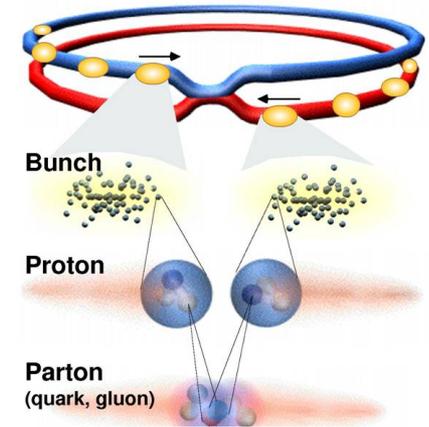


Elementarteilchenphysik an der Bergischen Universität

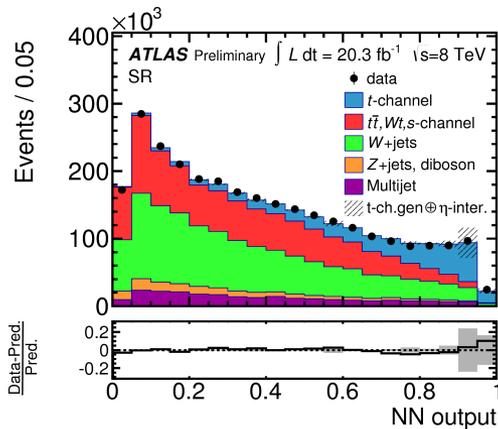
The image shows a dense array of cables and a central detector component. The cables are bundled and color-coded, with many yellow and white ones on the left and black ones on the right. The central component is a cylindrical detector with a grid of orange and white elements. A gauge is visible on the left side of the detector. The entire setup is mounted on a metal frame.

Wolfgang Wagner
Schülerinfotag 18.01.2017

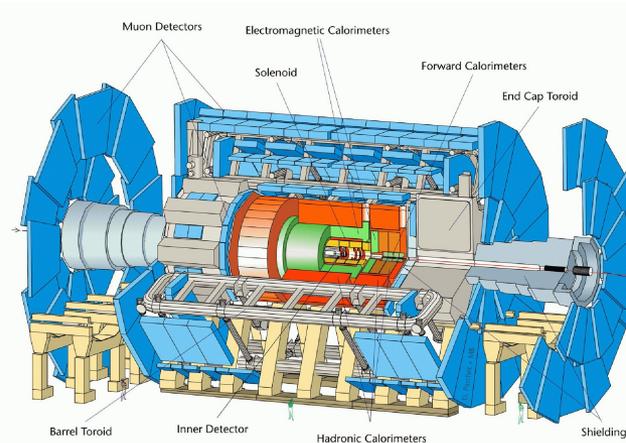
- 1) Protonkollisionen am LHC
- 2) Warum wird weiter geforscht?
Die offenen Fragen der Teilchenphysik.
- 3) Nachweis von Teilchen mit Detektoren
- 4) Forschung in Wuppertal



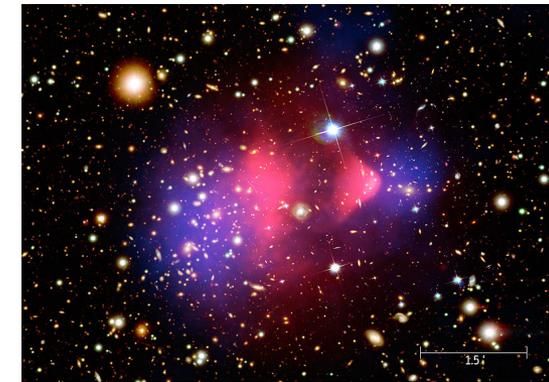
Proton-Proton-Kollisionen



Datenanalyse

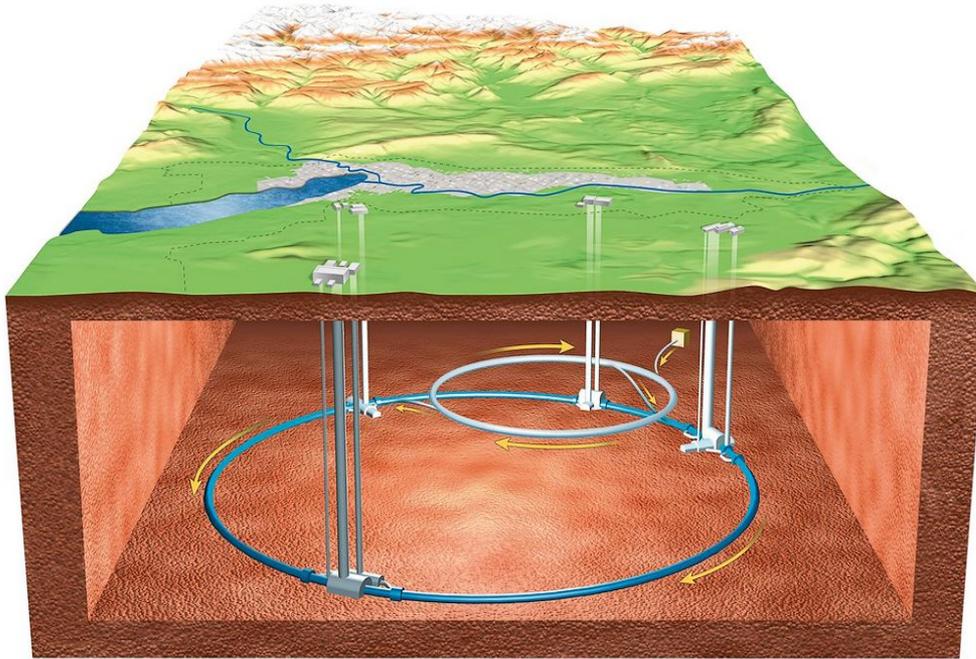


ATLAS-Detektor



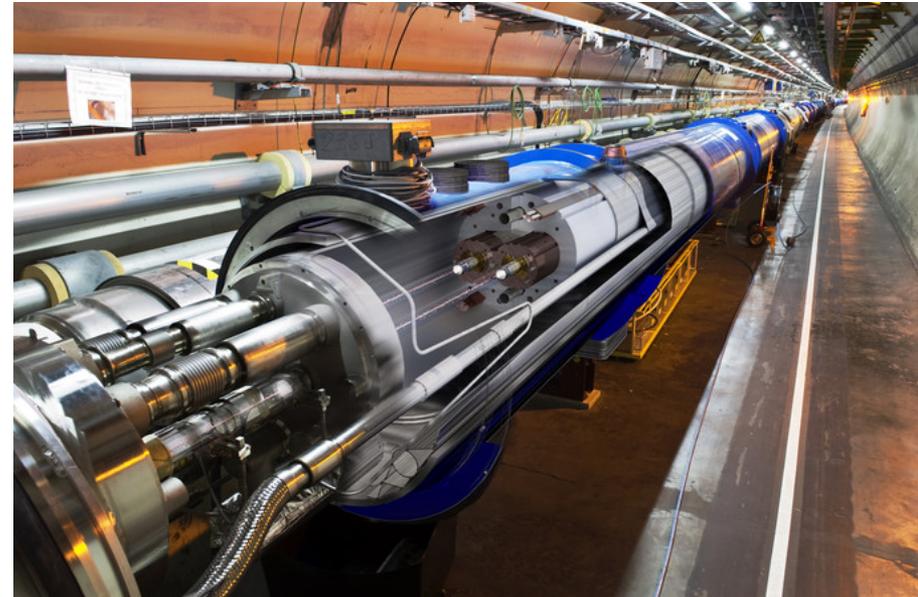
Offene Fragen: z.B.
Dunkle Materie

Der Large Hadron Collider (LHC)

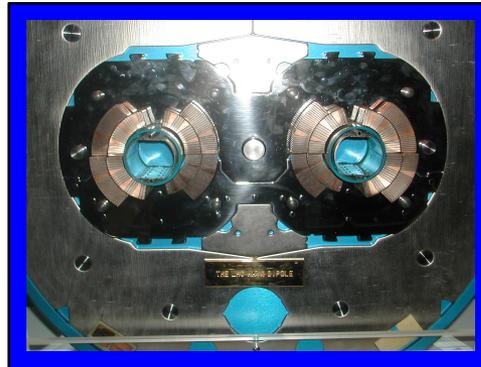


- Der leistungsstärkste Beschleuniger der Welt: im Tunnel am CERN mit 27 km Umfang
- Zwei gegenläufige Protonenstrahlen: machen 10.000 Runden / Sekunde
- Kollisionen an 4 Punkten mit Rekordenergie von 13 TeV, wie 10^{-13} - 10^{-14} s nach dem Urknall

- Jeder Strahl hat ca. 2100 Protonenpakete
- 100 Milliarden Protonen pro Paket (klingt viel, aber $1 \text{ mol} = 6 \cdot 10^{23}$)



Komponenten des LHC (Prinzip)



