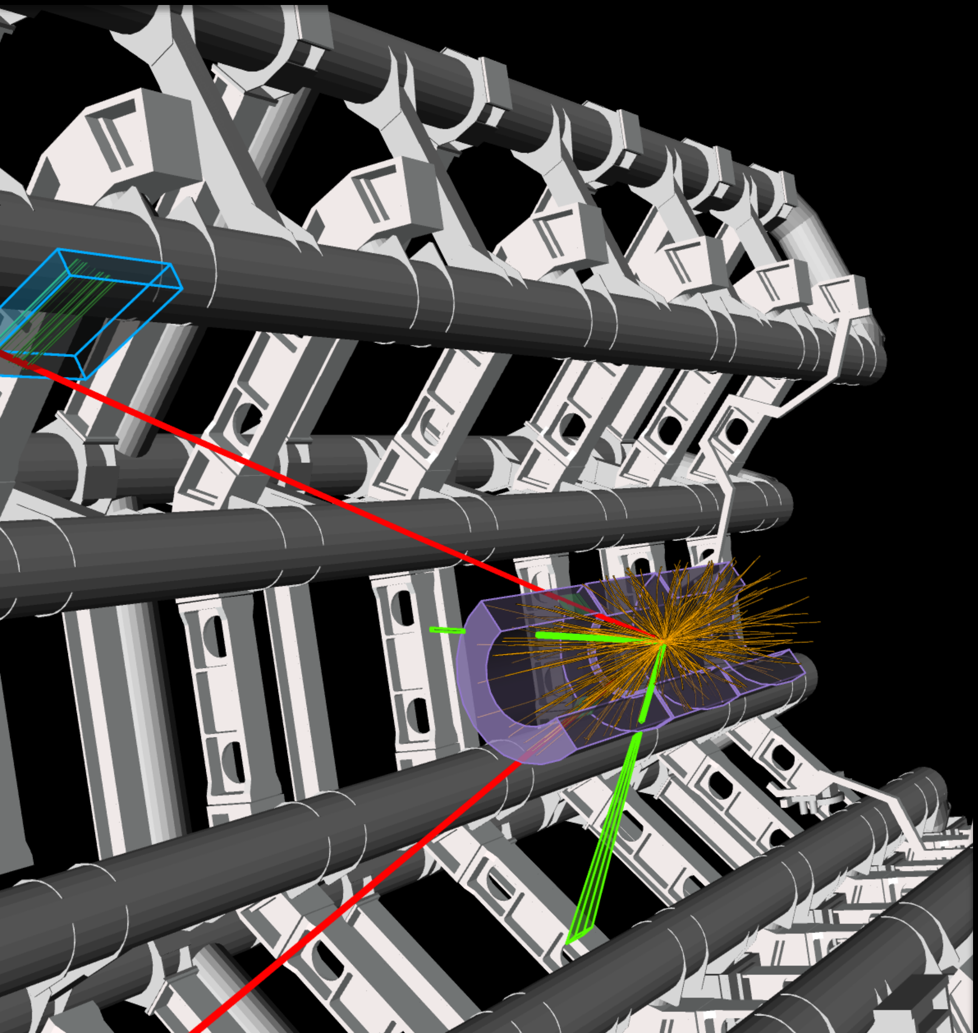
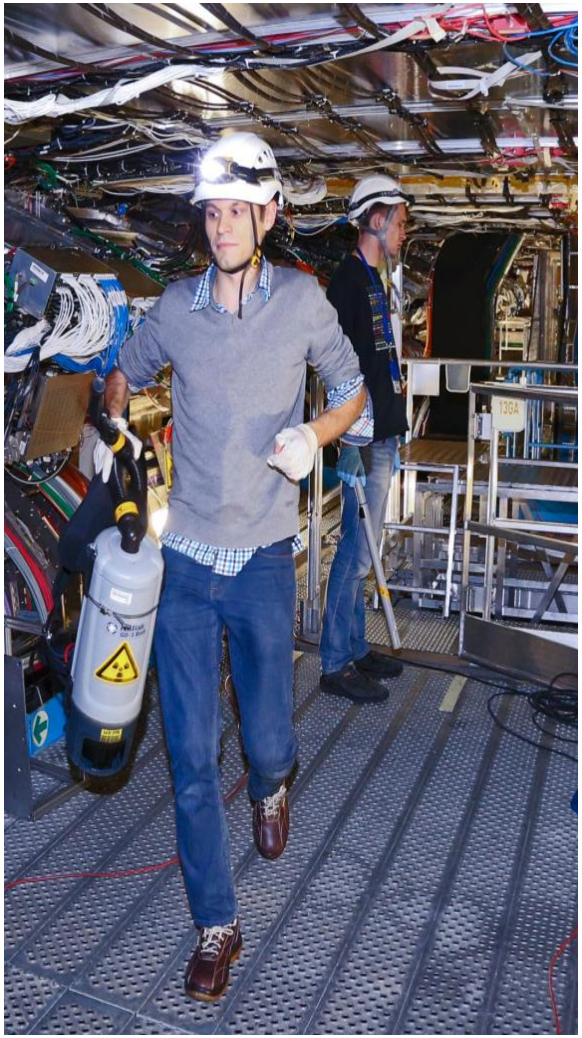
Kleine Teilchen und große Maschinen



Das ATLAS Experiment und die Suche nach dem Higgs-Boson

Julian Glatzer
CERN

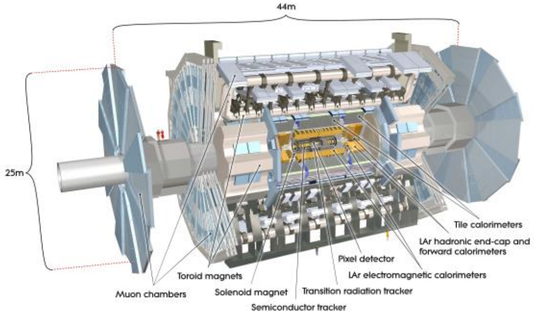
Hallo,
ich bin Julian …



Inhalt

Einführung

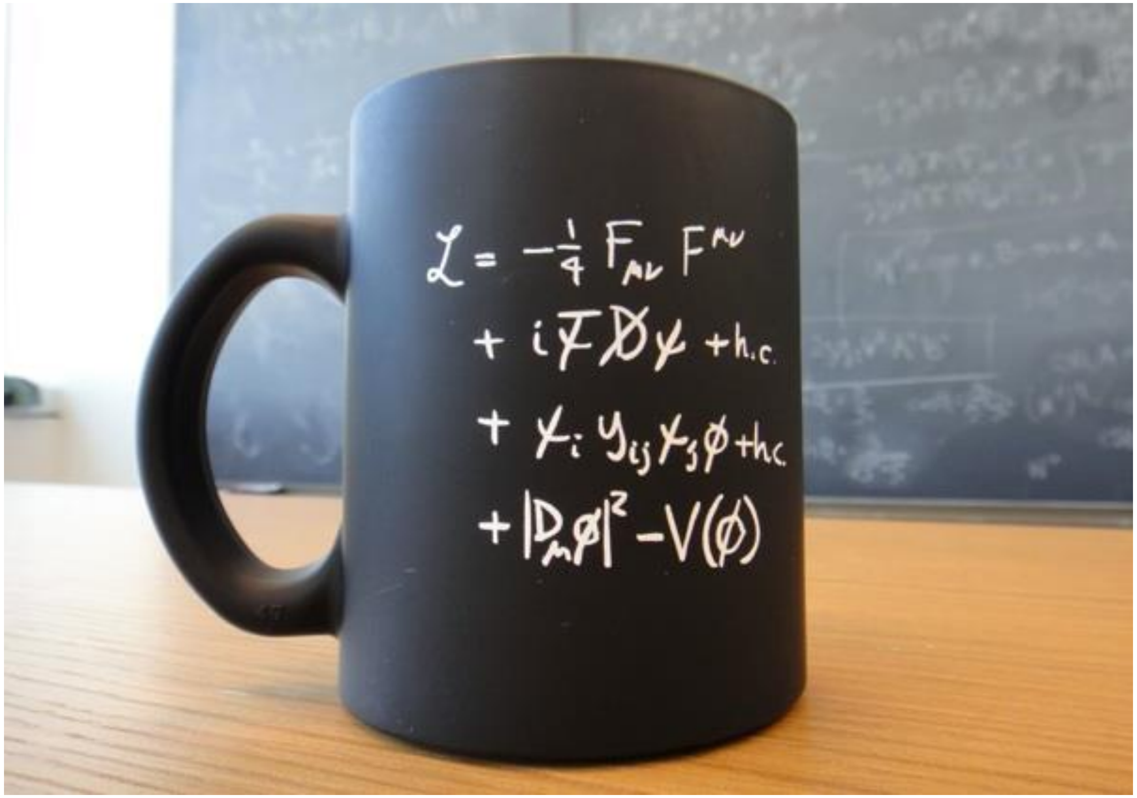
- Das Higgs-Boson und der Higgs-Mechanismus



Das Experiment

- Das ATLAS Experiment
- Wie findet man das Higgs-Boson?

Was bisher geschah …

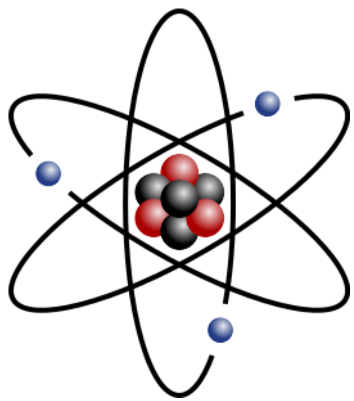


Das Standardmodell der Teilchenphysik

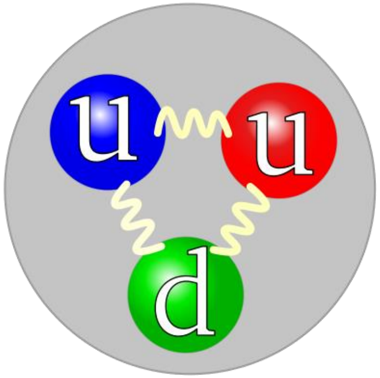
beschreibt Materie und deren Interaktion

