

LHC und ATLAS



Marike Schwickardi

II. Physikalisches Institut Göttingen

10. November 2020

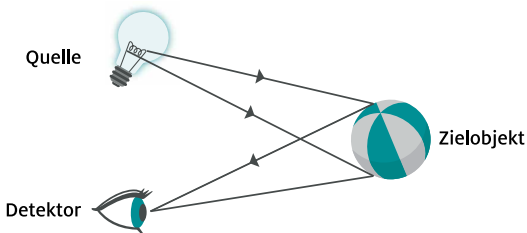


NETZWERK
TEILCHENWELT

Teilchen untersuchen

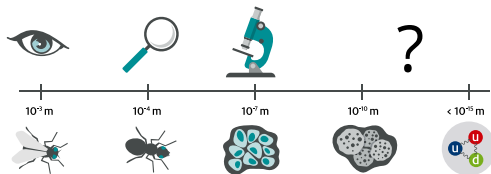
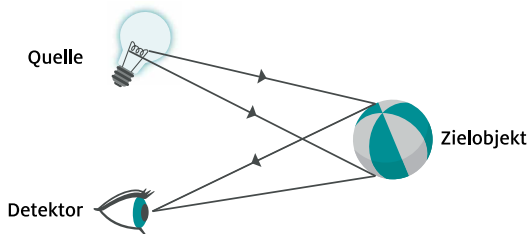
Drei Komponenten

- Projektile (Licht)
- Untersuchungs-Objekt (Ball)
- Detektor (Auge)



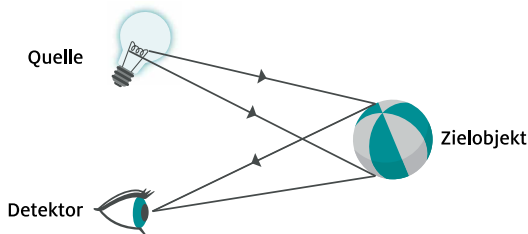
Drei Komponenten

- Projektile (Licht)
- Untersuchungs-Objekt (Ball)
- Detektor (Auge)



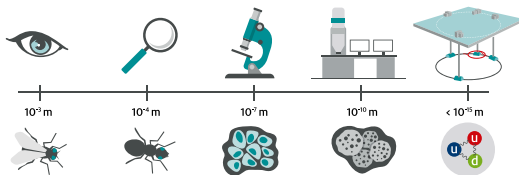
Drei Komponenten

- Projektile (Licht)
- Untersuchungs-Objekt (Ball)
- Detektor (Auge)

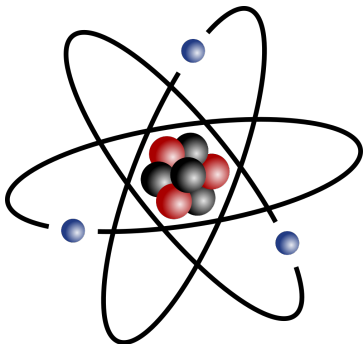


Auflösung

- Auflösung $\lambda \propto 1/E_{\text{Projektile}}$
- $\lambda_{\text{optisches Licht}} \simeq 400 \text{ nm}$
- **Höhere Energie**
⇒ **kleinere Teilchen**



- In “normaler” Materie:
Up, Down, Elektron
- Wie erzeugen wir andere Teilchen?



Neue Teilchen erzeugen

Wie macht man das?



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

- In “normaler” Materie:
Up, Down, Elektron
- Wie erzeugen wir andere Teilchen?
- Einstein: Masse ist auch nur Energie!

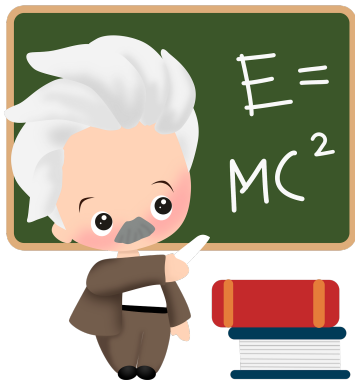


Neue Teilchen erzeugen

Wie macht man das?