Dipolmagnete lenken die Strahlen ab

Protonen werden vom Vorbeschleuniger eingespeist

p^+
 p^+

Einschleusung

Beschleunigung in Hohlraumresonatoren



Detektor

Beschleunigungsstrecke

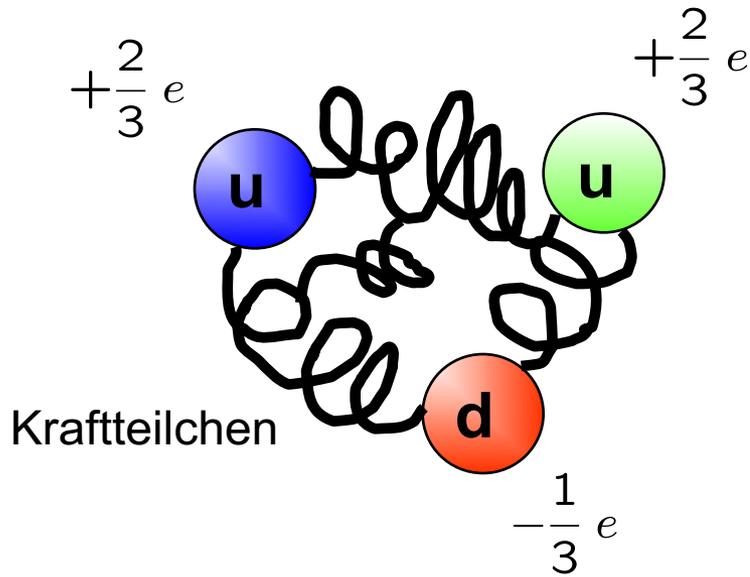
LHC

Ablenkmagnet

Fokussiermagnete

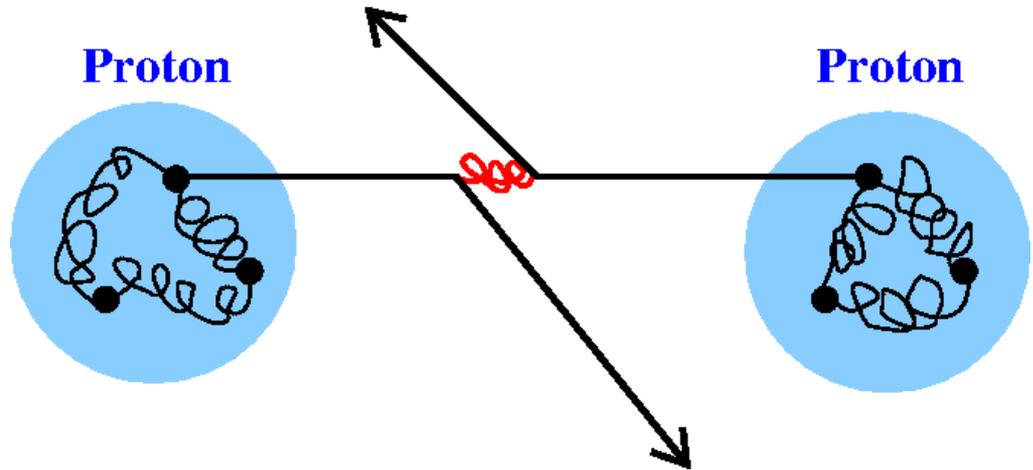
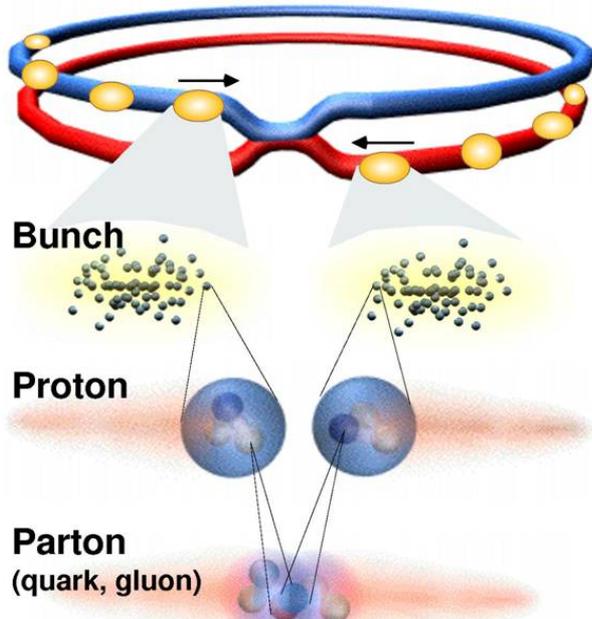


Fokussierung senkrecht zur Strahlrichtung mit Quadrupolmagneten (magnetische Linsen)



Vereinfachte Vorstellung:

Proton besteht aus drei Quarks, die durch **Kraftteilchen (Gluonen)** aneinander gebunden werden.

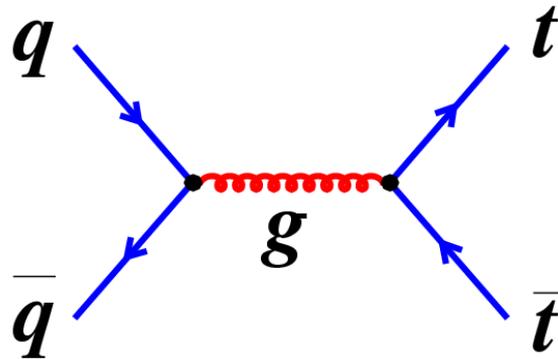


Kernaussagen des Partonmodells:

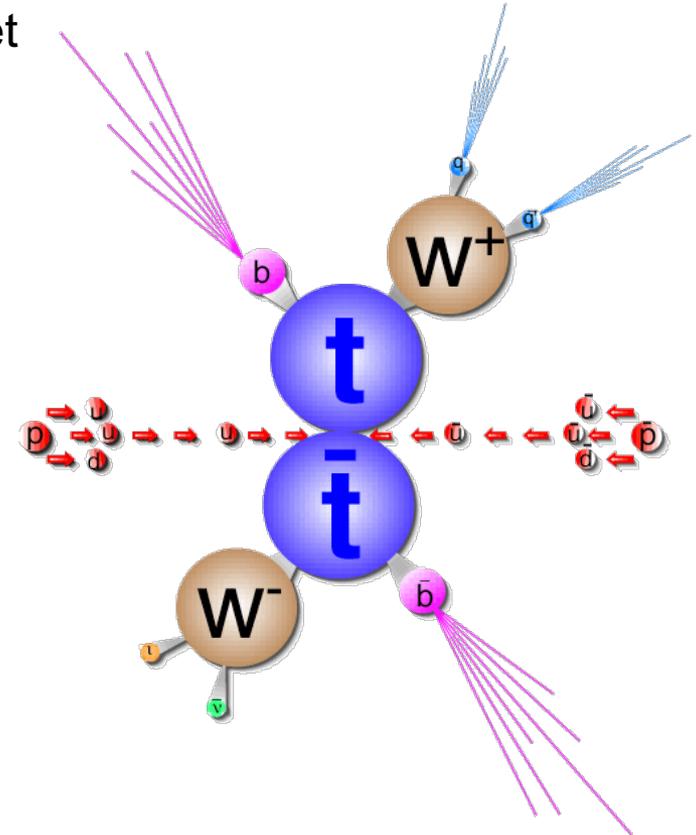
- Protonen bestehen aus **quasi-freien Partonen** (Bausteinen): Quarks und Gluonen.
- Die harte Wechselwirkung (Austausch von viel Impuls) erfolgt zwischen den Partonen.

Wie kann man Teilchen erzeugen?

Beispiel: Top-Quark-Antiquark-Paarherzeugung



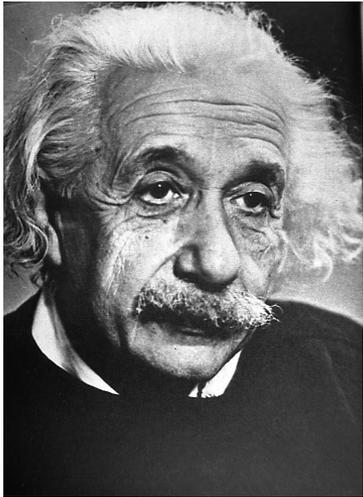
Jet



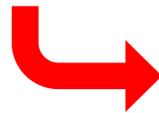
Erzeugung schwerer Teilchen:

$$m = E/c^2$$

Paarerzeugung: $E_{\text{CMS}} \geq 2 M \cdot c^2$

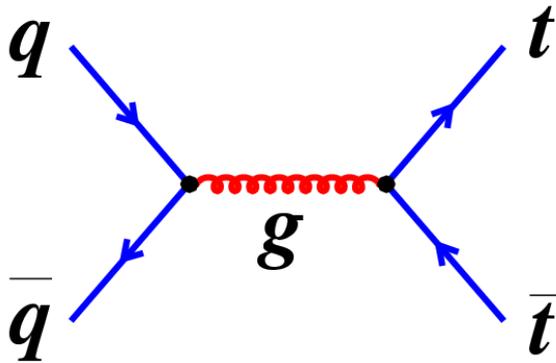


A. Einstein
1879 - 1955

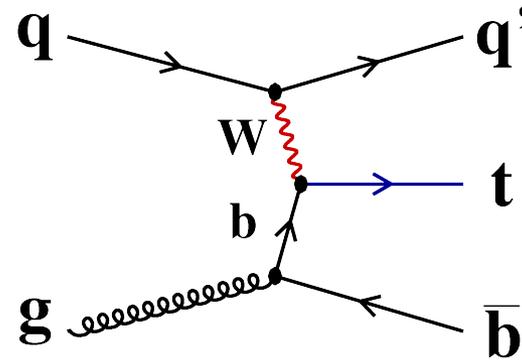


Protonen müssen auf sehr hohe Energie gebracht werden.