Kräfte

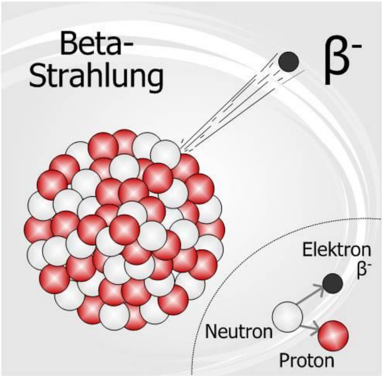
Elektromagnetische Kraft



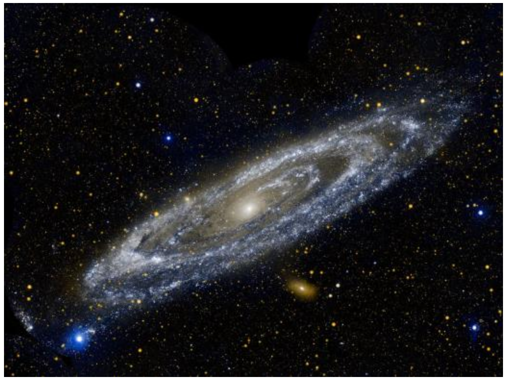
Starke Kernkraft



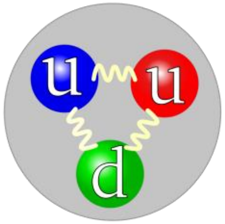
Schwache Kernkraft

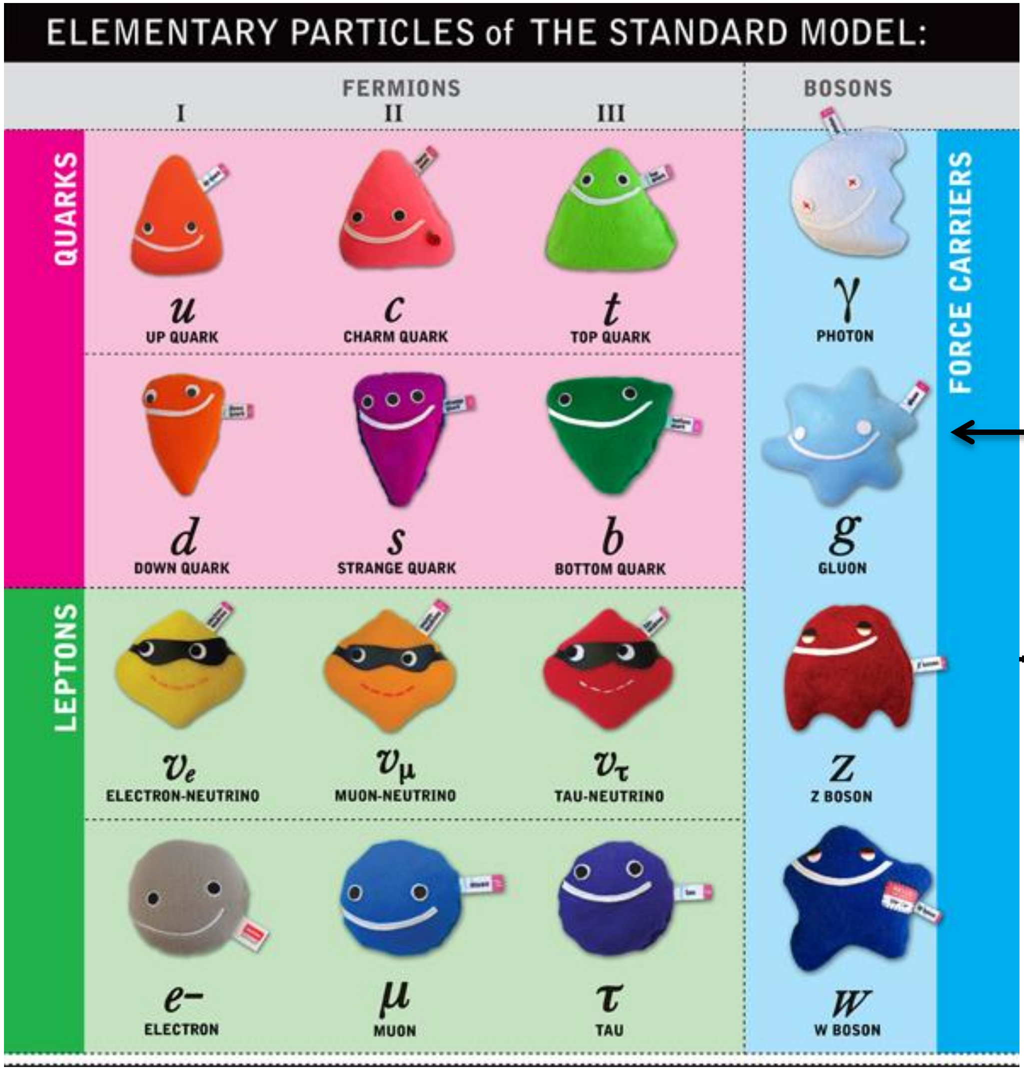


Gravitation
(nicht im Standardmodell)



Das Standardmodell in Plüsch

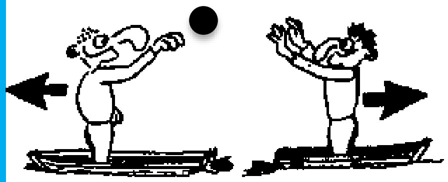




Materie-teilchen
("Bausteine des Universums")

Spin 1/2

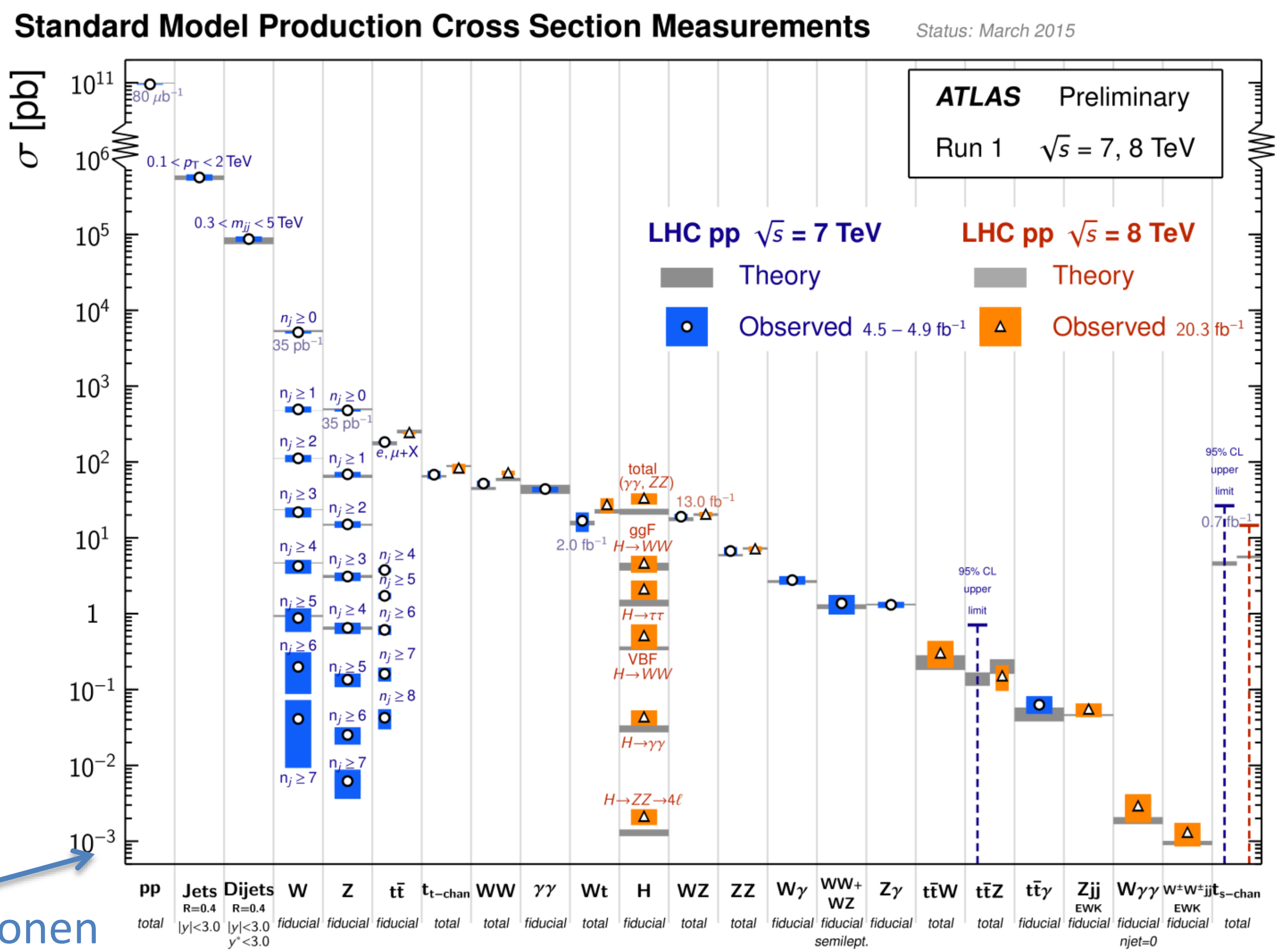
Kraft-austausch-teilchen



Spin 1

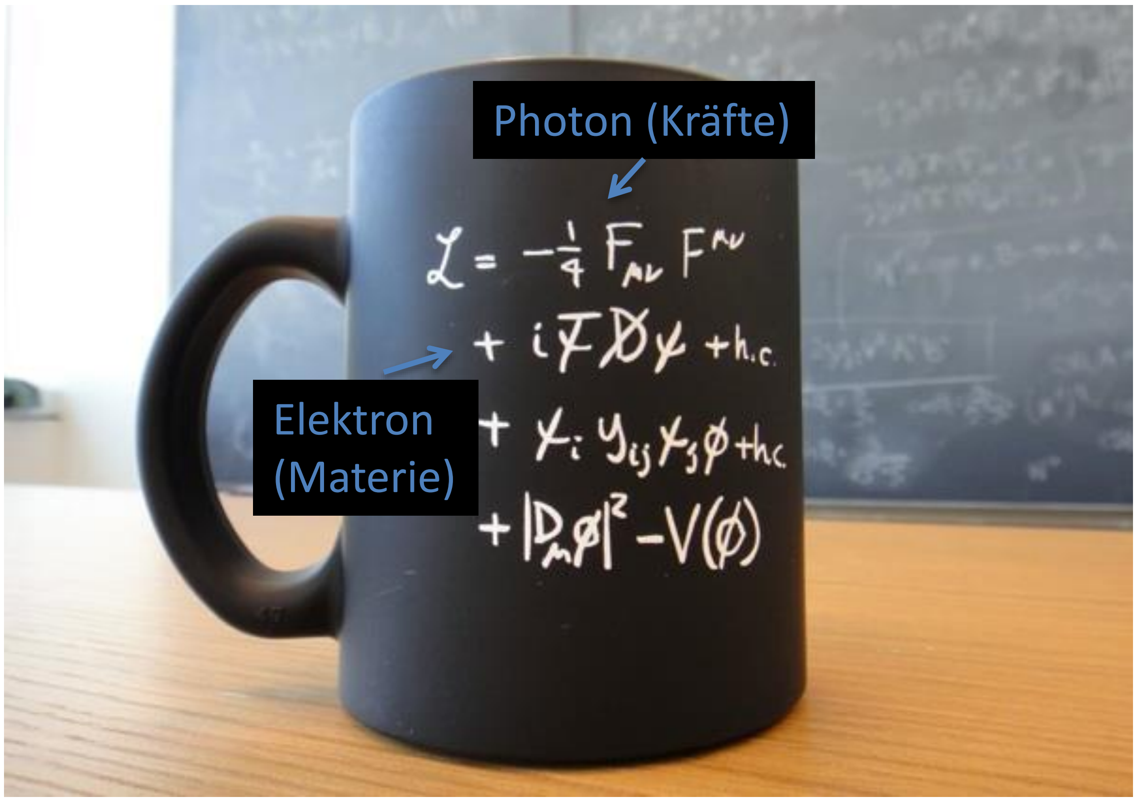
Der Erfolg des Standardmodells

Produktionswahrscheinlichkeit



Faktor 100 Billionen

Was bisher geschah …



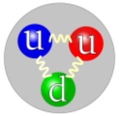
Lagrangefunktion

Berechnung der Bewegungsgleichungen [“relativistisches F=m*a”]
zeigt, wie sich Teilchen verhalten
(im Durchschnitt)

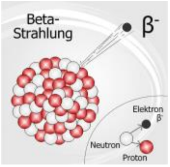
Was macht Teilchen aus?