- In “normaler” Materie:
Up, Down, Elektron
 - Wie erzeugen wir andere Teilchen?
 - Einstein: Masse ist auch nur Energie!
- ⇒ Energie in Masse umwandeln
- **Höhere Energie** ⇒ **schwerere Teilchen**



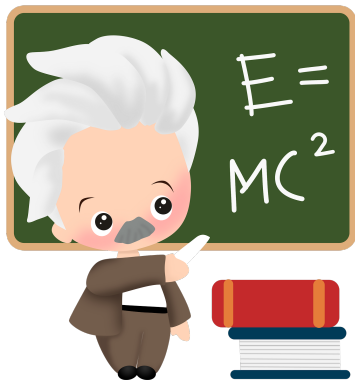
Neue Teilchen erzeugen

Wie macht man das?



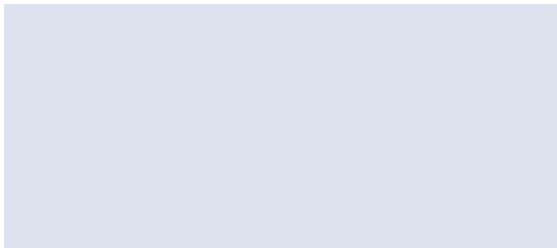
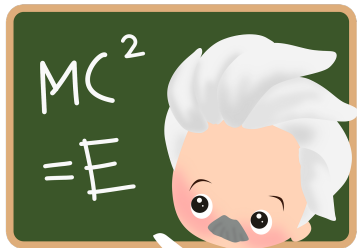
GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

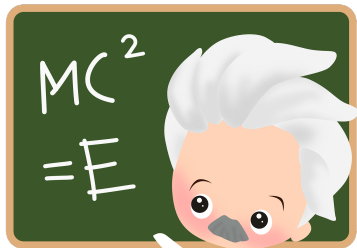
- In “normaler” Materie:
Up, Down, Elektron
 - Wie erzeugen wir andere Teilchen?
 - Einstein: Masse ist auch nur Energie!
- ⇒ Energie in Masse umwandeln
- **Höhere Energie** ⇒ **schwerere Teilchen**
 - z.B. $e^+e^- \rightarrow Z^0$
- ⇒ Ladungen bleiben erhalten!



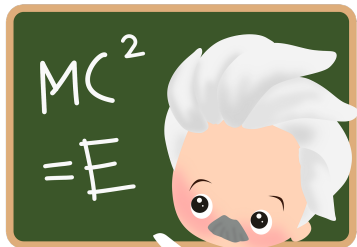
e^+

e^-

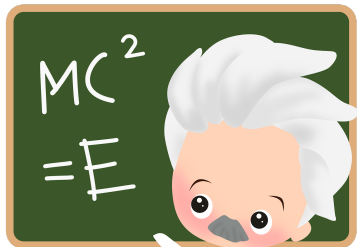




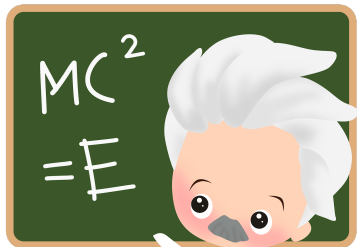
- $Mc^2 \rightarrow m_1c^2 + m_2c^2 + E_{kin}$



- $Mc^2 \rightarrow m_1c^2 + m_2c^2 + E_{kin}$
- Schwere Teilchen
⇒ viel Energie (viele Möglichkeiten)
⇒ kurze Lebenszeit



- $Mc^2 \rightarrow m_1c^2 + m_2c^2 + E_{kin}$
- Schwere Teilchen
⇒ viel Energie (viele Möglichkeiten)
⇒ kurze Lebenszeit
- **Schwere Teilchen ⇒ höhere Energie**



- $Mc^2 \rightarrow m_1c^2 + m_2c^2 + E_{kin}$
- Schwere Teilchen
⇒ viel Energie (viele Möglichkeiten)
⇒ kurze Lebenszeit
- **Schwere Teilchen** ⇒ **höhere Energie**
- Gesamt-Ladungen bleiben erhalten!

Das CERN und der LHC

Der LHC

Am CERN



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



©Google Maps

Der LHC

Am CERN



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



©Google Maps

Der LHC

Am CERN



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



Der LHC

Am CERN



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



<https://natronics.github.io/science-hack-day-2014/lhc-map/>

Was sind CERN/LHC?

Einige Fakten



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

CERN

- 1954 gegründet
- 23 Mitgliedsstaaten,
aber 85 Nationen
- Nicht nur der LHC!
- Geburtsort von Touchscreens,
PET-Scannern, des www's, ...



©M Brice/CERN



(CC-BY-2.0) Adam Szedlak

Was sind CERN/LHC?