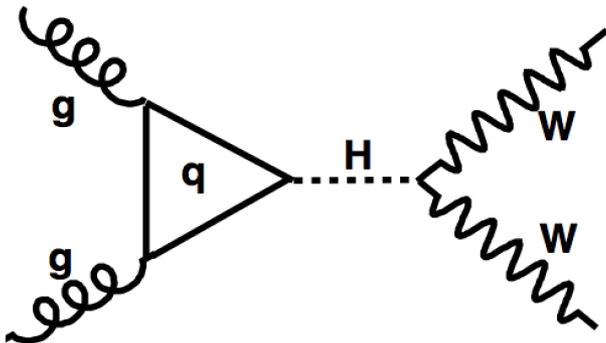
Jet



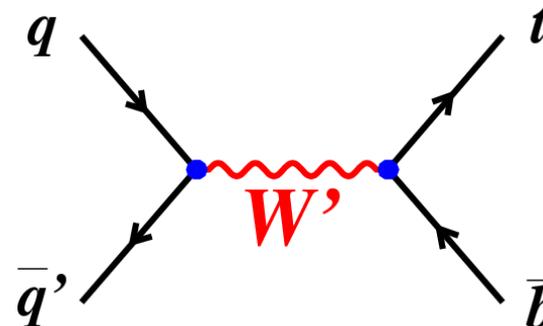
Top-Quark-Top-Antiquark-Paarproduktion



Einzel-Top-Quark-Produktion



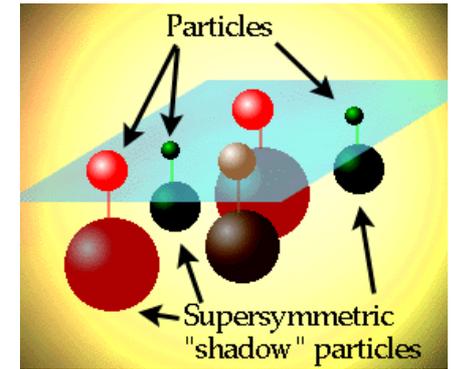
Higgs-Boson-Produktion



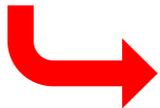
Produktion neuer (bisher unbekannter) Teilchen

Antworten auf die offenen Fragen

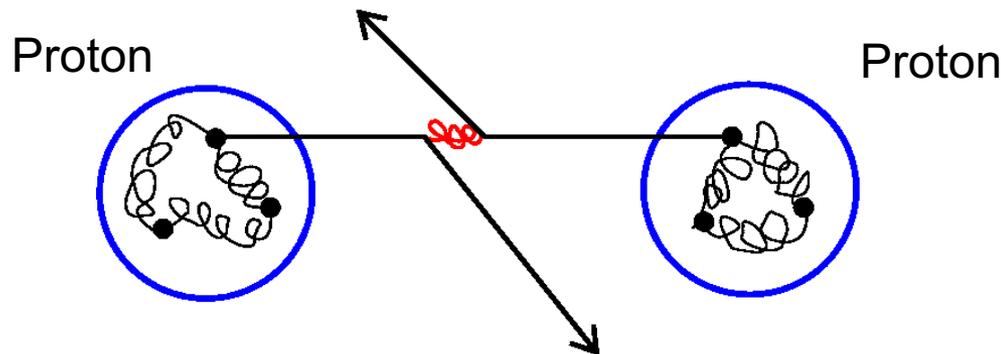
- Materie-Antimaterie-Asymmetrie
- Natur der Dunklen Materie
- Große Vereinheitlichung der Kräfte



erwartet man von bisher unbekanntem, sehr schweren Elementarteilchen,
z.B. weitere Kraftteilchen, Materieteilchen oder Higgs-Bosonen



Strategie der Teilchenphysiker:
Kollidiere normale Materieteilchen bei sehr hoher Energie, erzeuge
neue schwere Teilchen und beobachte sie mit Detektoren.



- Materie-Antimaterie-Asymmetrie im Universum:
Wie verschwand die Antimaterie kurz nach dem Urknall?



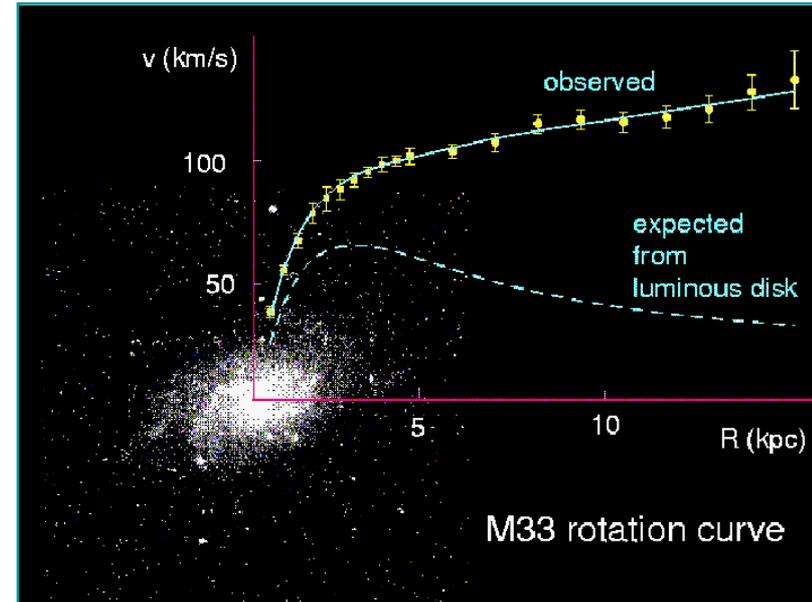
- Materie-Antimaterie-Asymmetrie im Universum
Wie verschwand die Antimaterie kurz nach dem Urknall?



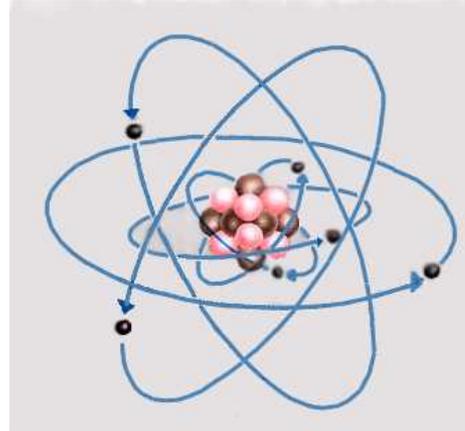
- Vielzahl von astronomischen Beobachtungen zeigt:

Es gibt fünfmal mehr Dunkle Materie im Universum als normale (baryonische) Materie.

z.B. Umlaufgeschwindigkeiten und -radien von Sternen in Spiralgalaxien ...



Atome sind neutral



Ladung des Elektrons ist exakt gleich der Ladung des Protons

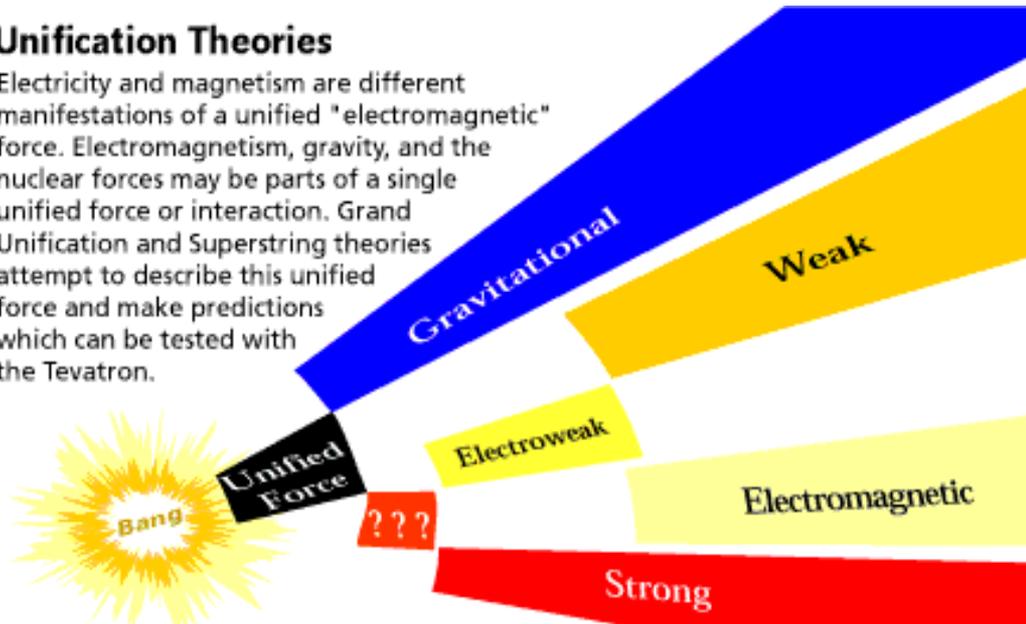
Warum?

Vorschlag: Vereinheitlichung der Kräfte

Gibt es eine verborgene Symmetrie zwischen Quarks und Leptonen?