- Kraft- oder Materieteilchen

stark

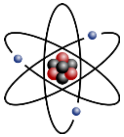


schwach



- Interaktionen
  - Ladung,…

elektromagnetisch



- Masse

Gravitative Masse

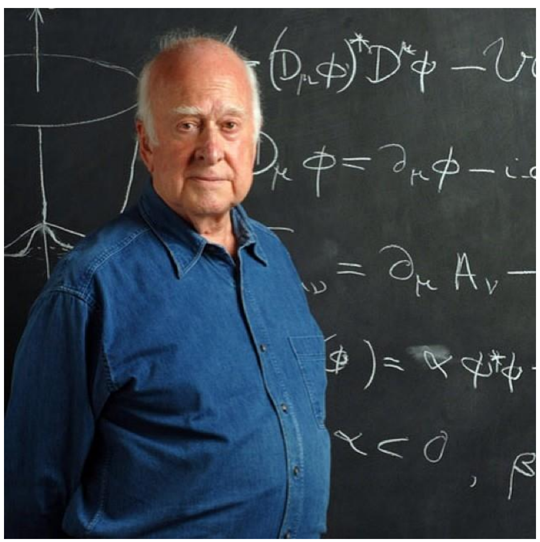
Träge Masse

?

Masse Im Standardmodell

- Wir können Masse als Parameter im Standardmodell hinzufügen

→ Viele Berechnungen ergeben ∞ ☹



Abhilfe:
Dynamische Masse mit dem Brout-Englert-Higgs Mechanismus

Higgs Mechanismus

- “Masse wirkt der Beschleunigung entgegen”

Higgs-feld

Teilchen

Interaktion mit dem Higgsfeld sieht aus wie Masse.

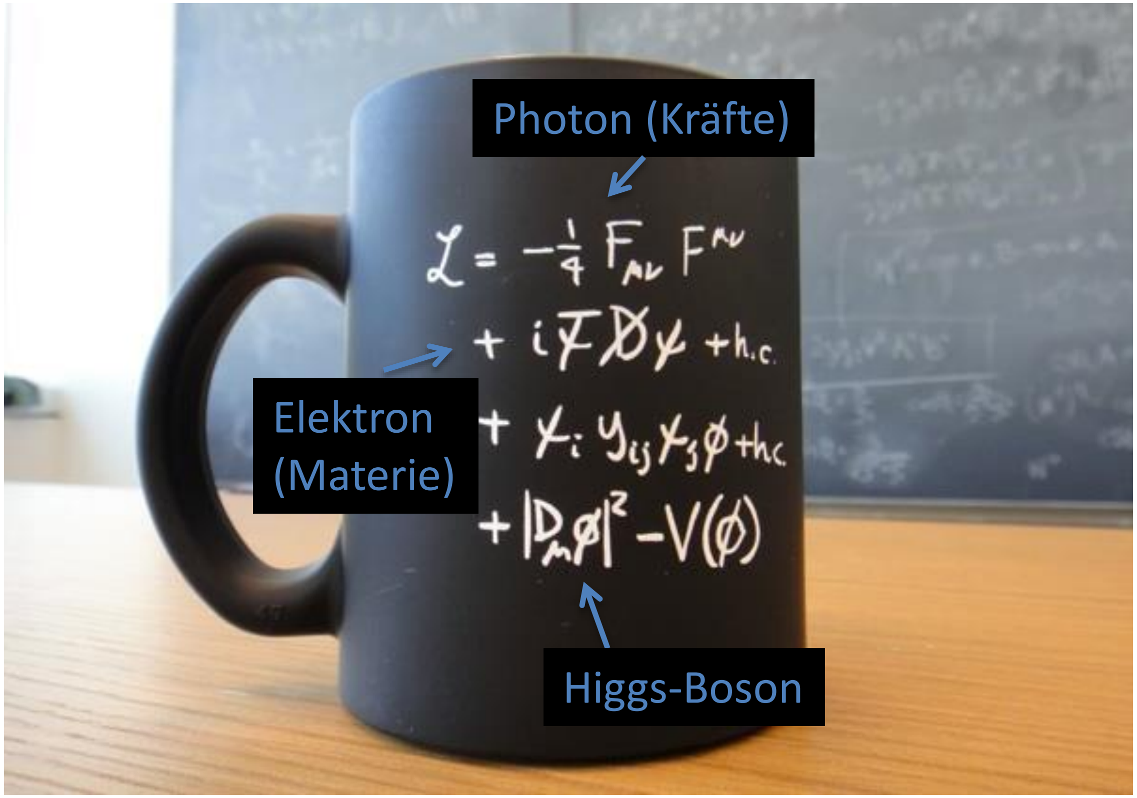
Anmerkung: Analogien sind selten perfekt und in der Anwendung eingeschränkt.

Higgs Mechanismus

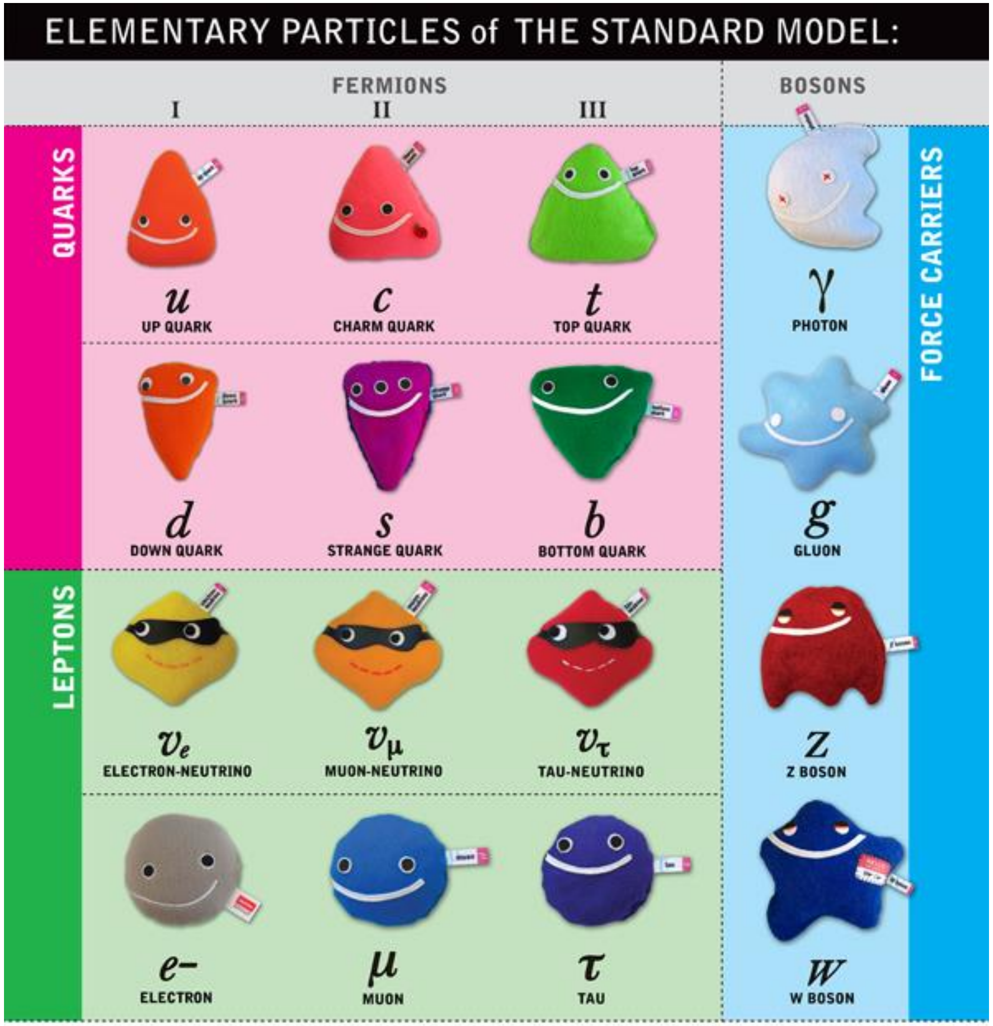
Higgs Mechanismus

Higgs Mechanismus

Was fehlt im Standardmodell?



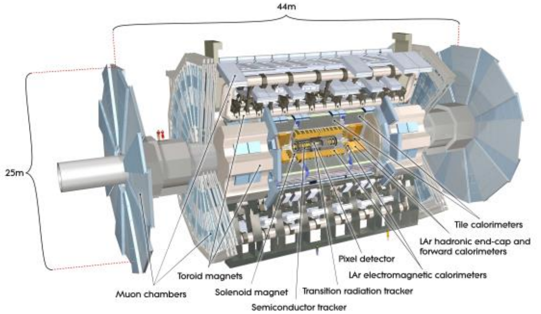
Das Higgs-Boson


ELEMENTARY PARTICLES of THE STANDARD MODEL:
FERMIONS
I
II
III
BOSONS
QUARKS
LEPTONS
FORCE CARRIERS
u
UP QUARK
c
CHARM QUARK
t
TOP QUARK
γ
PHOTON
d
DOWN QUARK
s
STRANGE QUARK
b
BOTTOM QUARK
g
GLUON
v_e
ELECTRON-NEUTRINO
v_μ
MUON-NEUTRINO
v_τ
TAU-NEUTRINO
Z
Z BOSON
e−
ELECTRON
μ
MUON
τ
TAU
W
W BOSON

Inhalt

Einführung

- Das Higgs-Boson und der Higgs-Mechanismus



Das Experiment

- Das ATLAS Experiment
- Wie findet man das Higgs-Boson?

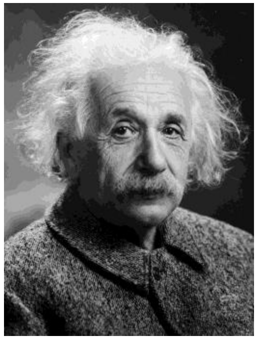
Wie findet man das Higgs-Boson?