Einige Fakten



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

CERN

- 1954 gegründet
- 23 Mitgliedsstaaten, aber 85 Nationen
- Nicht nur der LHC!
- Geburtsort von Touchscreens, PET-Scannern, des www's, ...



© M Brice/CERN



LHC

- Größtes Experiment der Welt
- Riesiger Stromverbrauch (ca. 800.000 MWh/a)
- Göttingen: ca. 900.000 MWh/a



(CC-BY-2.0) Adam Szedlak



<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?oldid=299357649>

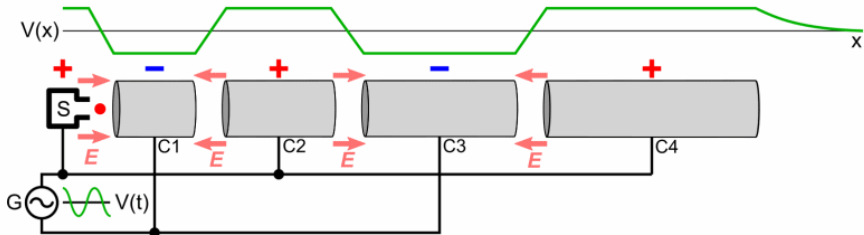
Wie lange reicht diese (5kg) H₂-Flasche?



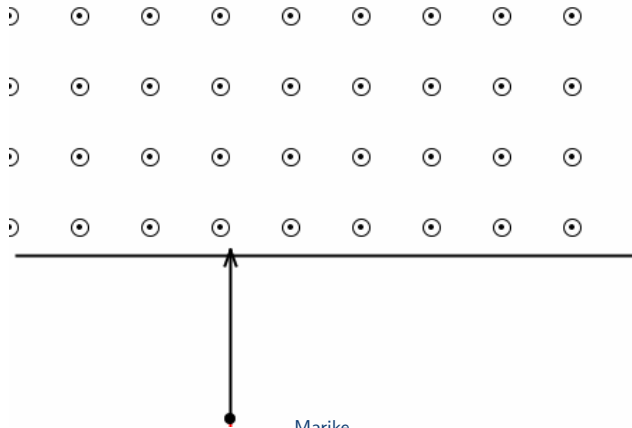
Wie lange reicht diese (5kg) H₂-Flasche?

⇒ theoretisch rund 4×10^9 Jahre!

- Elektrisches Wechselfeld
 - ⇒ Gleiche Ladungen ziehen sich an
 - ⇒ Unterschiedliche Ladungen stoßen sich ab
 - ⇒ In den Röhren abgeschirmt
- Umpolung synchron zum Durchflug



- homogenes Magnetfeld
 - ⇒ Ablenkung geladener Teilchen durch Lorentzkraft
 - ⇒ Richtung abhängig von Ladung
 - ⇒ Kreisbahn im Magnetfeld



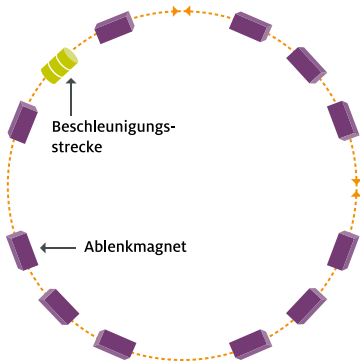
- Teilchen beschleunigen
⇒ Elektrische Felder



Beschleunigungs-
strecke

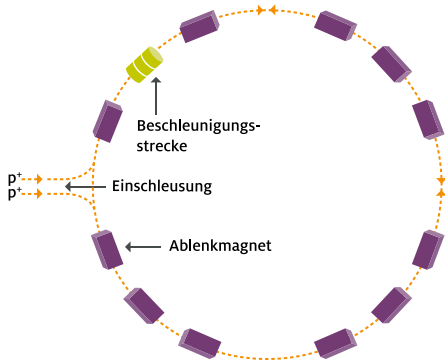
©Netzwerk Teilchenwelt

- Teilchen beschleunigen
⇒ Elektrische Felder
- Mehrfach beschleunigen
⇒ Kreisbahn