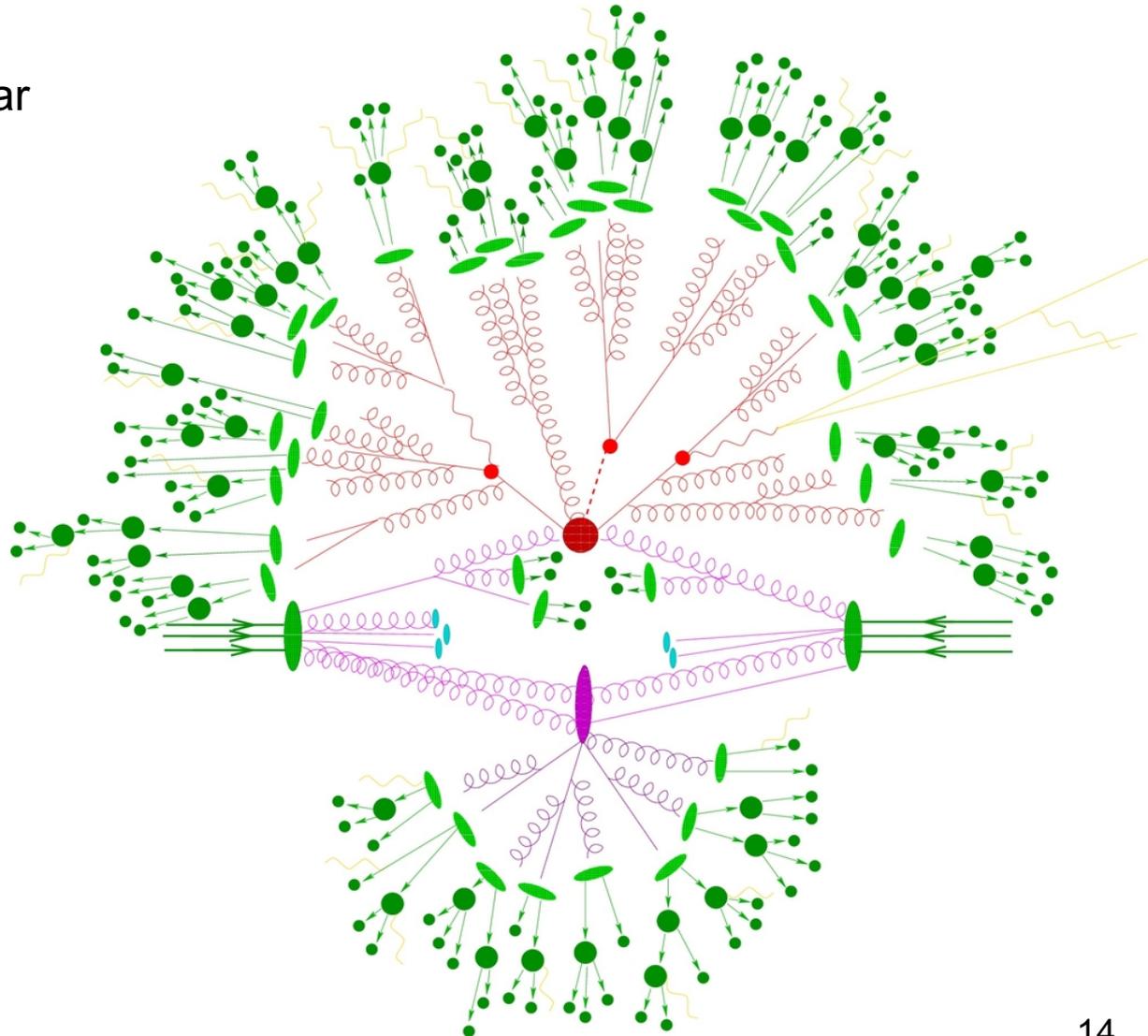
Unification Theories

Electricity and magnetism are different manifestations of a unified "electromagnetic" force. Electromagnetism, gravity, and the nuclear forces may be parts of a single unified force or interaction. Grand Unification and Superstring theories attempt to describe this unified force and make predictions which can be tested with the Tevatron.



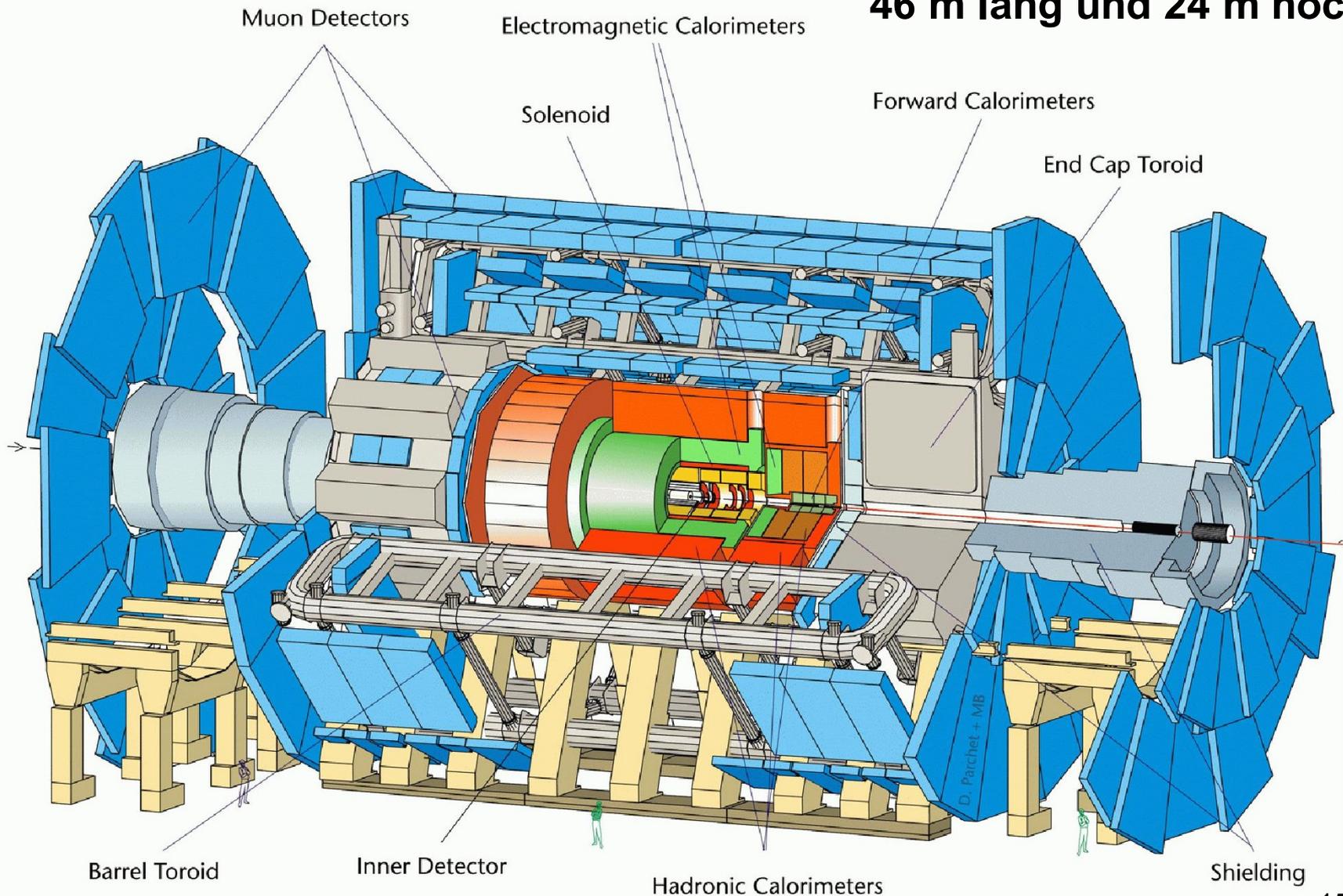
- Quarks, Gluonen und andere schwere Teilchen sind nicht direkt beobachtbar
- Nur wenige Teilchen sind stabil ($\tau > 10^{-10}$ s) und erreichen den Detektor.
 - Elektronen,
 - Myonen,
 - Photonen,
 - Pionen, Kaonen, Protonen, Δ -Baryonen