- Das einfachste Experiment der Welt: wir nehmen zwei Dinge und zerstören sie…

Nur in groß, in sehr groß…

Wie findet man das Higgs-Boson

1. Wir brauchen Energie, viel konzentrierte Energie!



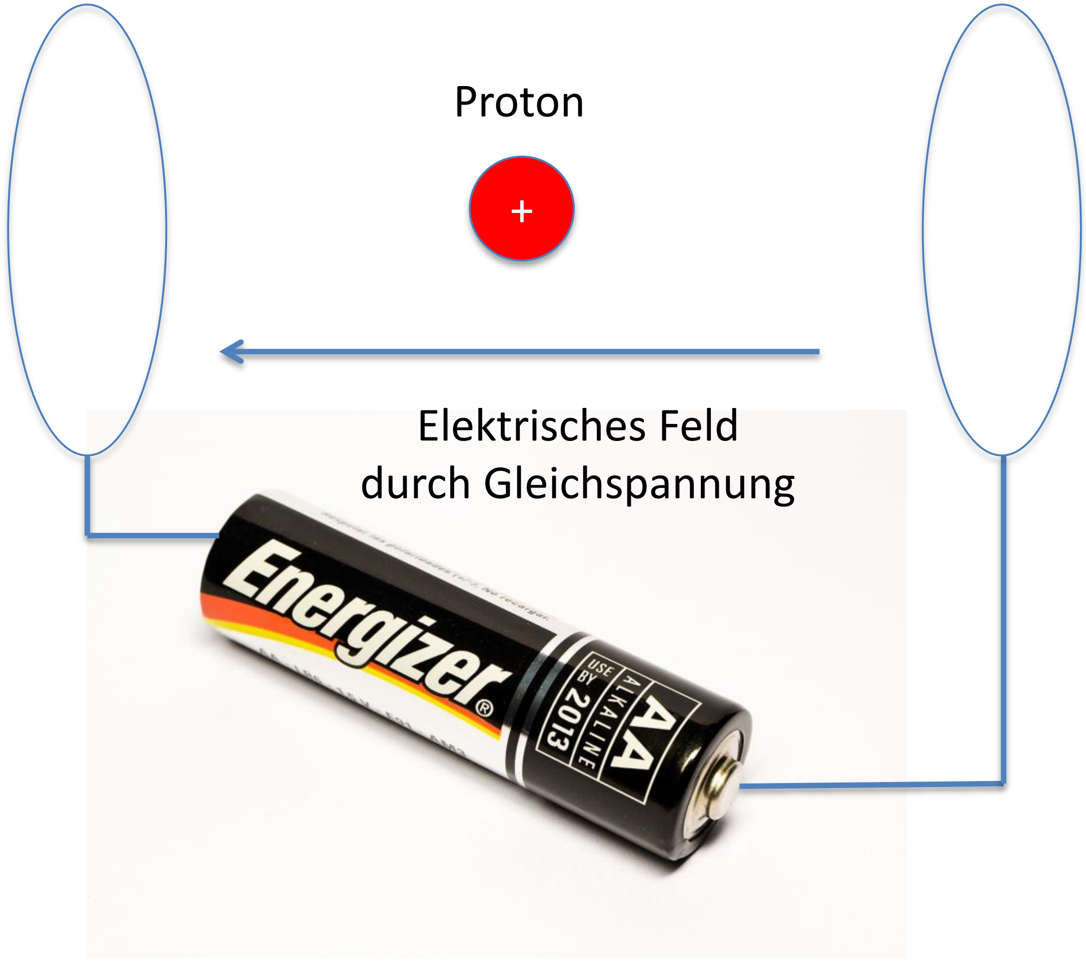
$E=mc^2$

Das Higgs-Boson ist schwer.

2. Wir brauchen einen Detektor

Das Higgs-Boson ist nicht stabil. Wir müssen nach den Zerfallsprodukten suchen.

