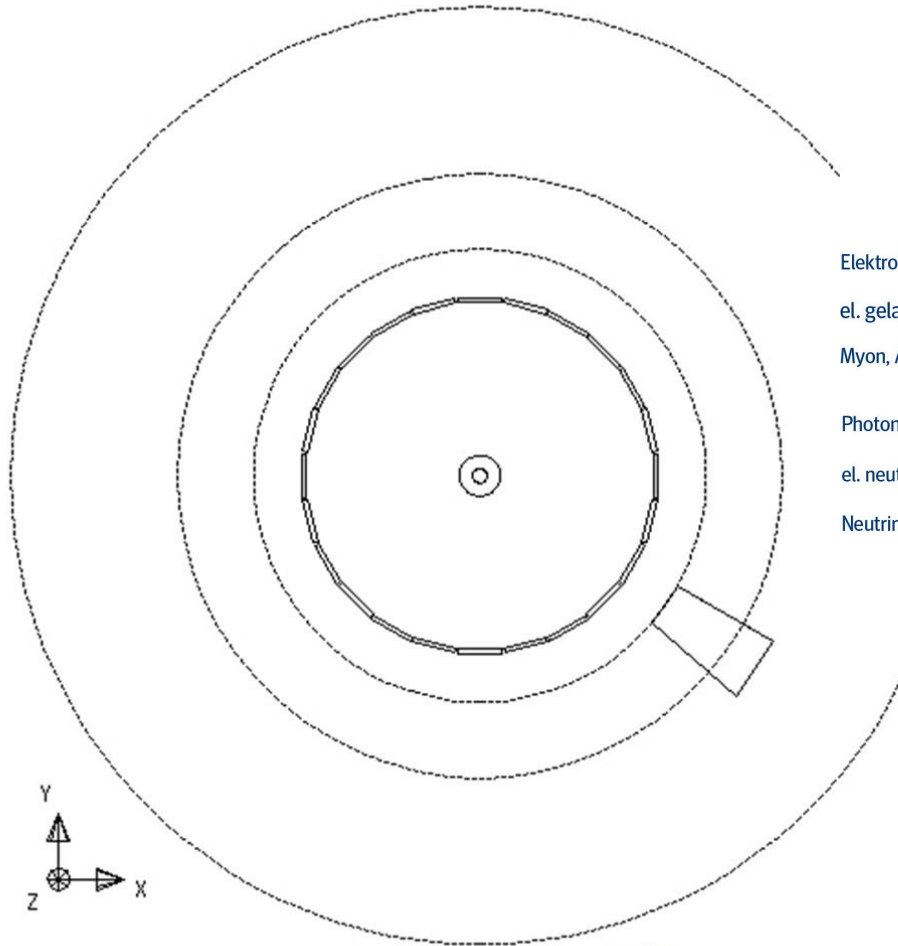


Centre of screen is (0,000, 19,287, 0,000)