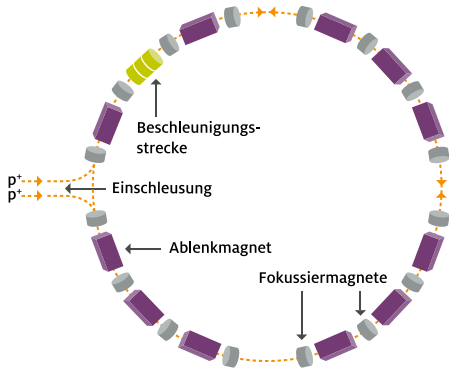
©Netzwerk Teilchenwelt

- Teilchen beschleunigen
⇒ Elektrische Felder
- Mehrfach beschleunigen
⇒ Kreisbahn
- Ladung auf Kreis halten?
⇒ Magnete



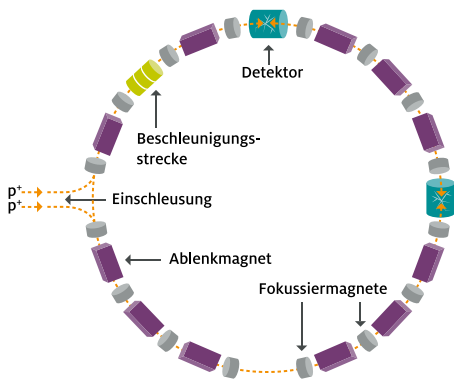
©Netzwerk Teilchenwelt

- Teilchen beschleunigen
⇒ Elektrische Felder
- Mehrfach beschleunigen
⇒ Kreisbahn
- Ladung auf Kreis halten?
⇒ Magnete



©Netzwerk Teilchenwelt

- Teilchen beschleunigen
⇒ Elektrische Felder
- Mehrfach beschleunigen
⇒ Kreisbahn
- Ladung auf Kreis halten?
⇒ Magnete
- Kollision an bestimmten Punkten
⇒ Detektoren



©Netzwerk Teilchenwelt

Bahnradius:

$$R = \frac{pT}{B \cdot q}$$

⇒ Wir brauchen starke Magneten!

Die LHC Magnete

- Super stark:
8,6 T Magnetfeldstärke
- Super kalt:
⇒ Helium-gekühlt 1,9 K
(Universum: 2,7 K)
- Supraleitend:
⇒ Kein elektrischer Widerstand



©CERN



©CERN

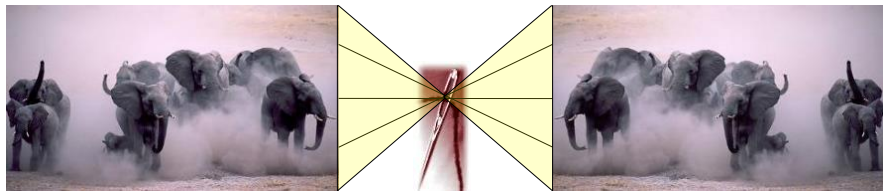
- 7 TeV pro Proton (= 7.000.000.000.000 eV)
- Eine Geschwindigkeit von 0,999999991 c
⇒ Ein Run (10 h): Einmal durchs ganze Sonnensystem!

- 7 TeV pro Proton (= 7.000.000.000.000 eV)
- Eine Geschwindigkeit von 0,999999991 c
⇒ Ein Run (10 h): Einmal durchs ganze Sonnensystem!
- $\sim 10^{11}$ Protonen pro Paket



120 Elefanten mit 40 km/h

- 7 TeV pro Proton (= 7.000.000.000.000 eV)
- Eine Geschwindigkeit von 0,999999991 c
⇒ Ein Run (10 h): Einmal durchs ganze Sonnensystem!
- $\sim 10^{11}$ Protonen pro Paket
- Wie häufig kollidieren die?

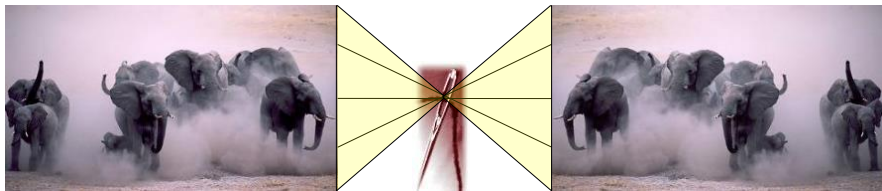


120 Elefanten mit 40 km/h

Nadelöhr:
0.3 mm Durchmesser
Protonstrahlen am Kollisionspunkt:
0.03 mm Durchmesser

120 Elefanten mit 40 km/h

- 7 TeV pro Proton (= 7.000.000.000.000 eV)
- Eine Geschwindigkeit von 0,999999991 c
⇒ Ein Run (10 h): Einmal durchs ganze Sonnensystem!
- $\sim 10^{11}$ Protonen pro Paket
- Wie häufig kollidieren die?
- ⇒ 40.000.000 Paket-Kreuzungen pro Sekunde!