Teilchenbeschleuniger



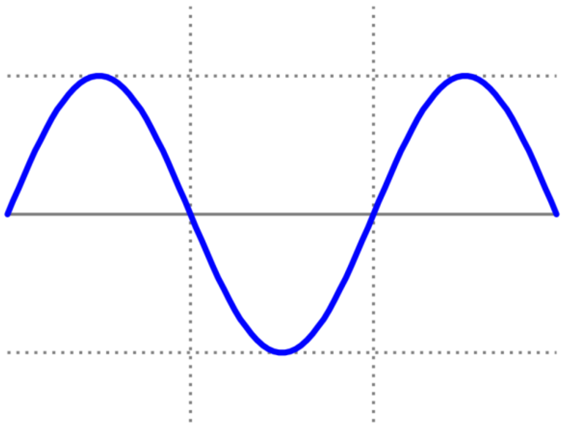
Energie: 1.5 eV

Wir brauchen Energie, viel Energie…

6,5 TeV Energie pro Proton =

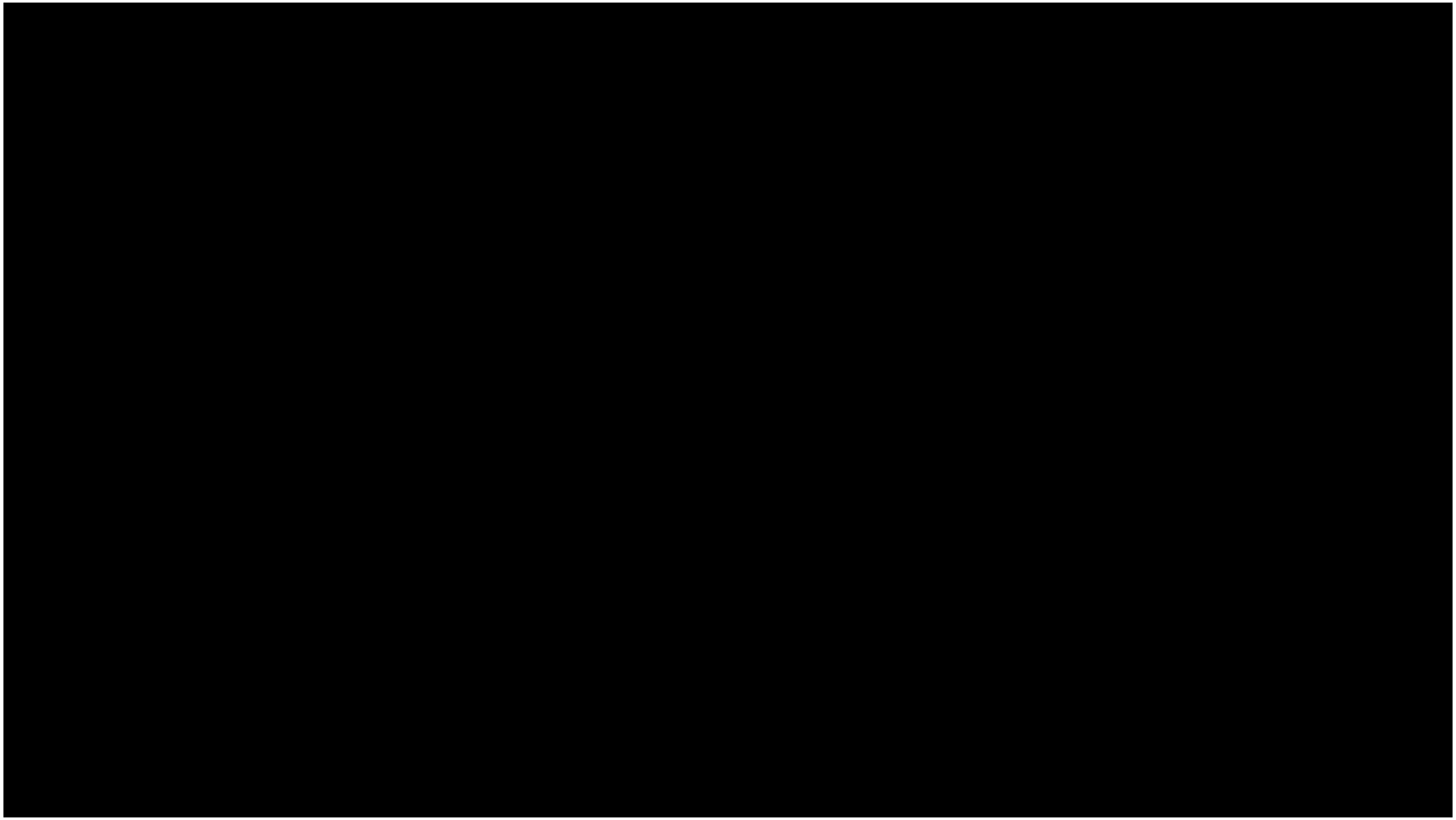
6 500 000 000 000 V Spannung

Neue Idee: Wechselspannung

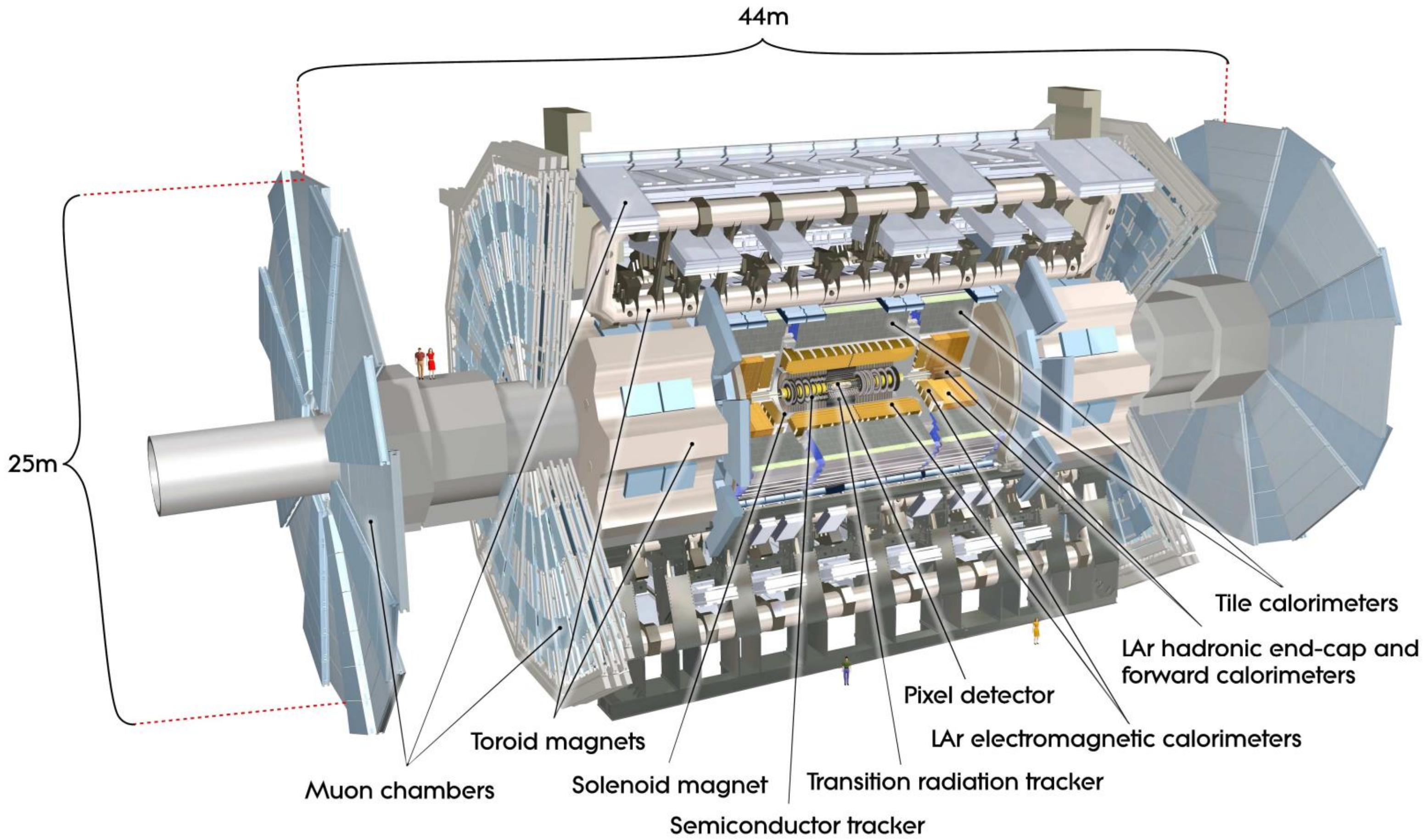


Das wird aber ganz schön groß…

Kollisionen



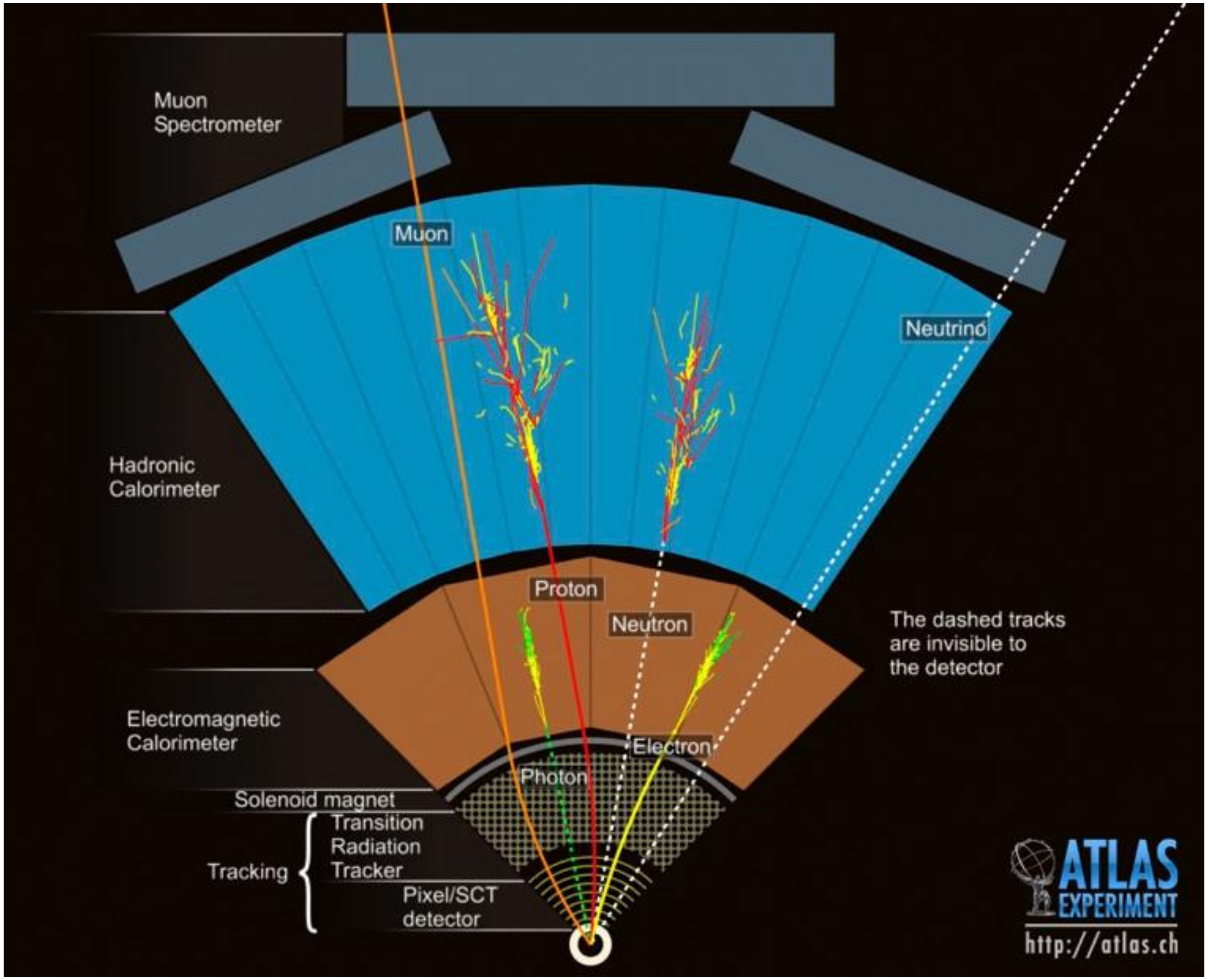
Unsere Kamera: Der ATLAS Detektor

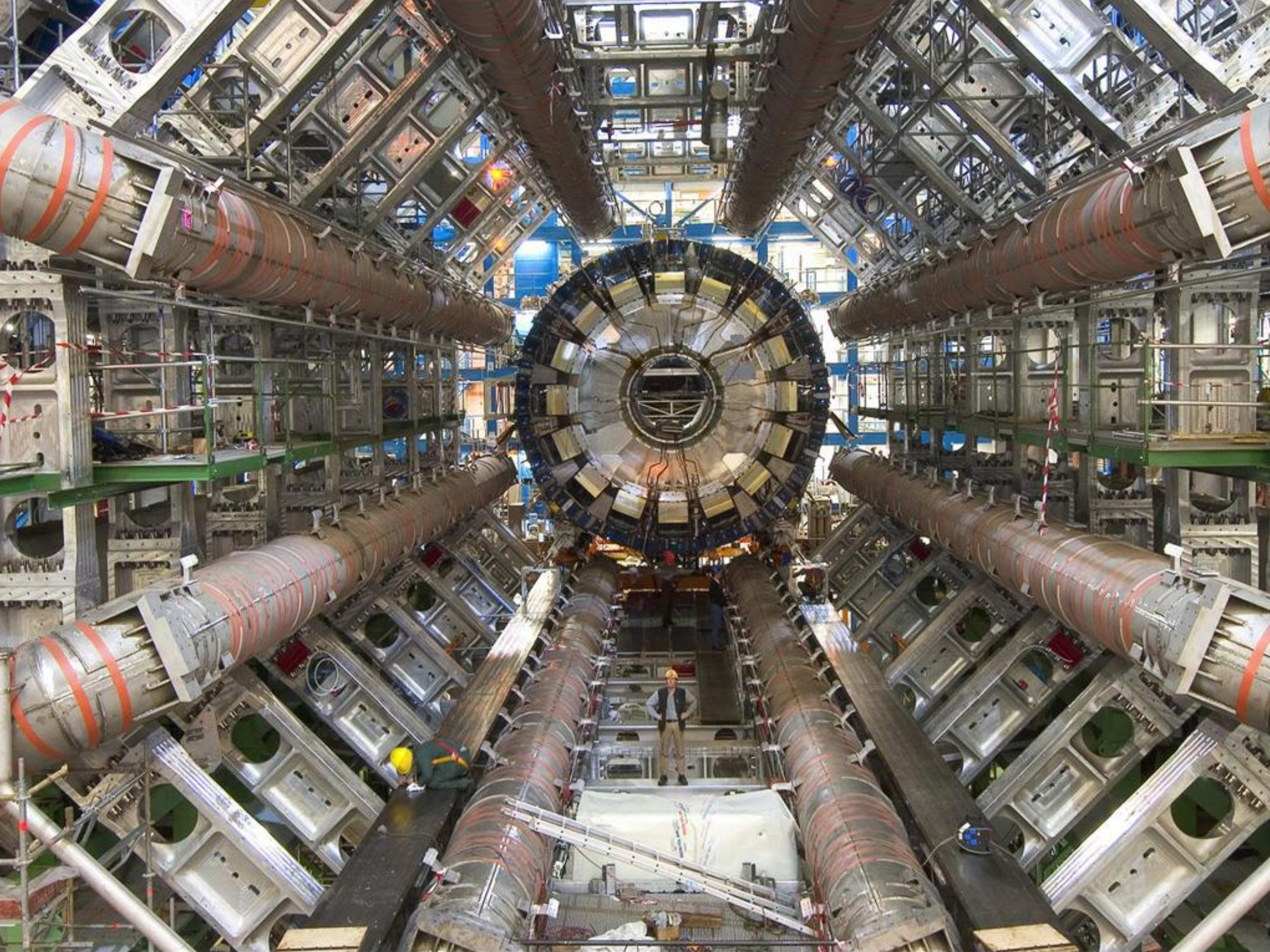


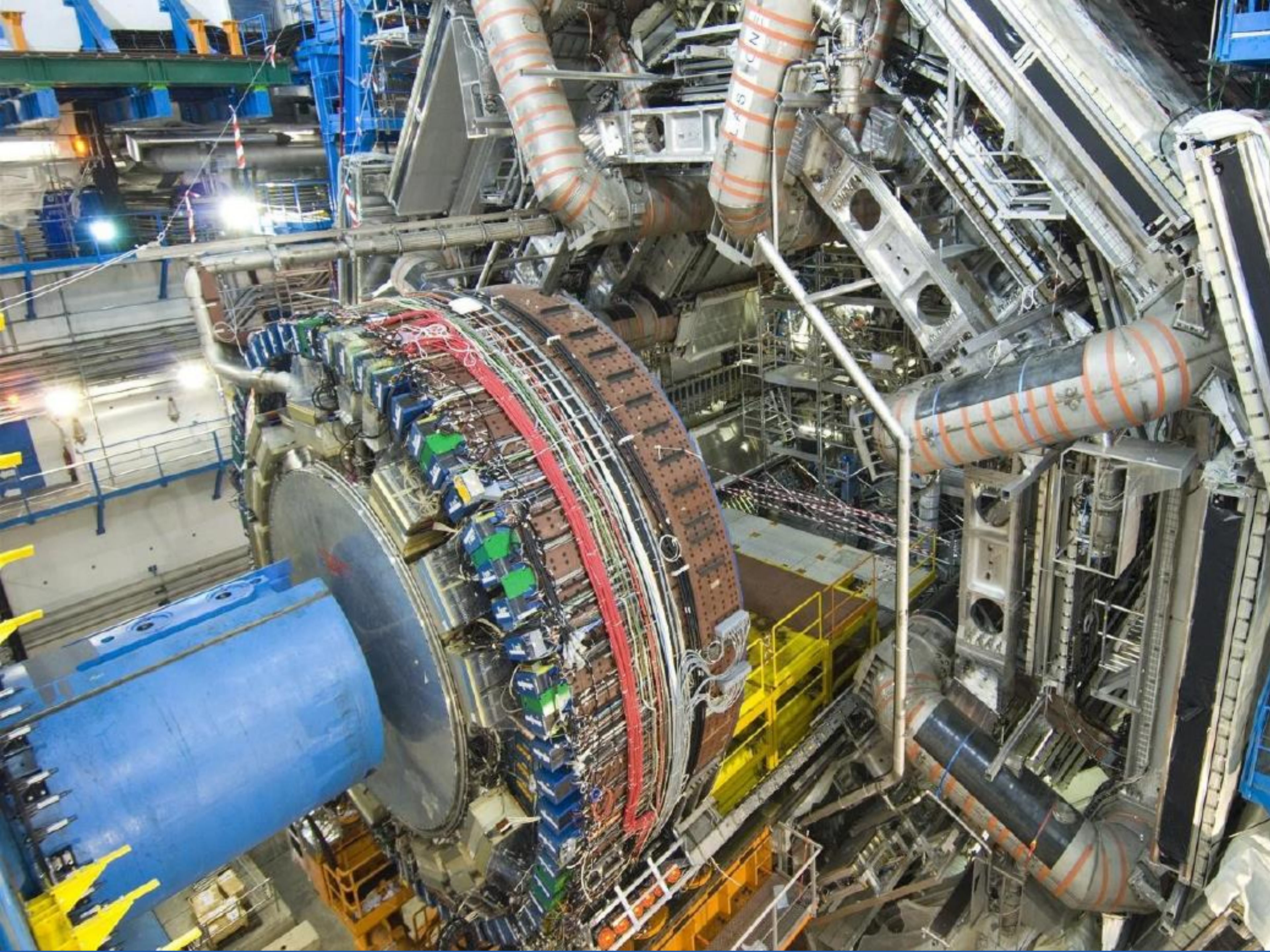