200 cm 12 48 50 GeV



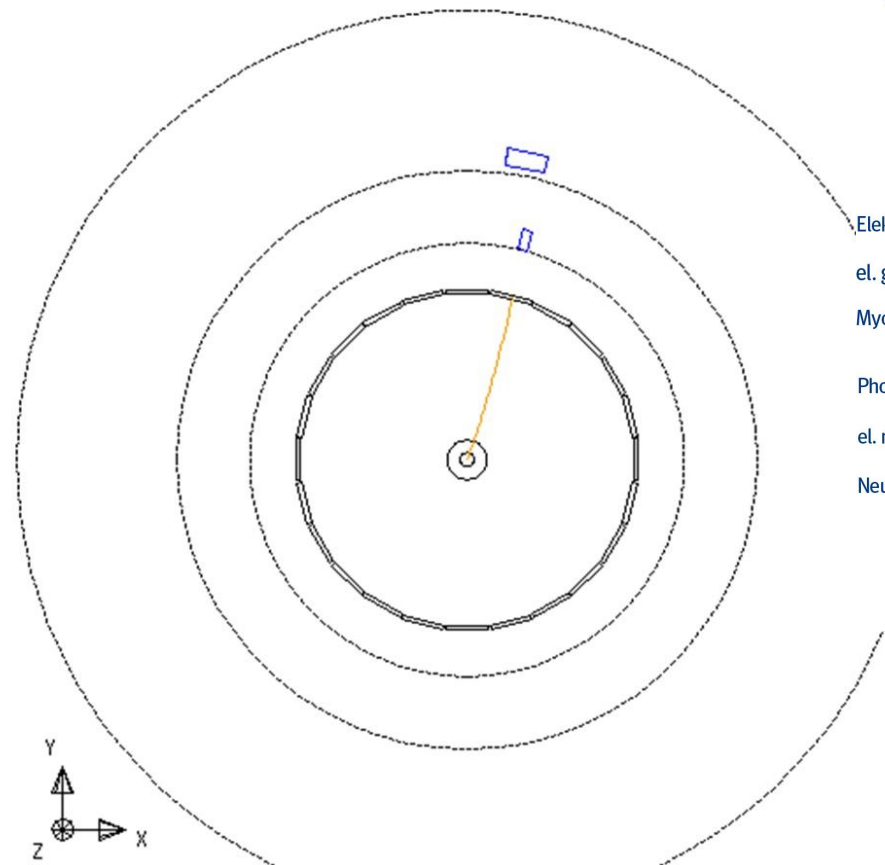
Photon



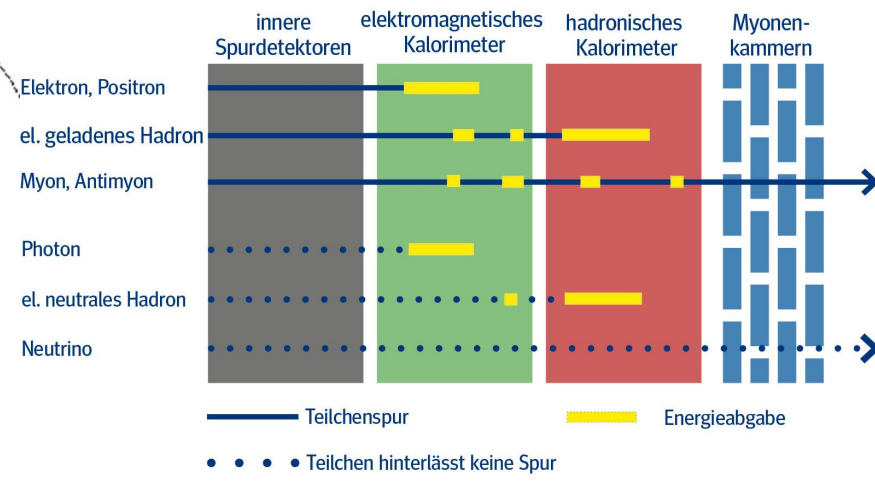
Centre of screen is (0,0000, 19,2857, 0,0000)