120 Elefanten mit 40 km/h

Nadelöhr:
0.3 mm Durchmesser
Protonstrahlen am Kollisionspunkt:
0.03 mm Durchmesser

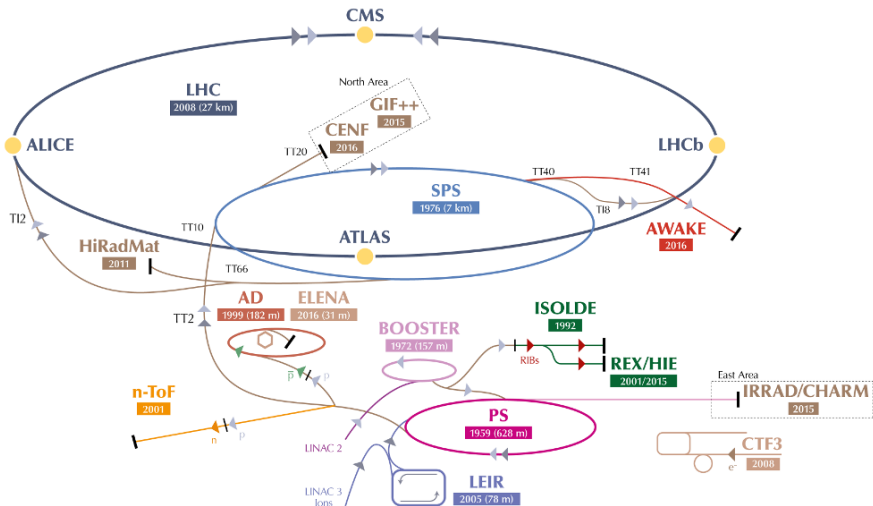
120 Elefanten mit 40 km/h

Die CERN Beschleuniger

Die Realität ist komplexer



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



[Startseite](#) » [Physik](#) » Future Circular Collider: CERN will den Riesenbeschleuniger

News
19.06.2020
Lesedauer ca. 1
Minute
[Drucken](#)
[Teilen](#)

CERN

Ein Riesenbeschleuniger soll den LHC ablösen

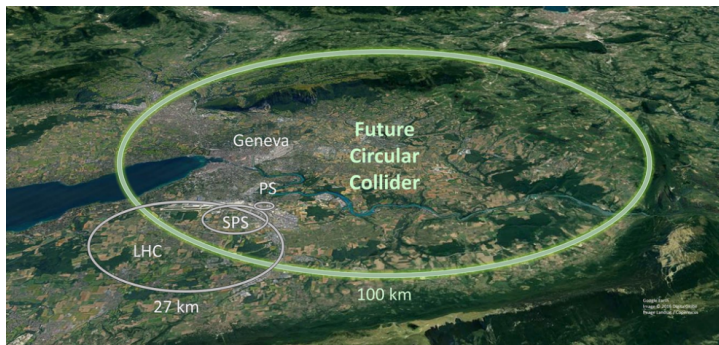
In Genf könnten in Zukunft Teilchen bei nie da gewesenen Energien aufeinanderprallen: Der Rat des Forschungszentrums empfiehlt den Bau eines Beschleunigers der Superlative.

von [Jan Döniges](#)



© MAXIMILIEN BRICE, CERN / LHC TUNNEL / CC BY-SA 4.0 [CC BY-SA](#) (AUSCHNITT)