Schemabild eines Proton-Proton-Streuprozesses

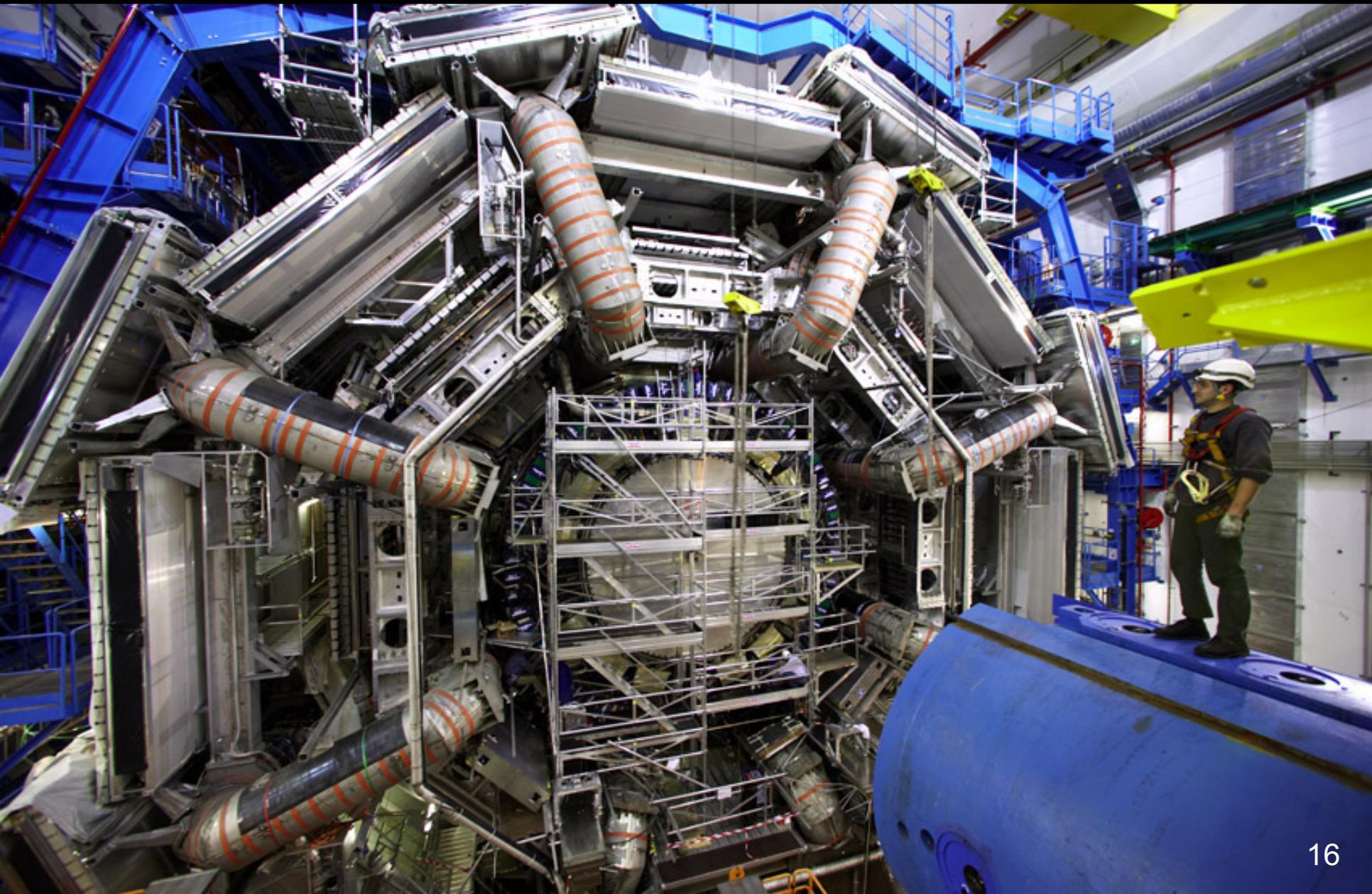


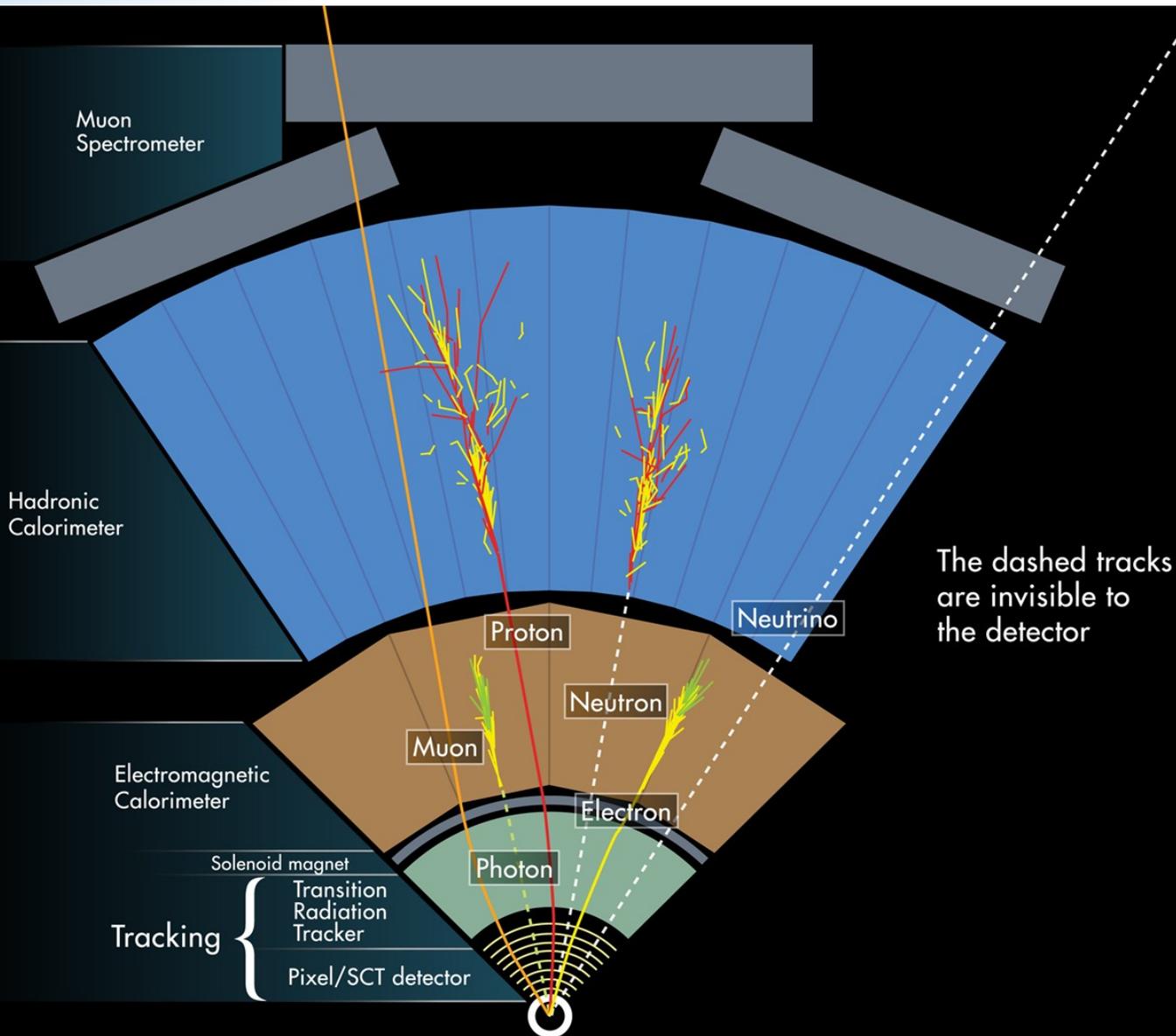
Unser "Mikroskop": Der ATLAS-Detektor

46 m lang und 24 m hoch



Der ATLAS-Detektor kurz vor der Vollendung





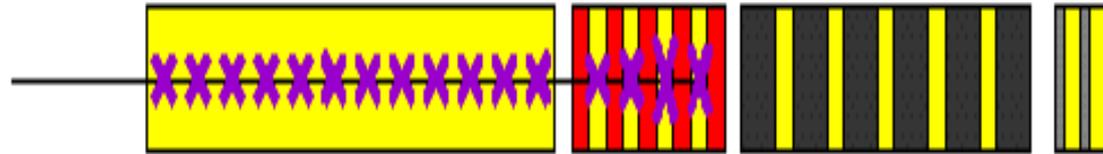
Myonen

Hadronen
(bestehen aus
Quarks)

Elektronen
und
Photonen

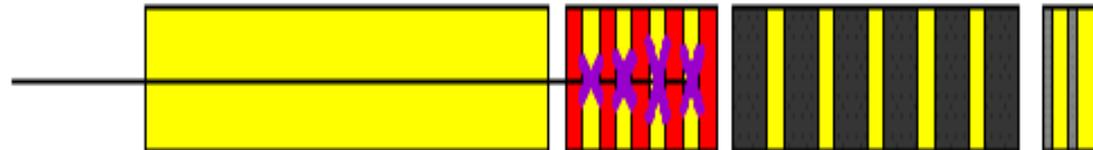
Alle
geladene
Teilchen

Elektron



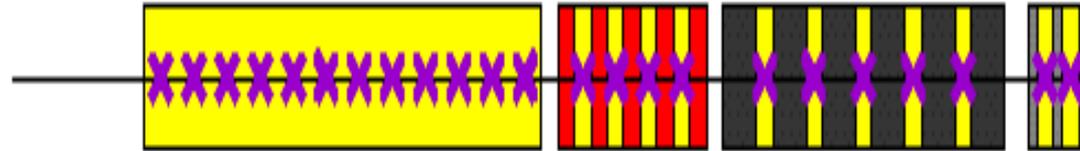
- Signale im Spurdetektor
- vollständige Energieabgabe im 1. (elektromagnetischen) Kalorimeter durch Kaskaden von Bremsstrahlung und Paarbildung

Photon



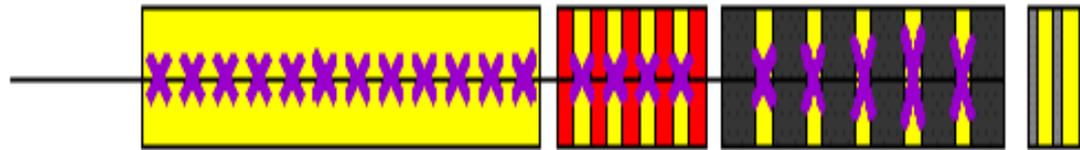
- Keine Signale in der Spurkammer
- vollständige Energieabgabe im 1. (elektromagnetischen) Kalorimeter durch Kaskaden von Paarerzeugung und Bremsstrahlung

Myon



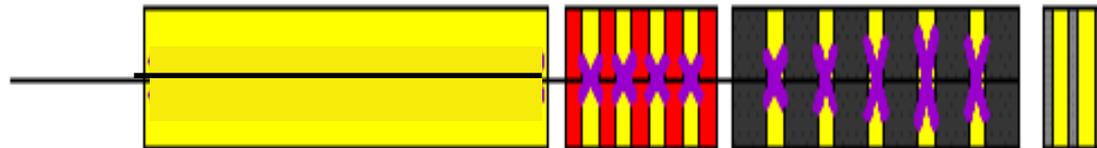
- Signale im Spurdetektor
- minimal-ionisierende Spur in den Kalorimetern
- Signale in Myon-Kammern

geladenes Hadron



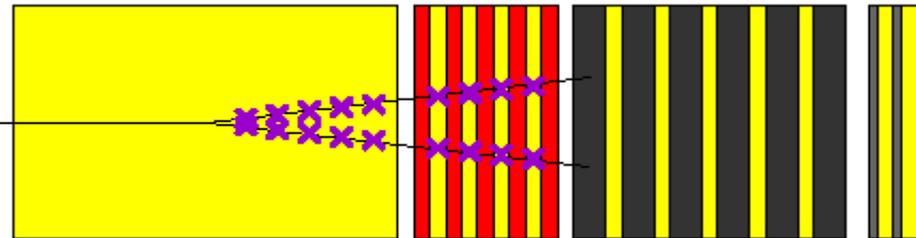
- Signale im Spurdetektor
- nur Ionisationsspur im 1. Kalorimeter
- vollständige Energieabgabe durch Kernwechselwirkungen im 2. (hadronischen) Kalorimeter

neutrales Hadron



- Wie geladenes Hadron, aber keine Spur im Spurdetektor.

kurzlebige Teilchen



zerfallen im Detektor in langlebige Teilchen.