200 cm

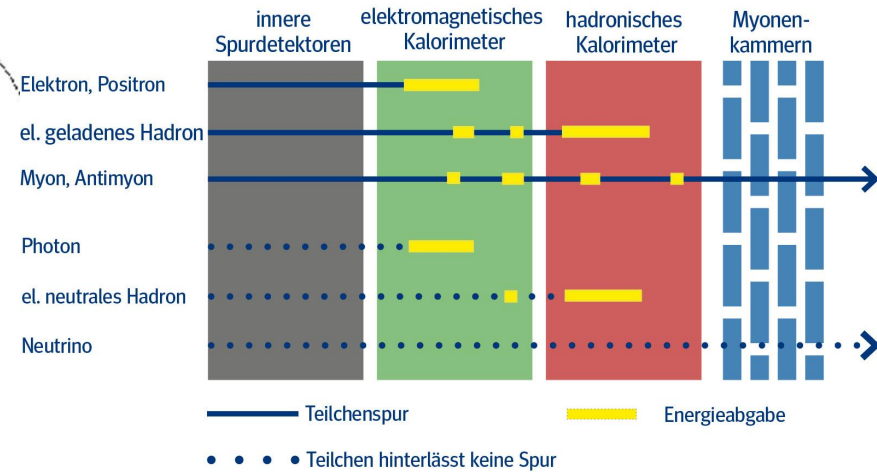
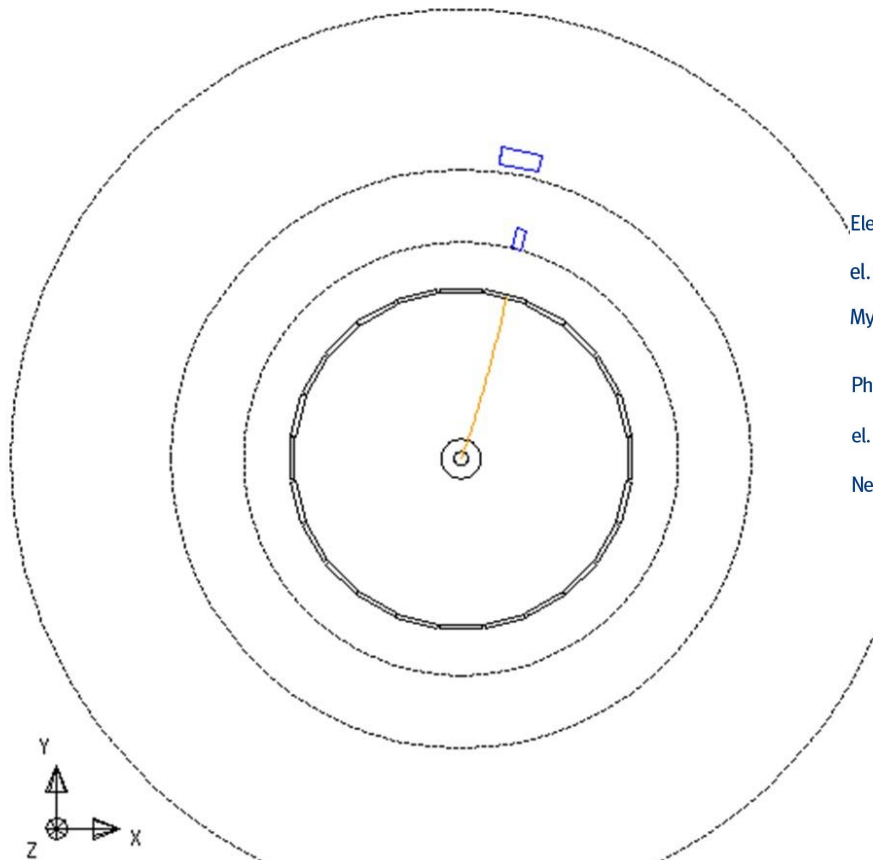
12 48 50 GeV



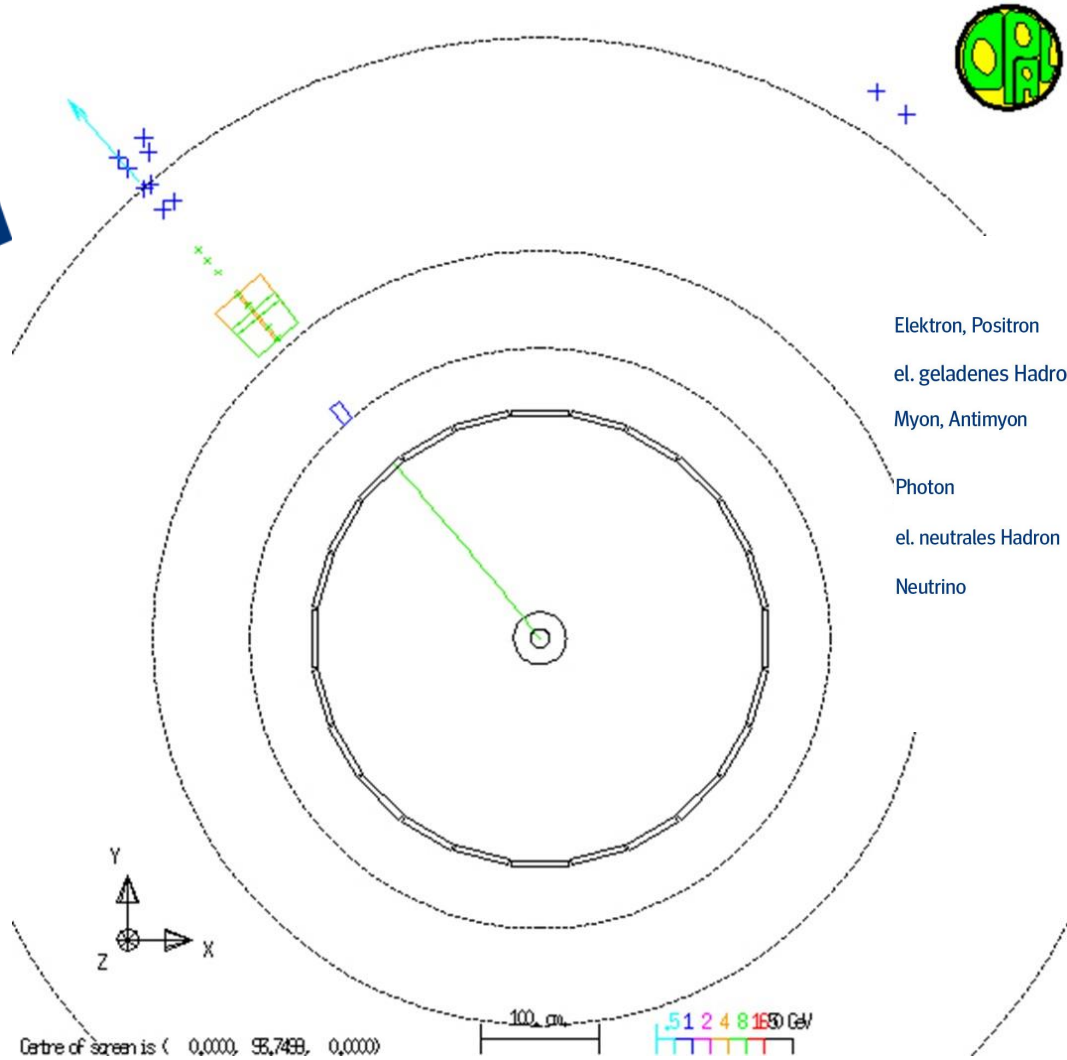
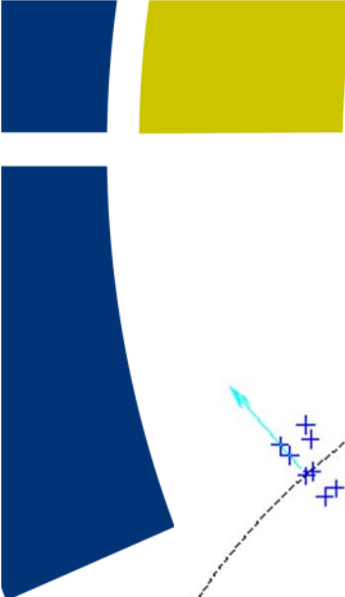
Centre of screen is (0,000, 38,5715, 0,000) 200 cm 1248 50 GeV