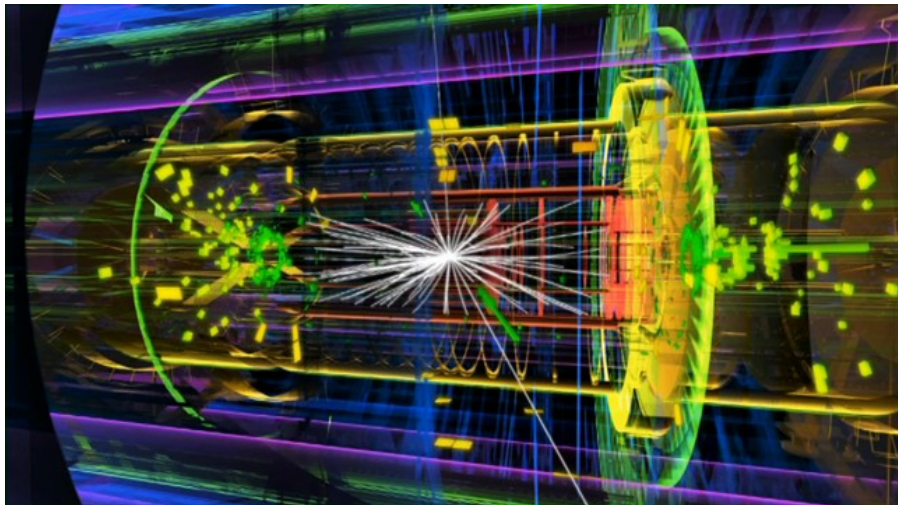
<https://www.spektrum.de>



© PANAGIOTIS CHARITOS, CERN (AUSSCHNITT)

Future Circular Collider | Der FCC soll einen Umfang von 100 Kilometern haben – die maximal denkbare Größe für einen Kreisbeschleuniger im Genfer Seebecken.

<https://www.spektrum.de>



©CERN (Video online)













ATLAS

Die ATLAS Collaboration

...hat wie viele Autoren?!?



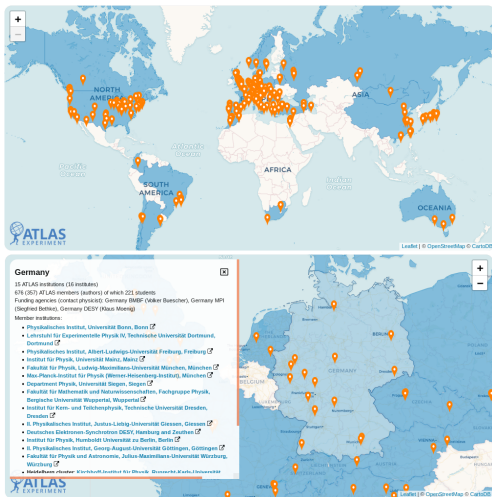
GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



A Toroidal LHC Apparatus

- 1992 gegründet
- 38 Länder
- 181 Institute
- ~3.000 Wissenschaftler
- davon ~1.200 Doktoranden



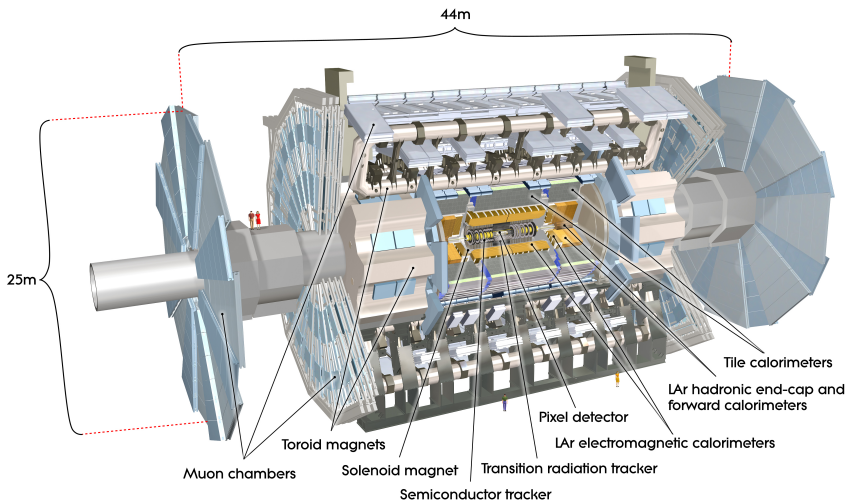
<https://atlas.cern/discover/collaboration>

Der ATLAS Detektor

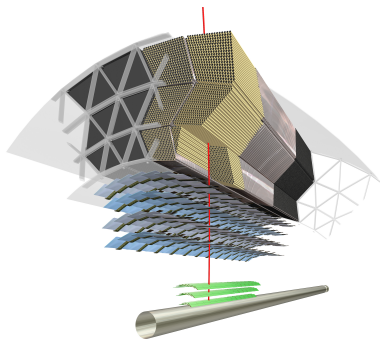
Überblick



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



- Für: elektrisch geladene Teilchen
- Ionisation im Material
 - ⇒ Strom
 - ⇒ Messung
- Verbinden der “Treffer” zu Spuren