Durch präzise Vermessung der Zerfallsorte und der Impulse der Zerfallsprodukte läßt sich die Ruhemasse rekonstruieren (wenn Teilchentyp der Zerfallsprodukte identifiziert ist)

Bsp.: Kaonen, gel. Pionen, Lambdas,
Sonderfall: Hadronen mit Charm oder Beauty

Z-Boson-Kandidat: $Z^0 \rightarrow e^+e^-$

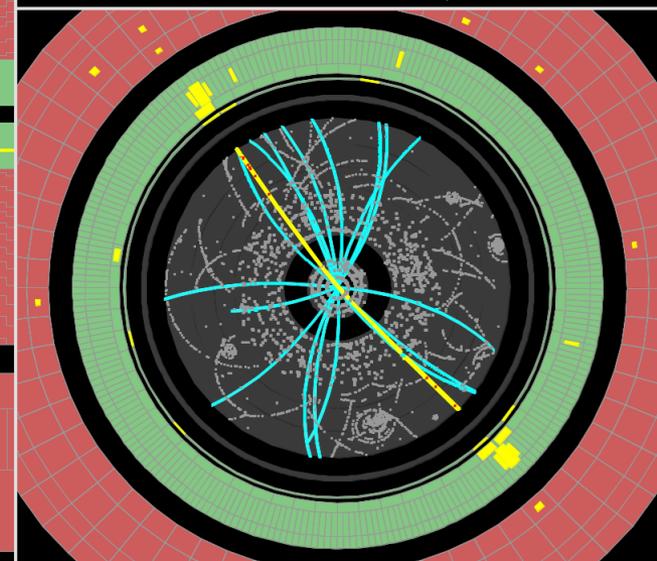
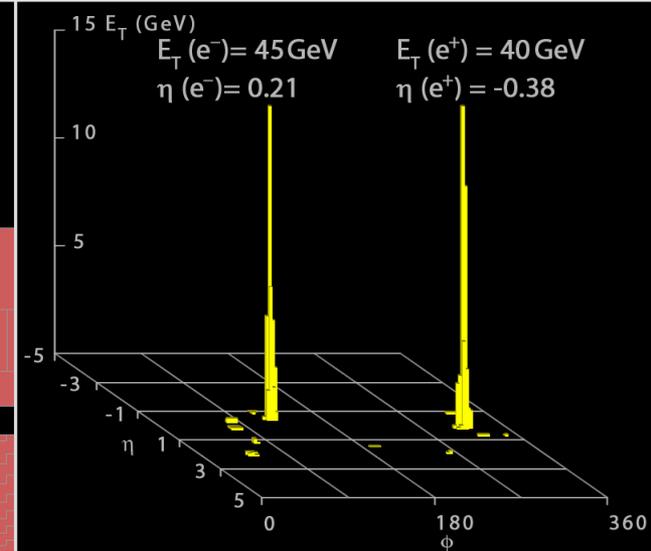
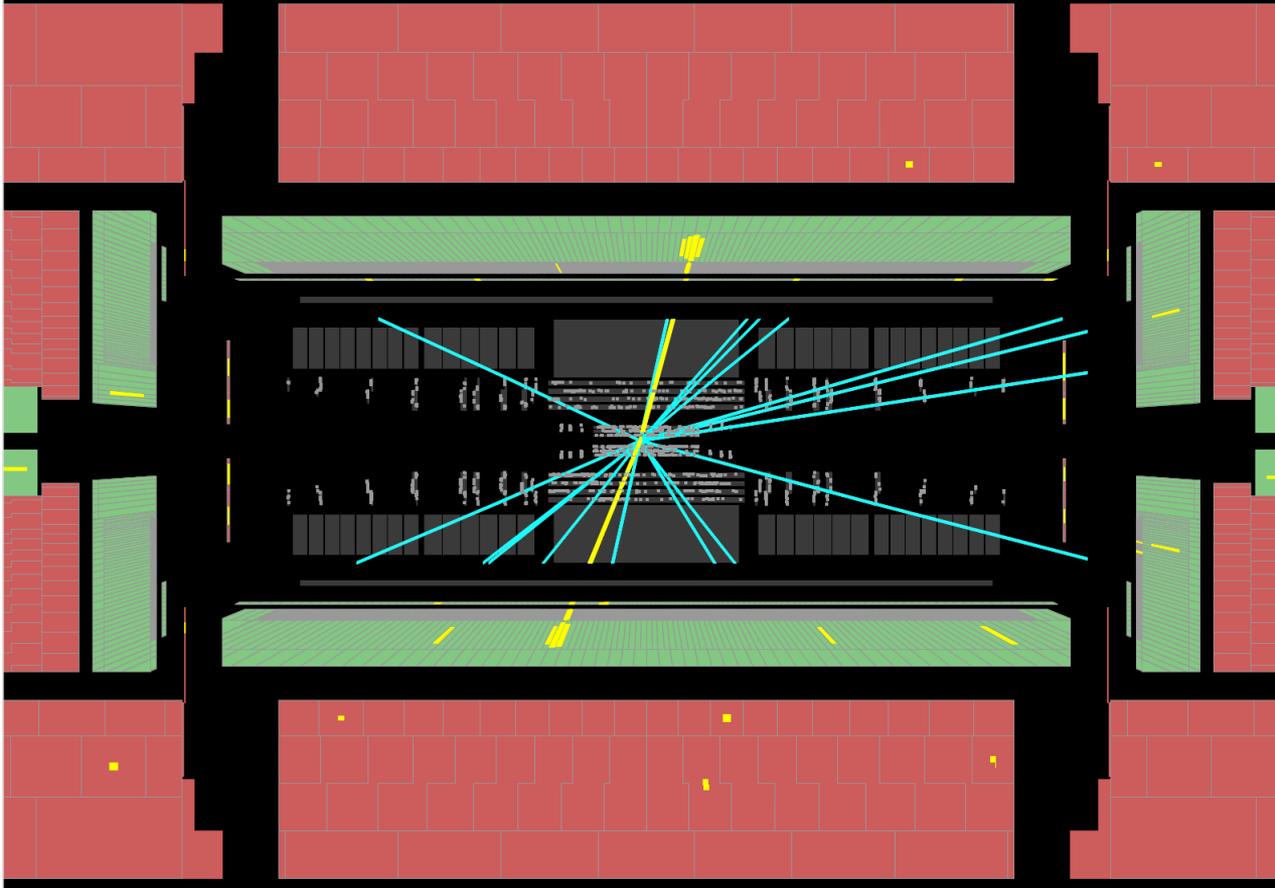


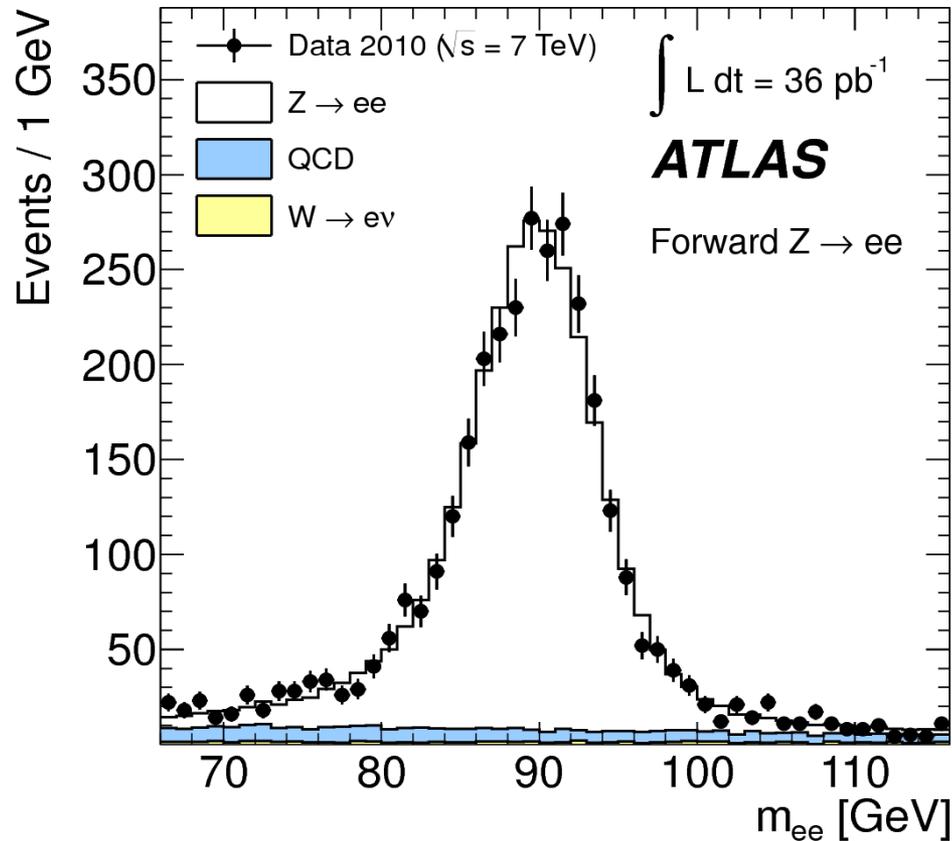
Run Number: 154817, Event Number: 968871