El. geladenes Hadron



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



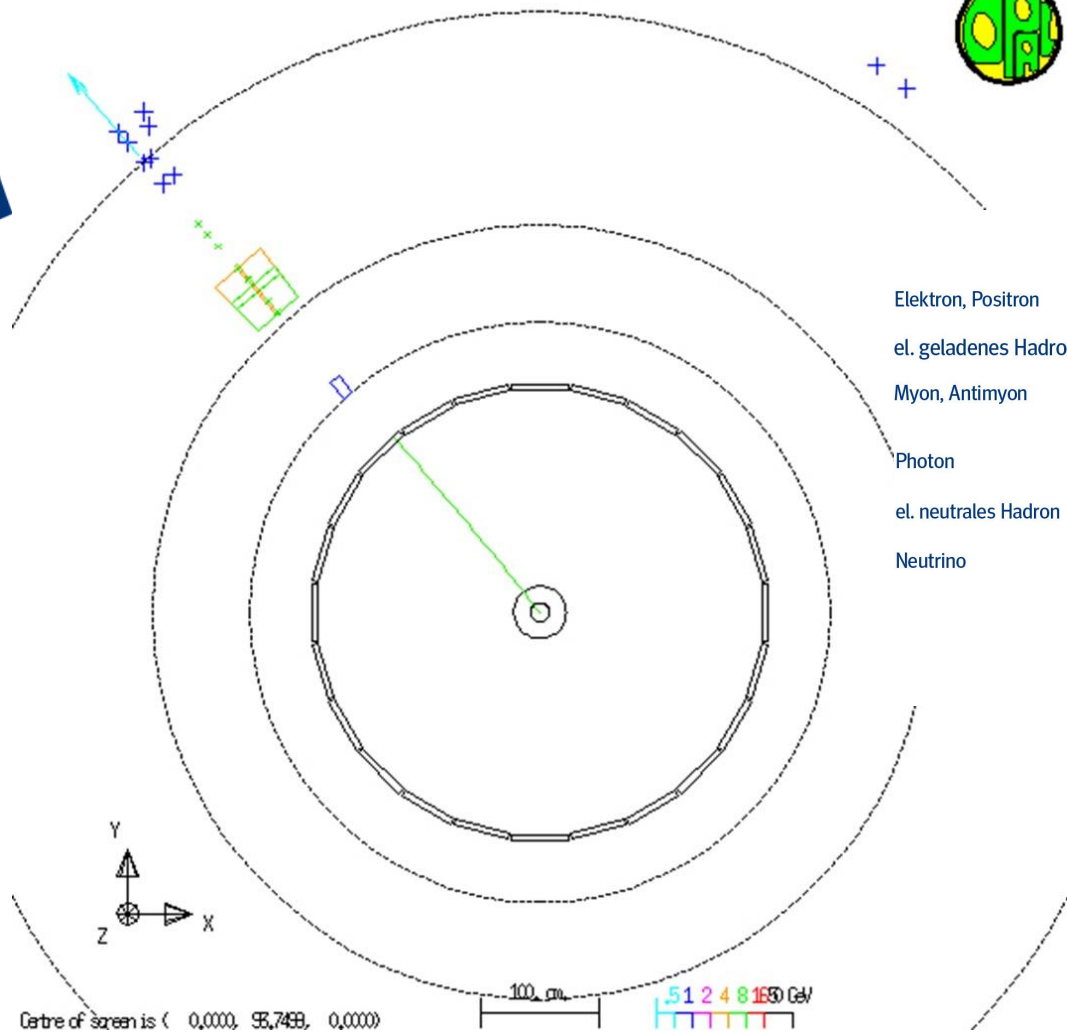
	innere Spurdetektoren	elektromagnetisches Kalorimeter	hadronisches Kalorimeter	Myonenkammern
Elektron, Positron	—	—	—	—
el. geladenes Hadron	—	—	—	—
Myon, Antimyon	—	—	—	—
Photon	•••••	—	—	—
el. neutrales Hadron	•••••	—	—	—
Neutrino	•••••	•••••	•••••	•••••