7000 t schwer

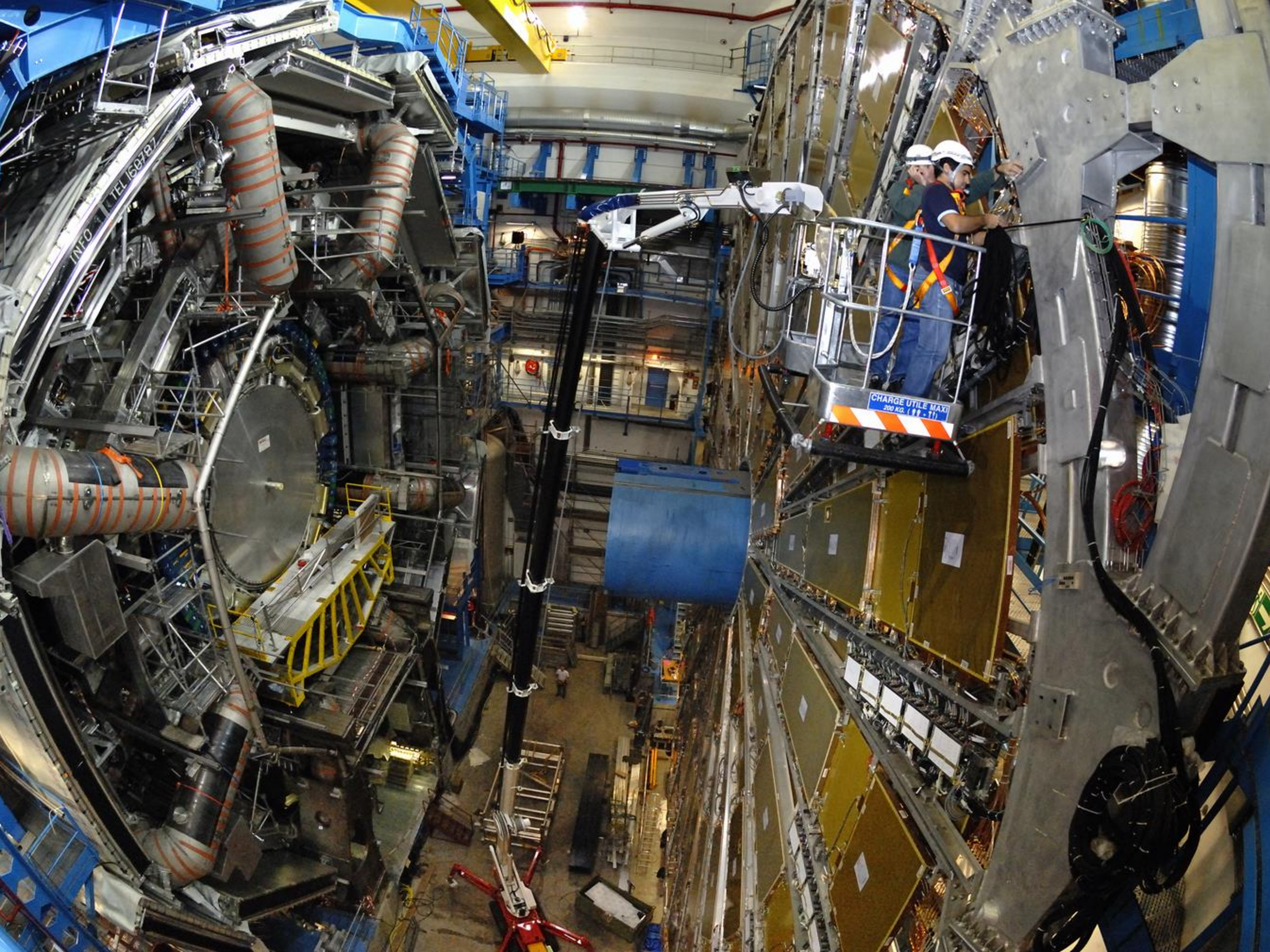
100Megapixel @ 40MHz

Der Nachweis von Teilchen



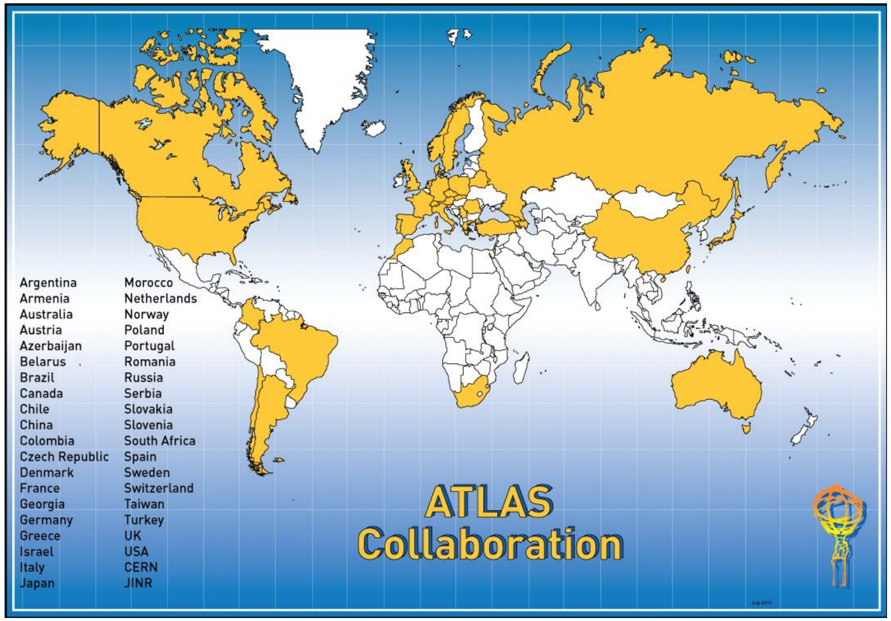





CHARGE UTILE MAXI
200 KG.


ATLAS Control Room
1-7-10 11:31

Die ATLAS Kollaboration

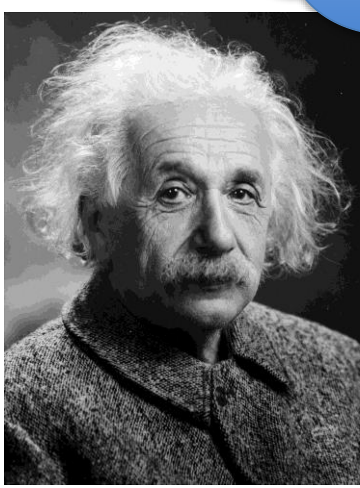


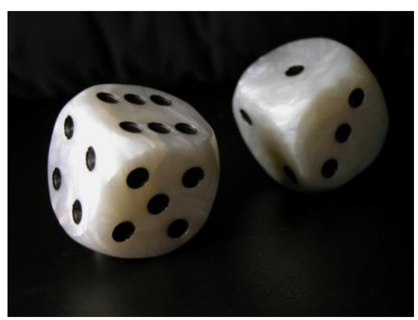
3000 Wissenschaftler
aus 38 Ländern
174 Universitäten und Forschungseinrichtungen

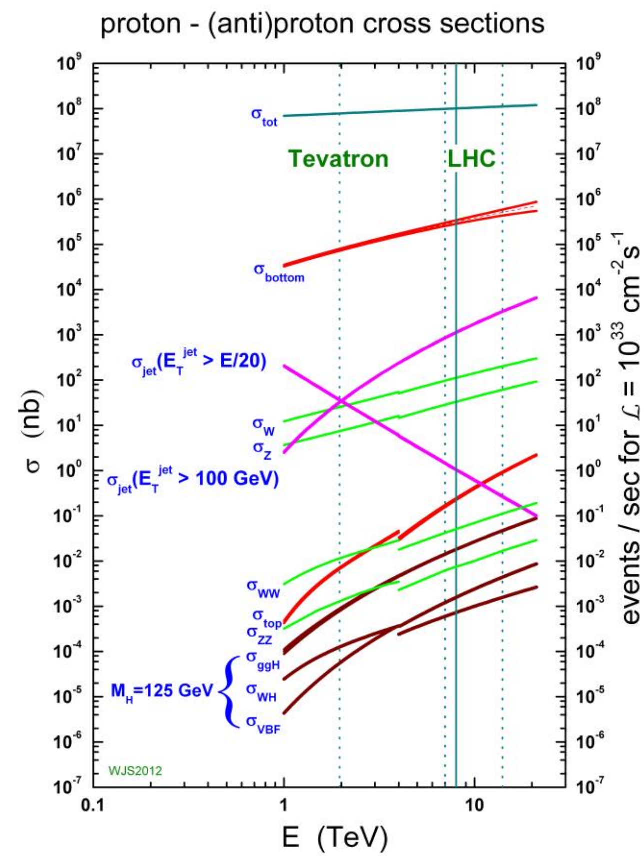
Er lag oft richtig…

… aber einmal falsch.