Date: 2010-05-09 09:41:40 CEST

$M_{ee} = 89 \text{ GeV}$

Z \rightarrow ee candidate in 7 TeV collisions



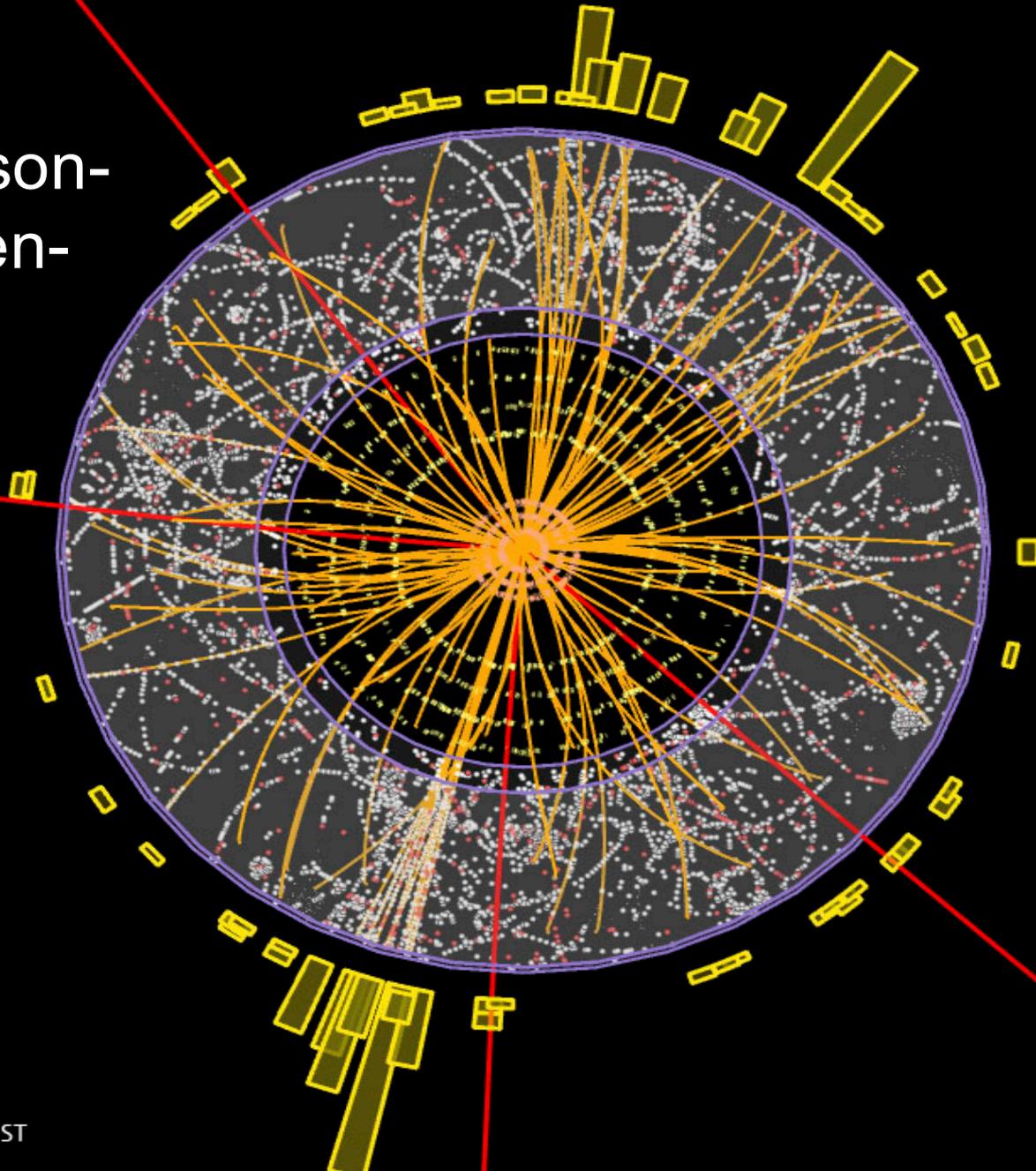


relativistische Energie-Impuls-Relation:

$$m^2 c^4 = E^2 - p^2 c^2$$

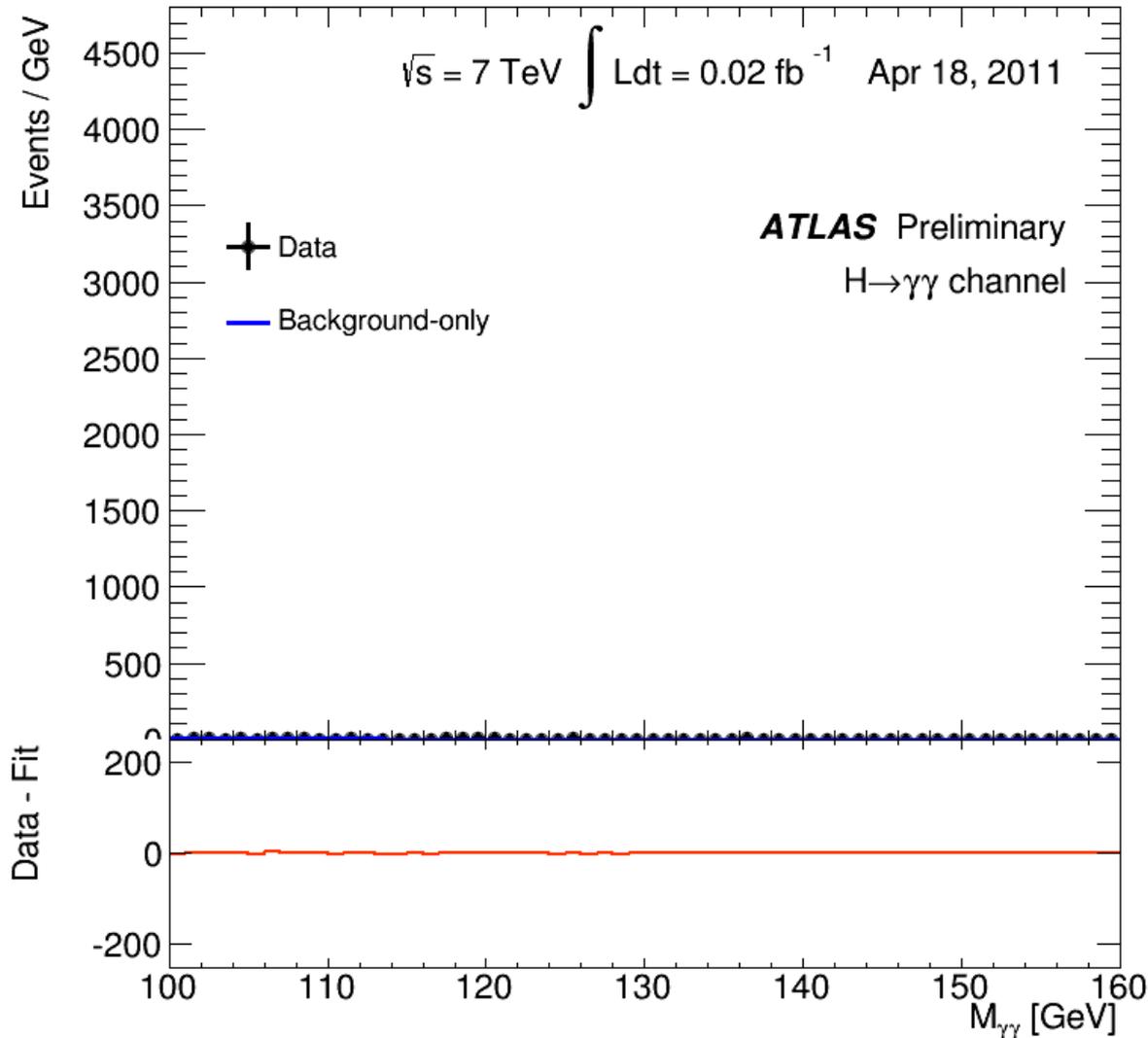
invariante Masse

Higgs-Boson-Kandidaten-Ereignis



ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

Run: 189280
Event: 143576946
2011-09-14 12:37:11 CEST



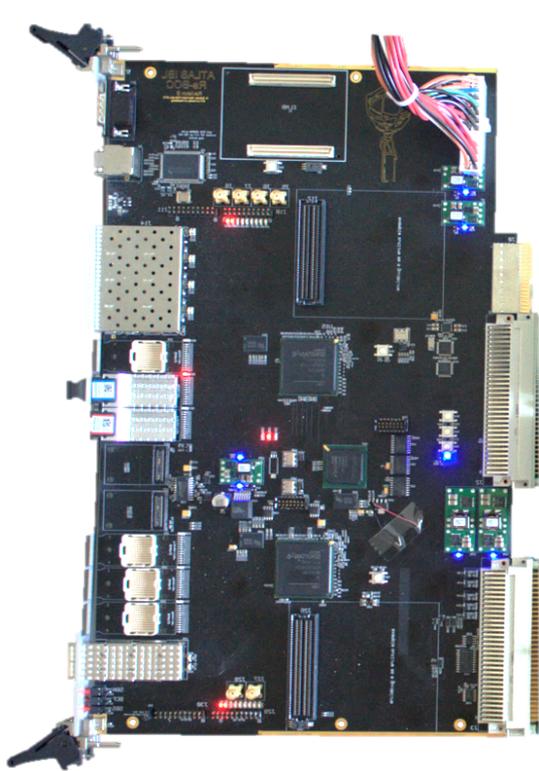
Benutzt ebenfalls Verteilung der invarianten Masse der beiden Photonen.

Addiere Energien und Impulse (Achtung Vektor) der Photonen und berechne:

$$m^2 c^4 = E^2 - p^2 c^2$$

Untergrund: abfallende „Exponentialfunktion“

Signal: Gaußfunktion zentriert bei Higgs-Boson-Masse

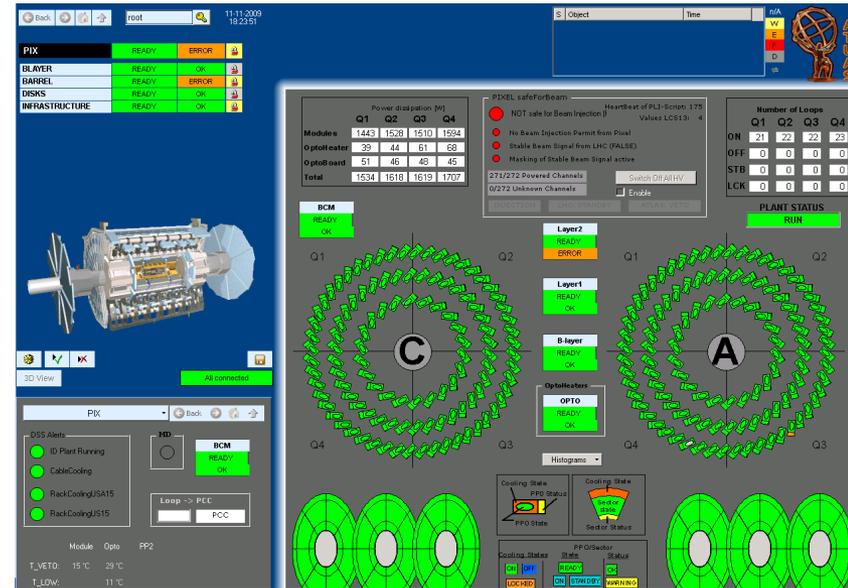


Detektorauslese mit hoher Bandbreite

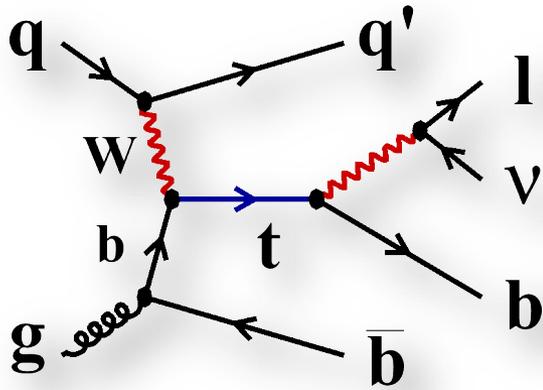


Tragestrukturen aus Kohlefaser-Verbundwerkstoffen

Detektorkontrollsystem:
Spannungen,
Ströme,
Temperaturen,
Luftfeuchtigkeit

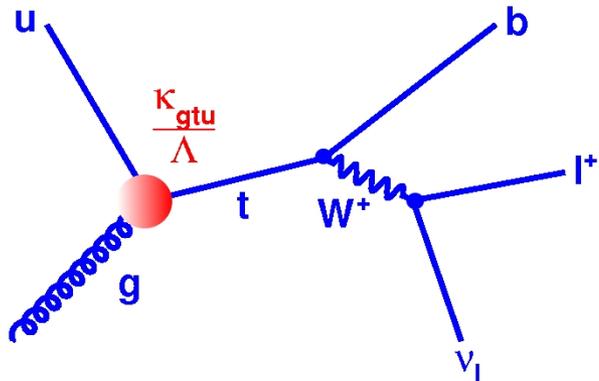


An allen Teilprojekten arbeiten auch wissenschaftliche Hilfskräfte.

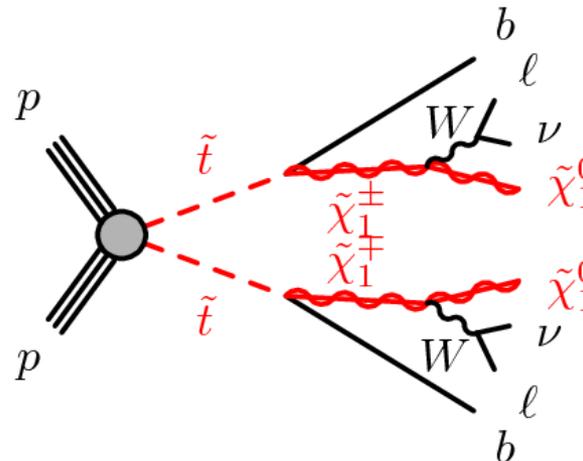


Nutzung künstlicher neuronaler Netzwerke

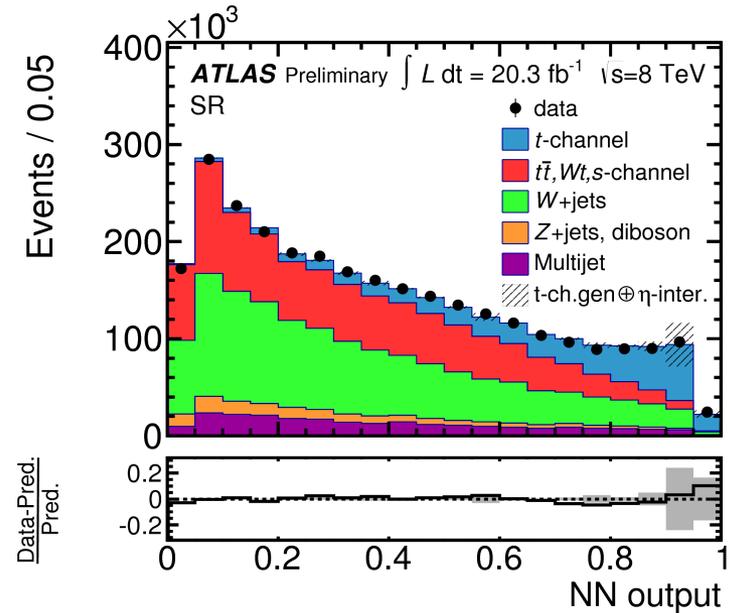
Präzisionsmessungen zur Einzel-Top-Quark-Produktion



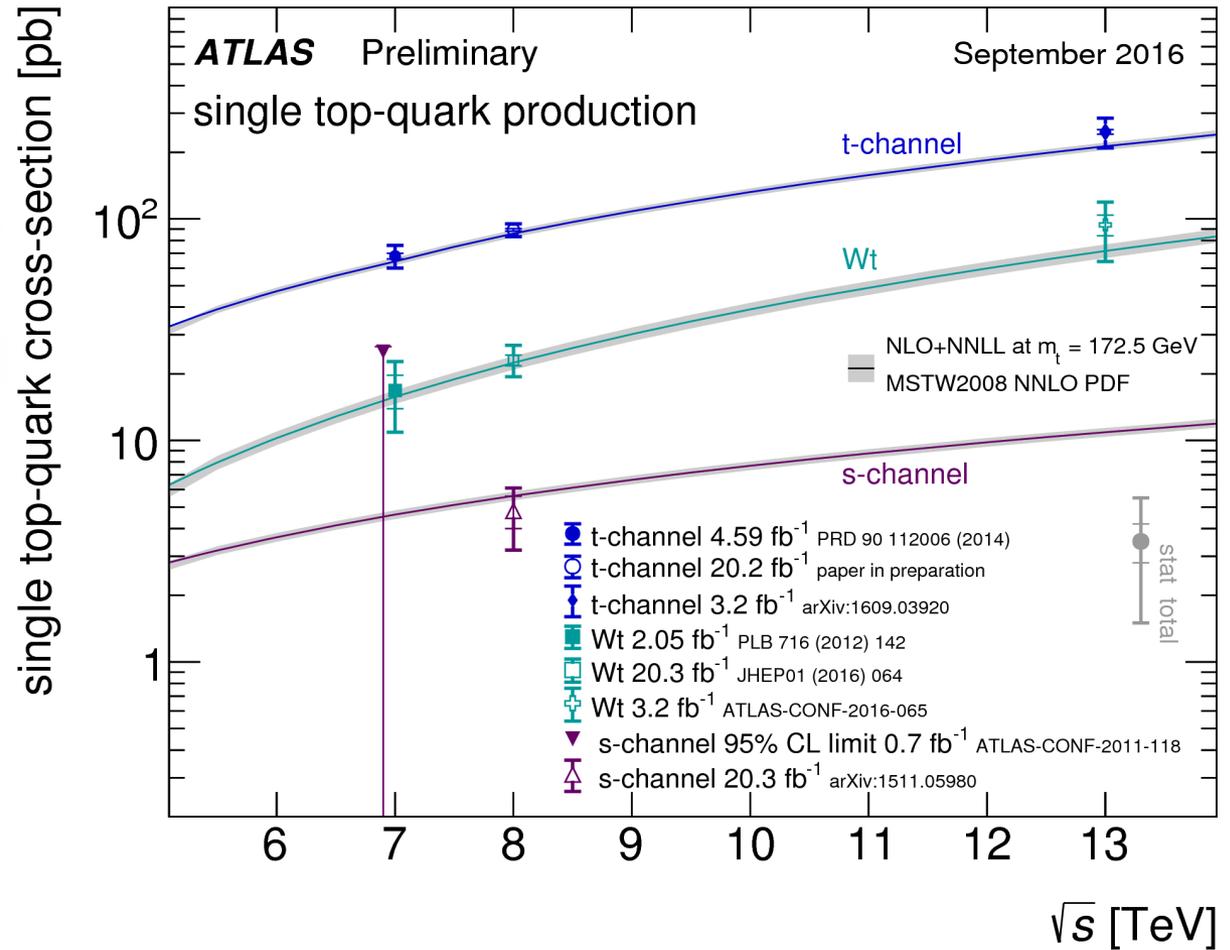
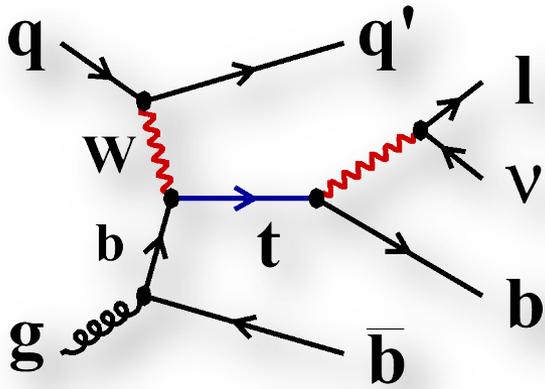
Suche nach flavour-ändernden neutralen Strömen



Suche nach supersymmetrischen Top-Partnern



Beispiel: Einzel-Top-Quark-Produktion



- Experimentelle Elementarteilchenphysik ist eine der möglichen Spezialisierungen im Physikstudium an der Bergischen Universität.
- Forschung am Large Hadron Collider (LHC) am CERN
- Datenanalyse und Bau von Detektorkomponenten in Wuppertal.
- Suche nach neuen Teilchen als Antwort auf offene Fragen der Teilchenphysik.
- Präzisionsmessungen zum Test der Theorie (Standardmodell).
- Möglichkeit zum Erlernen moderner experimenteller Techniken:
schnelle Digitalelektronik, Steuer- und Kontrollsoftware, moderne Programmiersprachen und -umgebungen, multivariate Analyseverfahren (neuronale Netze), statistische Datenauswertung