— Teilchenspur — Energieabgabe
 ••••• Teilchen hinterlässt keine Spur

Centre of screen is (0,0000, 98,7469, 0,0000)

100 cm 51248160 GeV

Myon oder Anti-Myon

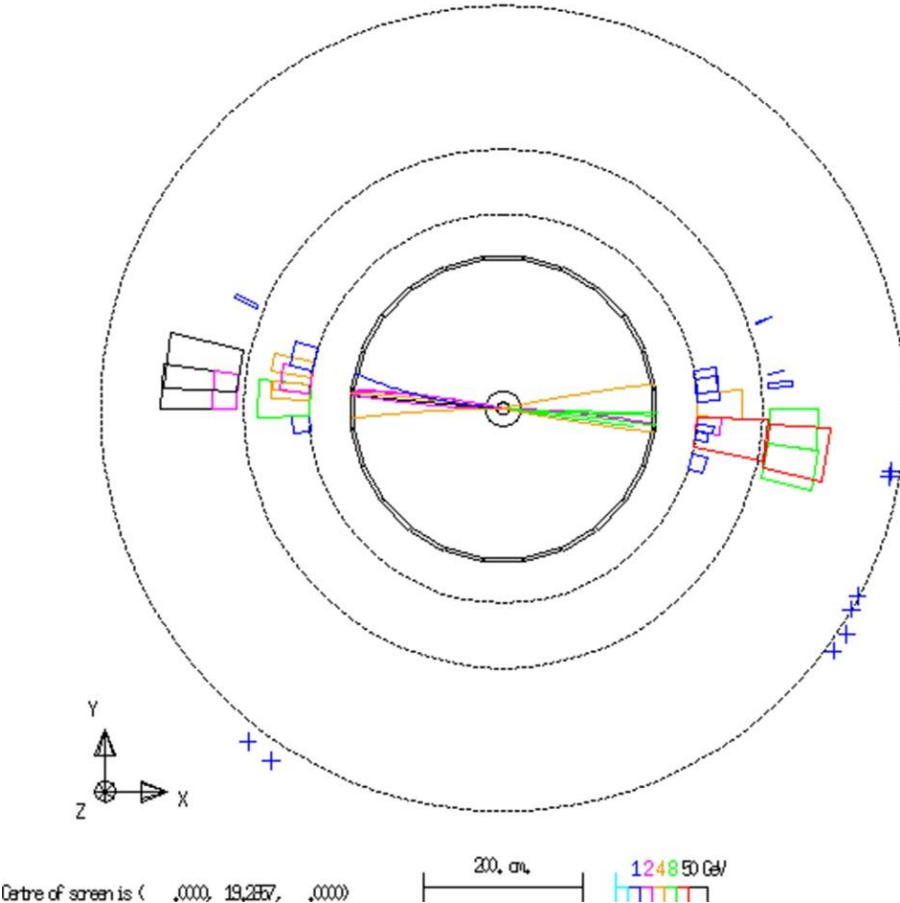


	innere Spurdetektoren	elektromagnetisches Kalorimeter	hadronisches Kalorimeter	Myonenkammern
Elektron, Positron	—	—	—	—
el. geladenes Hadron	—	—	—	—
Myon, Antimyon	—	—	—	—
Photon	•••••	—	—	—
el. neutrales Hadron	•••••	—	—	—
Neutrino	•••••	•••••	•••••	•••••

— Teilchenspur — Energieabgabe
 ••••• Teilchen hinterlässt keine Spur

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)



Umwandlungskanäle des Z-Teilchens

- ▶ Kollisionsenergie wurde bei LEP sehr genau auf die bekannte Z-Masse eingestellt.
 - Z-Teilchen dominieren Beschreibung der Prozesse und die Erzeugung der beobachtbaren Teilchen (Z-Resonanz)

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



Option 1: Teilchenidentifikation im OPAL-Eventdisplay



Aufgaben

1. AB Nachweis von Teilchen mit Großdetektoren

→ Wdh. Teilchen-Signaturen in einzelnen Komponenten

2. AB Umwandlungskanal des Z-Teilchens in Tauonen

→ Informationen zu Tauonumwandlungen

→ Entscheidung, ob Ereignis auf Tauon-Anti-Tauon-Paar hindeutet



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

Option 2: Teilchenidentifikation in Blasenkammerbildern



Aufgaben



ATLAS virtual Visit



Blasenkammeraufg...



Unterrichtsmateriali...

► Digital via GeoGebra App

<https://www.geogebra.org/m/VAK3P8ar>

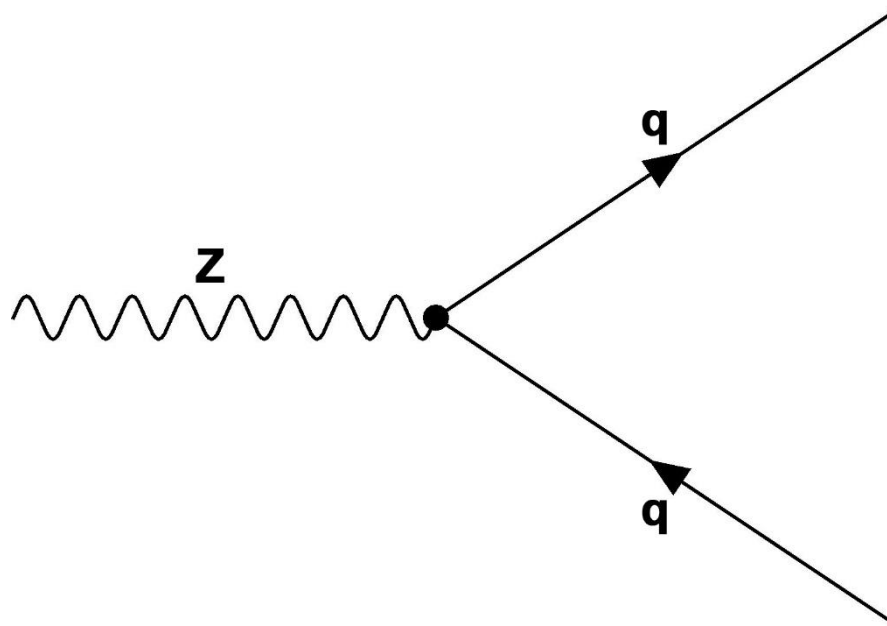
- **Schritt 1:** Lest die „Einführung zur Blasenkammer“ und vergleicht die Informationen zur Spuridentifikation mit dem Übersichtsblatt (siehe Indico)
- **Schritt 2:** Bearbeitet digitale Arbeitsblätter eurer Wahl
 - Nutzt dazu auch gern die zugehörigen gedruckten Arbeitsblätter