Gott würfelt nicht

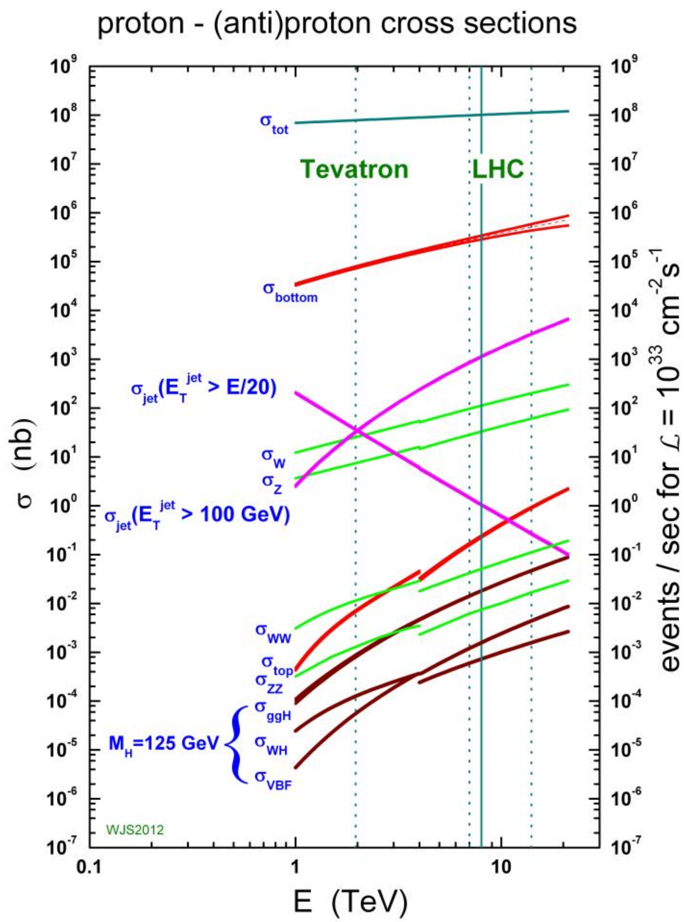






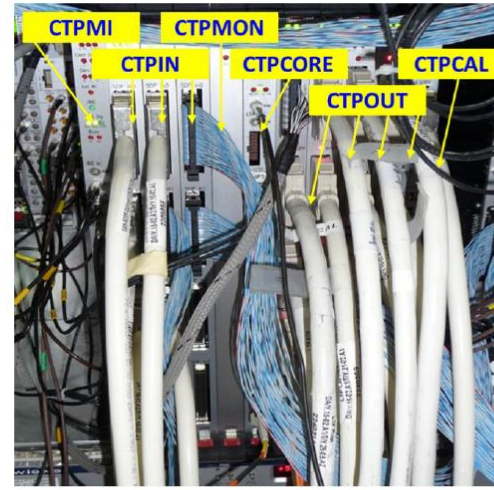
Faktor 10 Milliarden

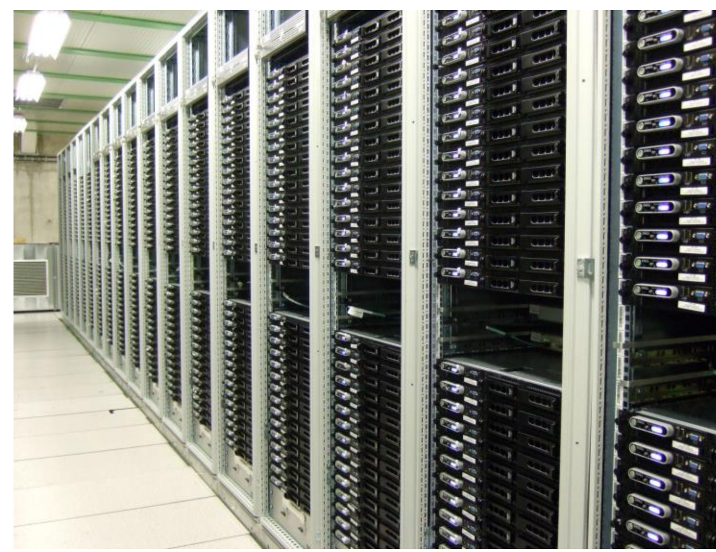
Die Nadel im Heuhaufen…



Trigger

- Nur 1 Ereignis von 10 Milliarden ist ein Higgs-Boson
  → Wir brauchen viele Kollisionen:
  – 40 Millionen Aufnahmen pro Sekunde
  – Ca. 25 Kollisionen pro Aufnahme gleichzeitig
  → Theoretisch 70 TB/s oder 100 000 CDs/s
- Trigger sortiert vor
  – 1000 Ereignisse von 40 Millionen
  – Alle anderen werden verworfen





Wir haben viele Daten!

Bearbeitung am CERN allein reicht nicht.

Die Daten werden In Rechenzentren auf dern ganzen Welt verteilt.

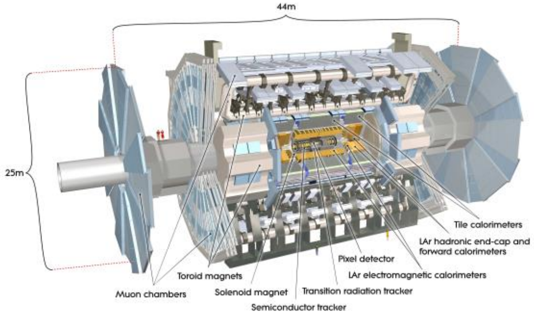
Das “Grid”

Inhalt

Einführung

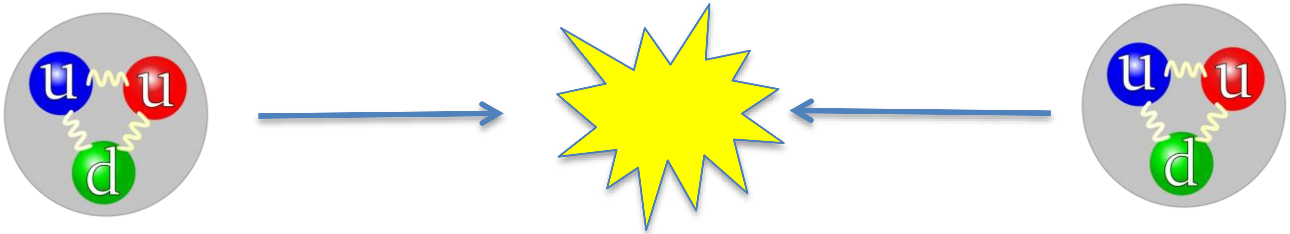
- Das Higgs-Boson und der Higgs-Mechanismus

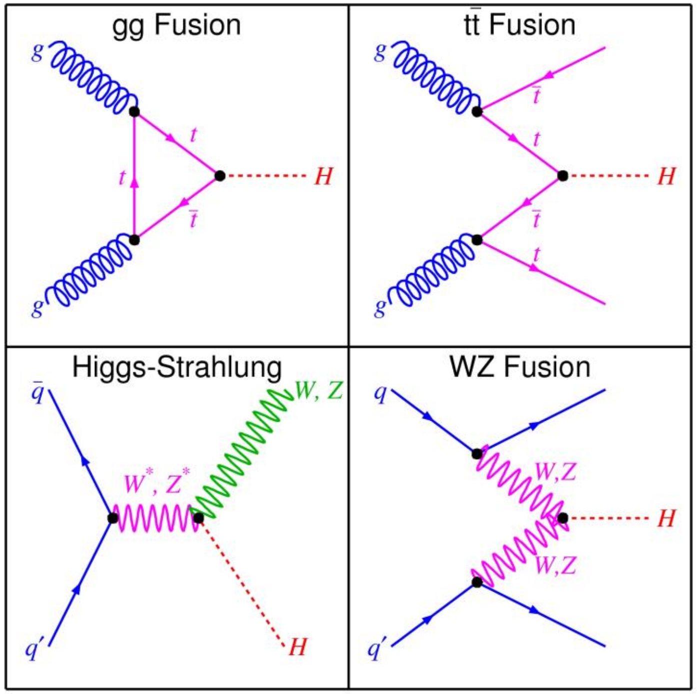
Das Experiment

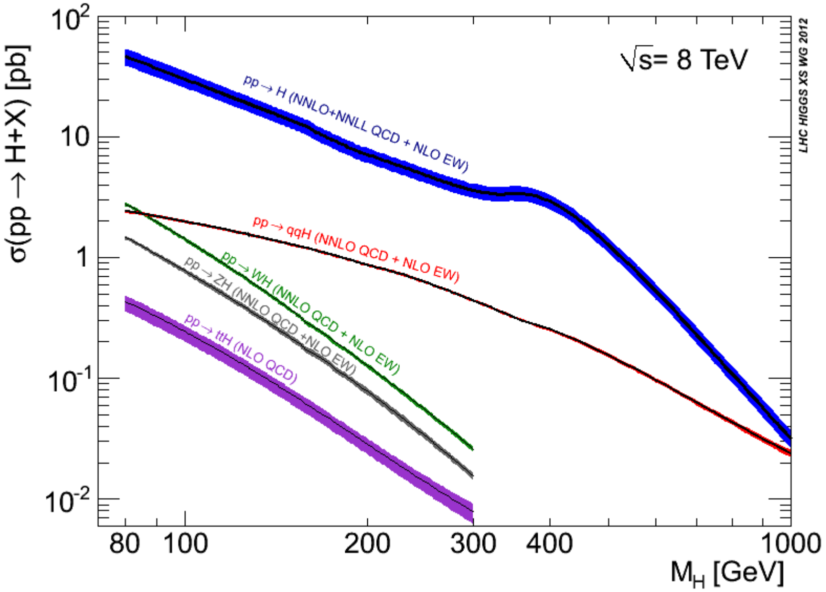


- Das ATLAS Experiment
- Wie findet man das Higgs-Boson?