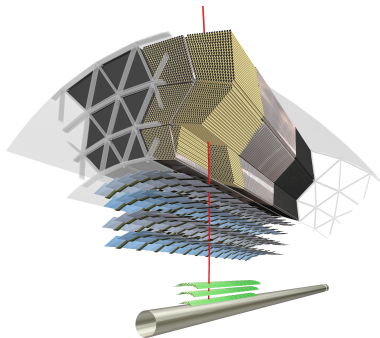
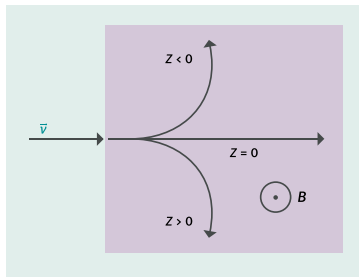
©CERN

Was misst ATLAS?

Spurdetektoren



- Für: elektrisch geladene Teilchen
- Ionisation im Material
 - ⇒ Strom
 - ⇒ Messung
- Verbinden der "Treffer" zu Spuren
- mit Magnetfeld (2T)
 - ⇒ $R = \frac{p_T}{qB}$
 - ⇒ Ladungs- und Impulsmessung



©CERN

Was misst ATLAS?

Kalorimeter



- Ganze Energie absorbiert
- “Schauer” neuer Teilchen
- Teilchen werden gestoppt



© Netzwerk Teilchenwelt

Was misst ATLAS?

Kalorimeter



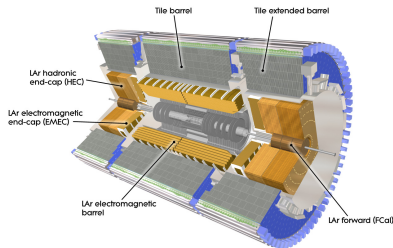
- Ganze Energie absorbiert
- “Schauer” neuer Teilchen
- Teilchen werden gestoppt

Inneres vs. Äußeres

- ATLAS hat zwei Kalorimeter
 - Für stark-wechselwirkende Teilchen (bestehen aus Quarks)
 - Schwerer zu stoppen
- ⇒ Spezielles Kalorimeter weiter außen



© Netzwerk Teilchenwelt



©CERN

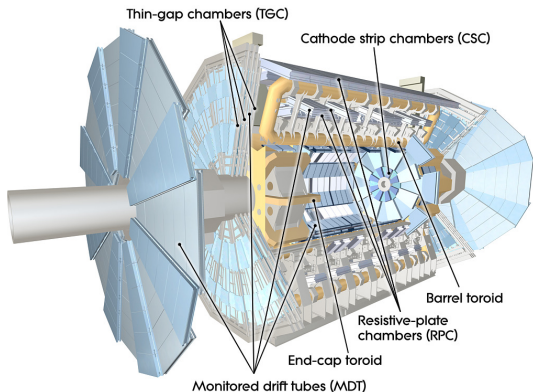
Was misst ATLAS?

Myon-Kammern



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

- Zusätzliche Spurdetektoren außerhalb der Kalorimeter
- Speziell für Myonen
- “Minimal ionisierend”
⇒ Werden nicht gestoppt