Forschungsergebnisse bei LEP



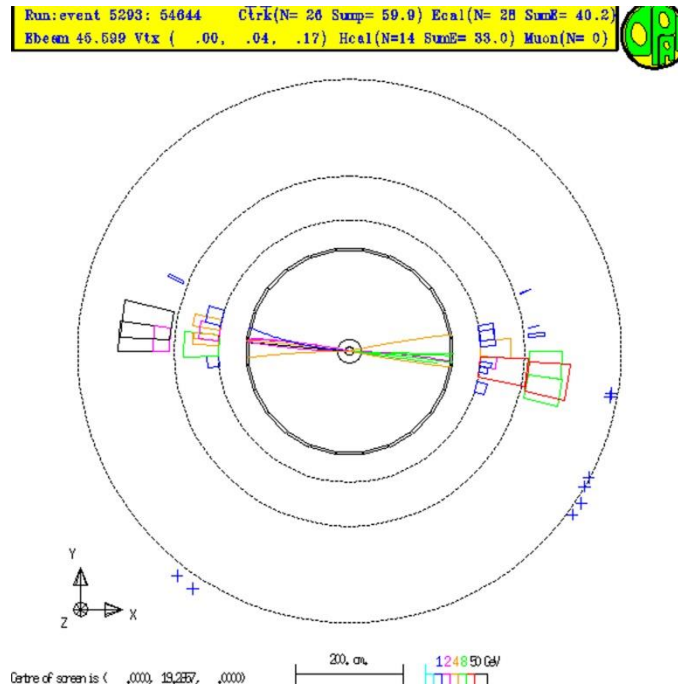
Was hat man gemessen?

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



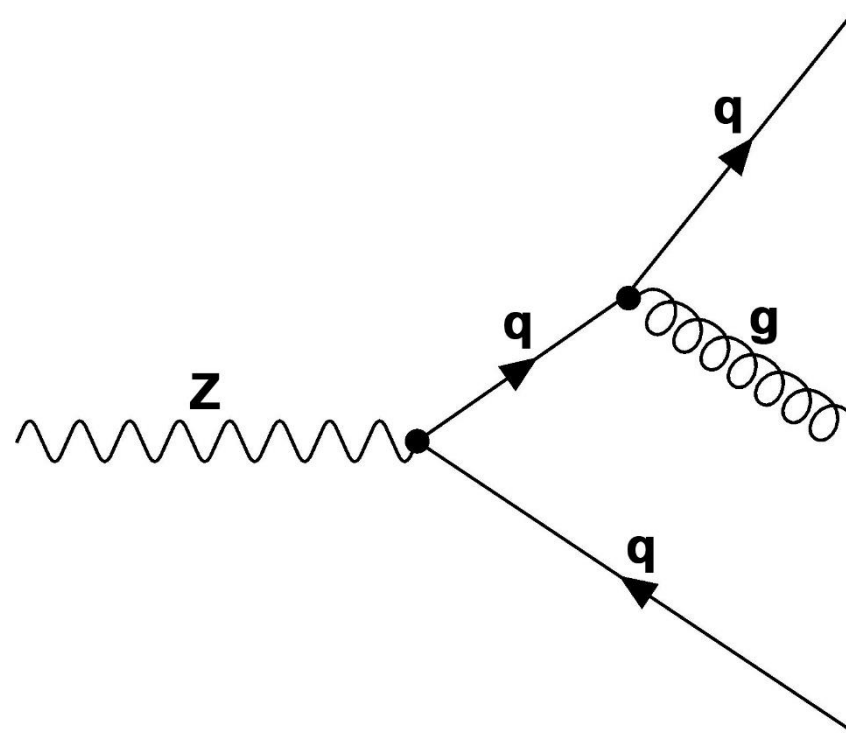
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