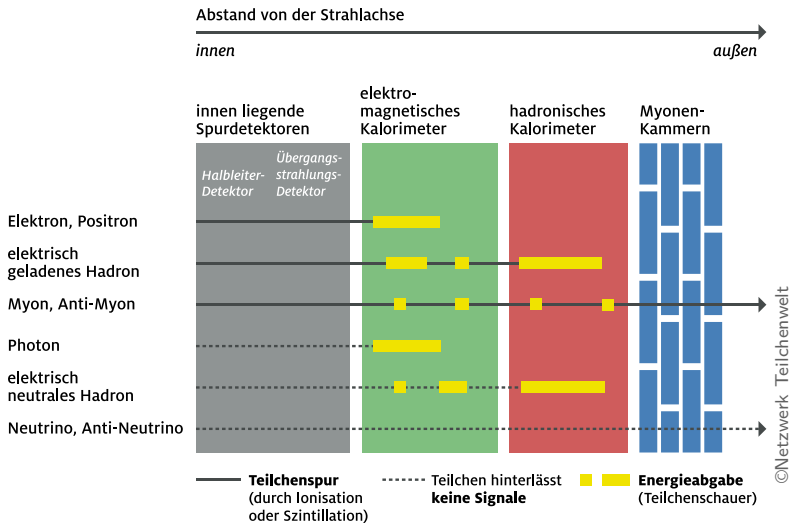
©CERN

Der ATLAS Detektor

Als Schema



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN



Teilchenphysik: Überblick über den Detektor

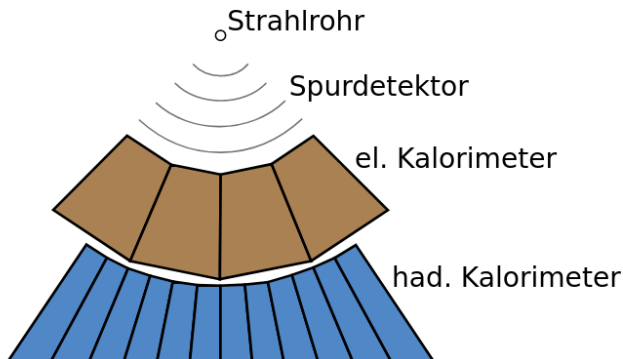
Einführung

Spurdetektor

Kalorimeter

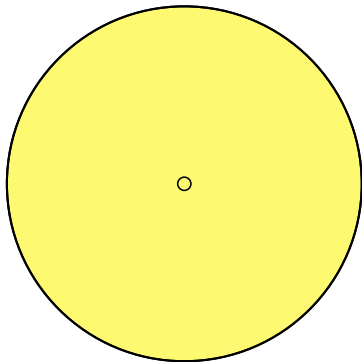
Myon-Kammern

Auswertung



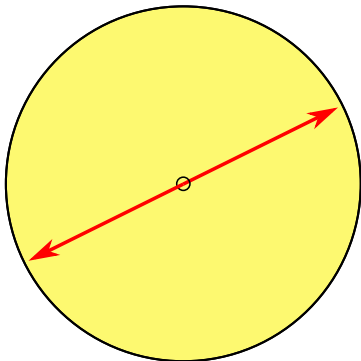
Energieerhaltung

- Gesamtimpuls vor und nach der Kollision gleich



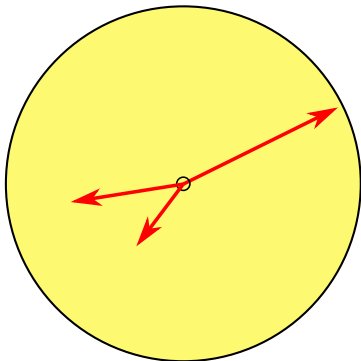
Energieerhaltung

- Gesamtimpuls vor und nach der Kollision gleich
- Impulse in unterschiedliche Richtungen müssen sich ausgleichen



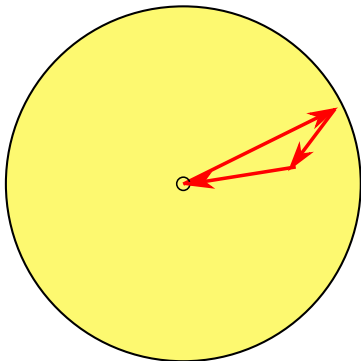
Energieerhaltung

- Gesamtimpuls vor und nach der Kollision gleich
- Impulse in unterschiedliche Richtungen müssen sich ausgleichen



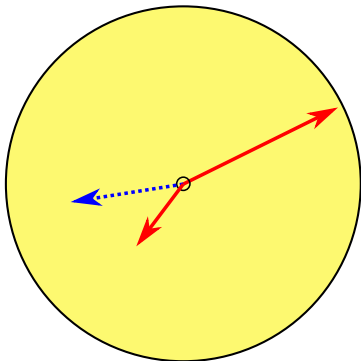
Energieerhaltung

- Gesamtimpuls vor und nach der Kollision gleich
- Impulse in unterschiedliche Richtungen müssen sich ausgleichen



Energieerhaltung

- Gesamtimpuls vor und nach der Kollision gleich
- Impulse in unterschiedliche Richtungen müssen sich ausgleichen
- “Unsichtbares” wird sichtbar als Ungleichgewicht
⇒ Neutrinos



Anhang

CERN

- Jahresbudget: ~1 Milliarde €
- Davon ca. 20% von Deutschland bezahlt

LHC

- Baukosten: ~3 Milliarden €
- Teile und Tunnel früherer Experimente wiederverwendet

ATLAS

- Finanziert von den 180 Mitglieds-Instituten
- Detektorkosten: ~0,5 Milliarden €
- “Dezentral” in den Instituten gebaut