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



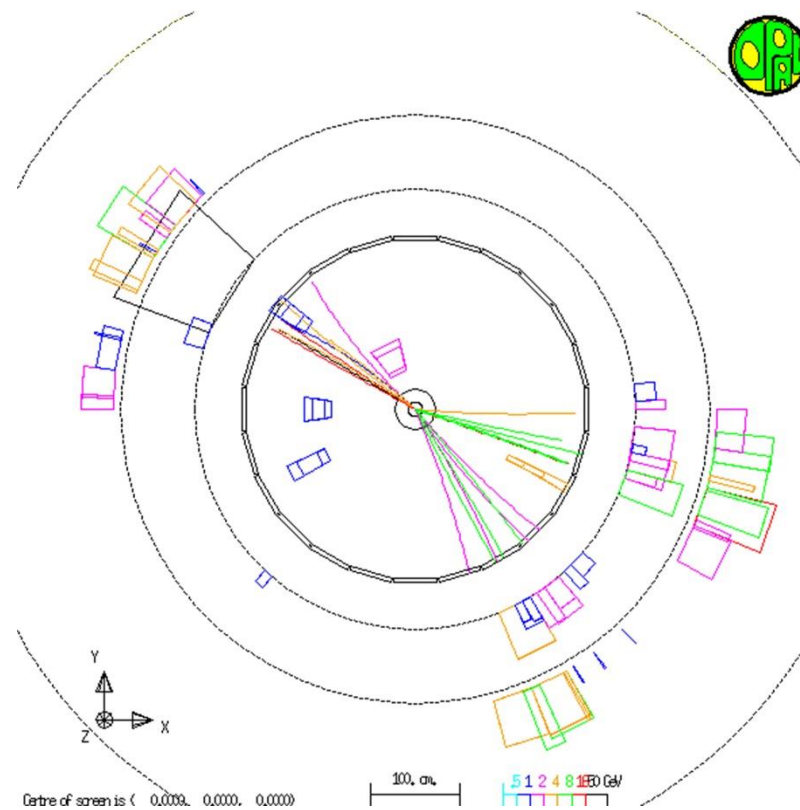
Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- ▶ Manchmal passiert aber auch das:

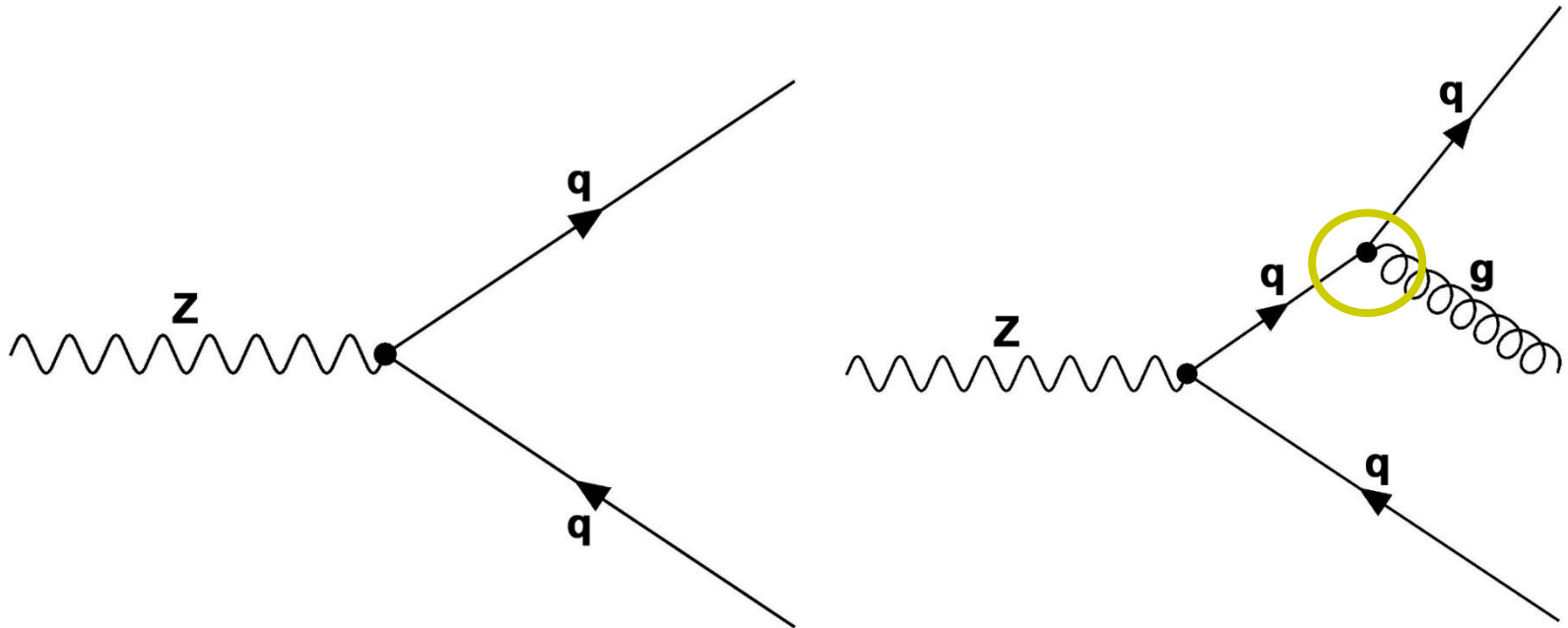


Bestimmung des starken Kopplungsparameters

- ▶ 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