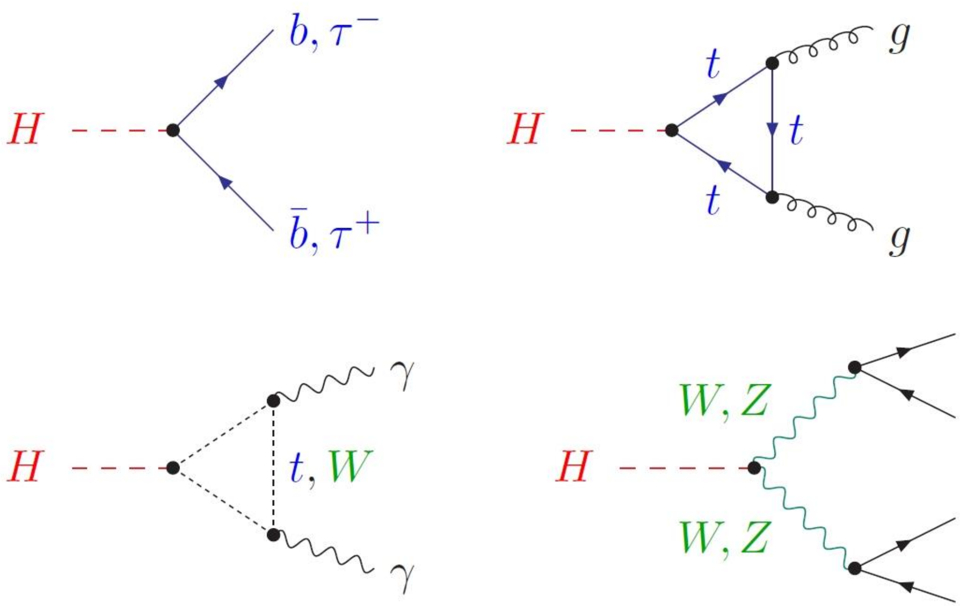
Produktion von Higgs-Bosonen

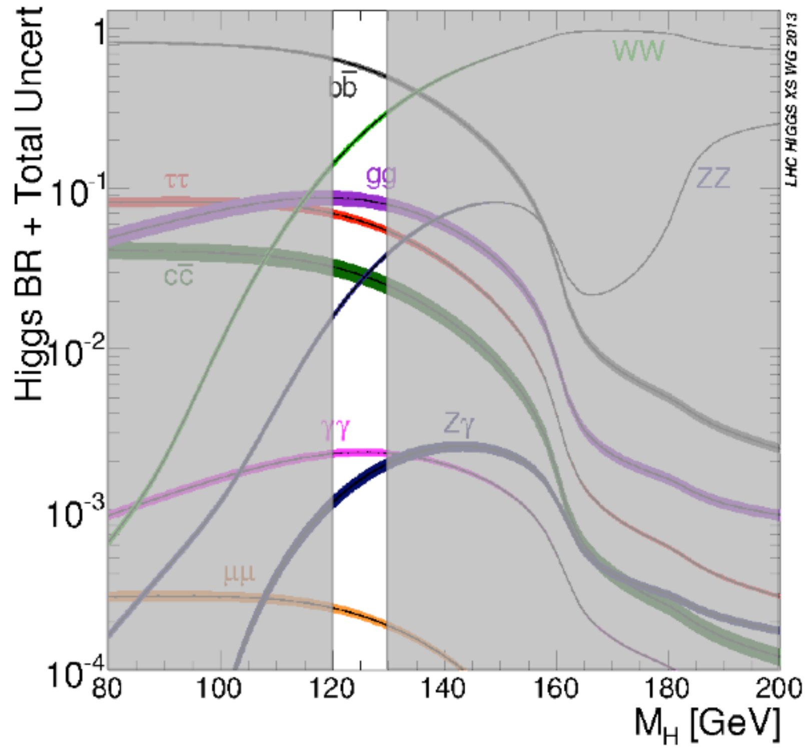






Zerfall von Higgs-Bosonen



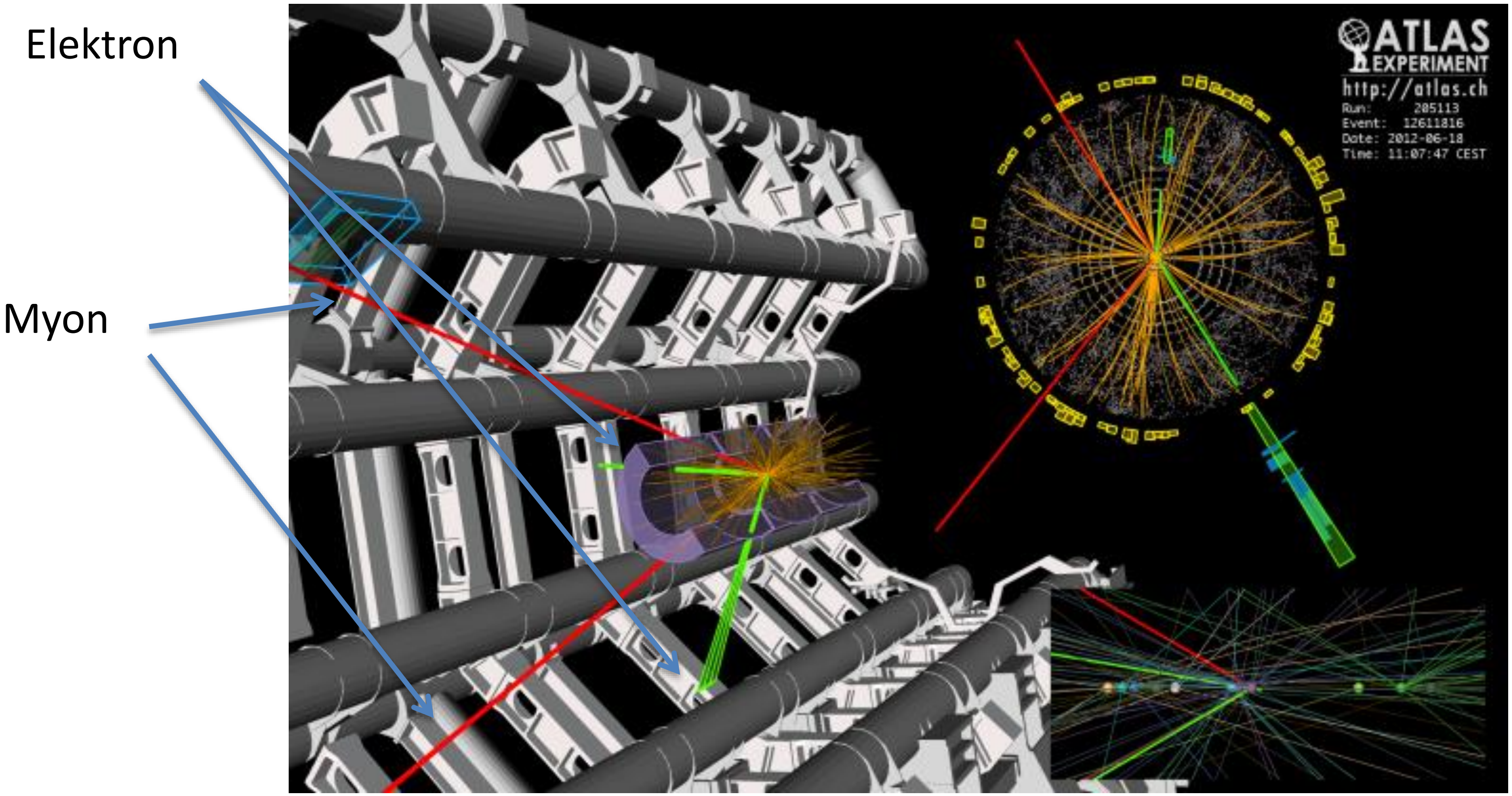


bb, ττ viele Ereignisse, aber schwierig

WW, ZZ, γγ seltener, aber einfacher

Der goldene Kanal

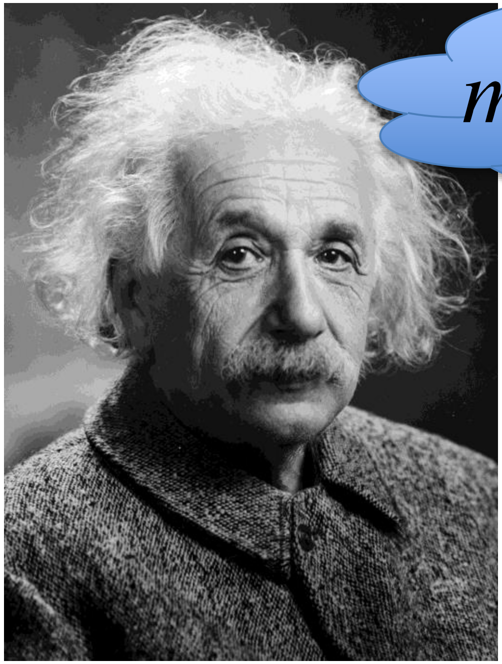
Daten



m(4l) = 122.6 GeV

Die Masse des Higgs-Bosons

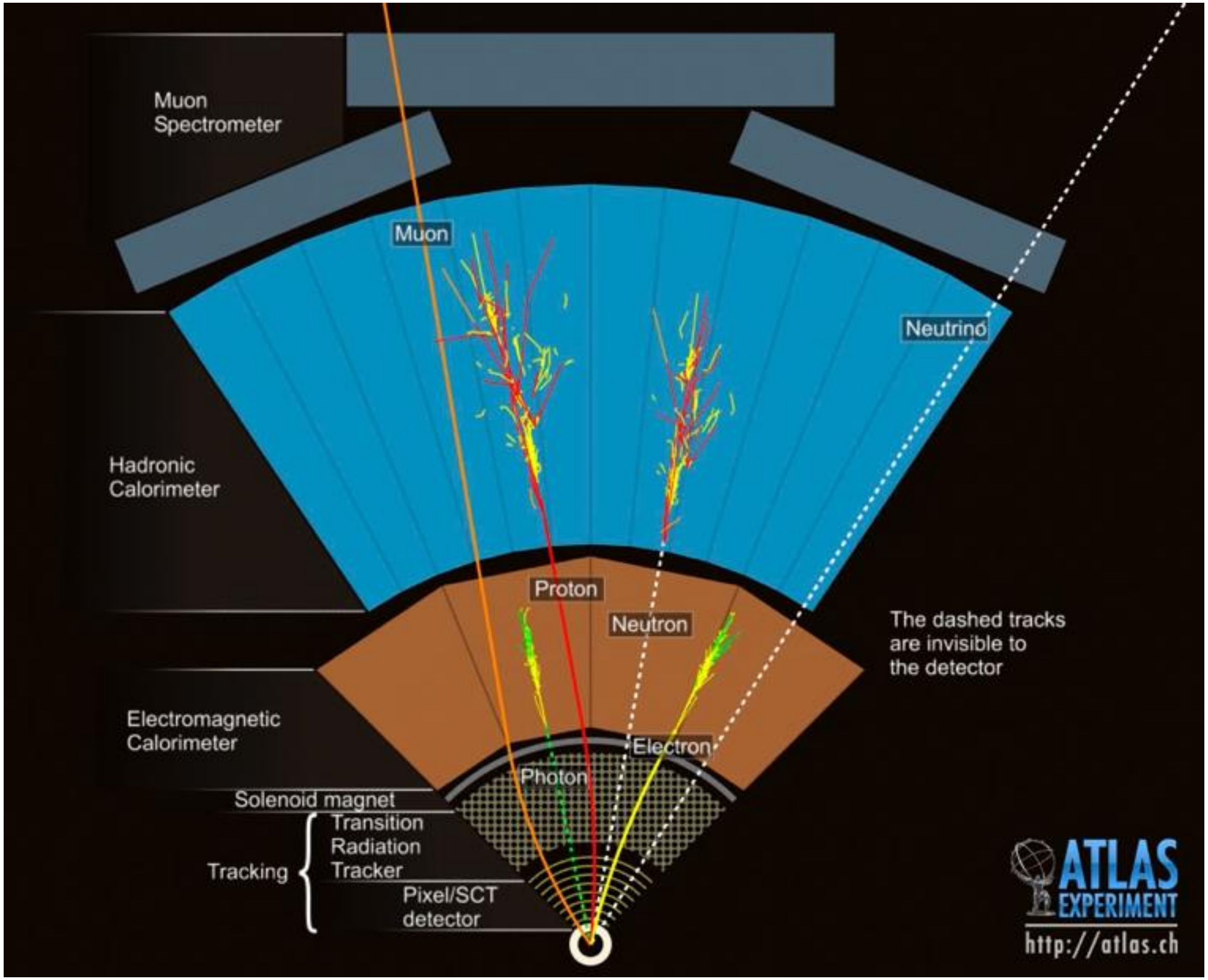
Wir wollen die Masse messen



$$m_0 c^2 = \sqrt{E^2 - (\vec{p}c)^2}$$

Wenn wir die Energie und den Impuls aller Zerfallsprodukte kennen, können wir die Masse berechnen.

Der Nachweis von Teilchen



Datenanalyse

Viele Daten aufnehmen

↓

Wenige auswählen

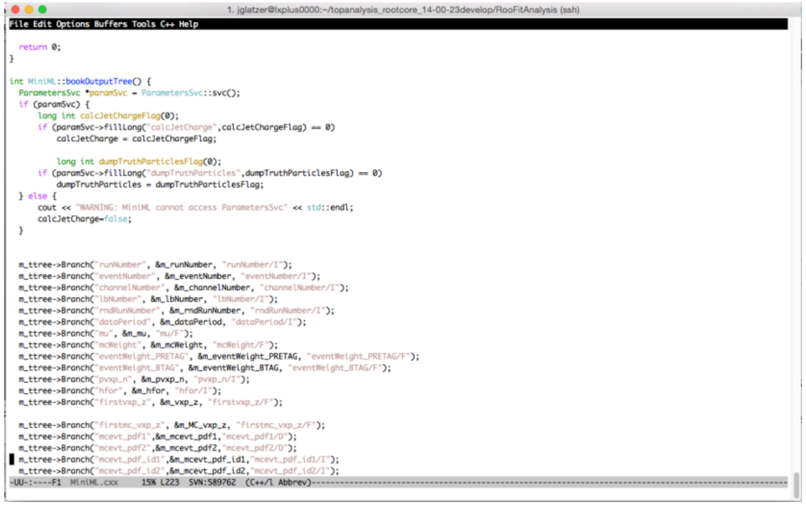
↓

Mit Vorhersagen vergleichen

oder

Wie funktioniert Datenanalyse in der Praxis?

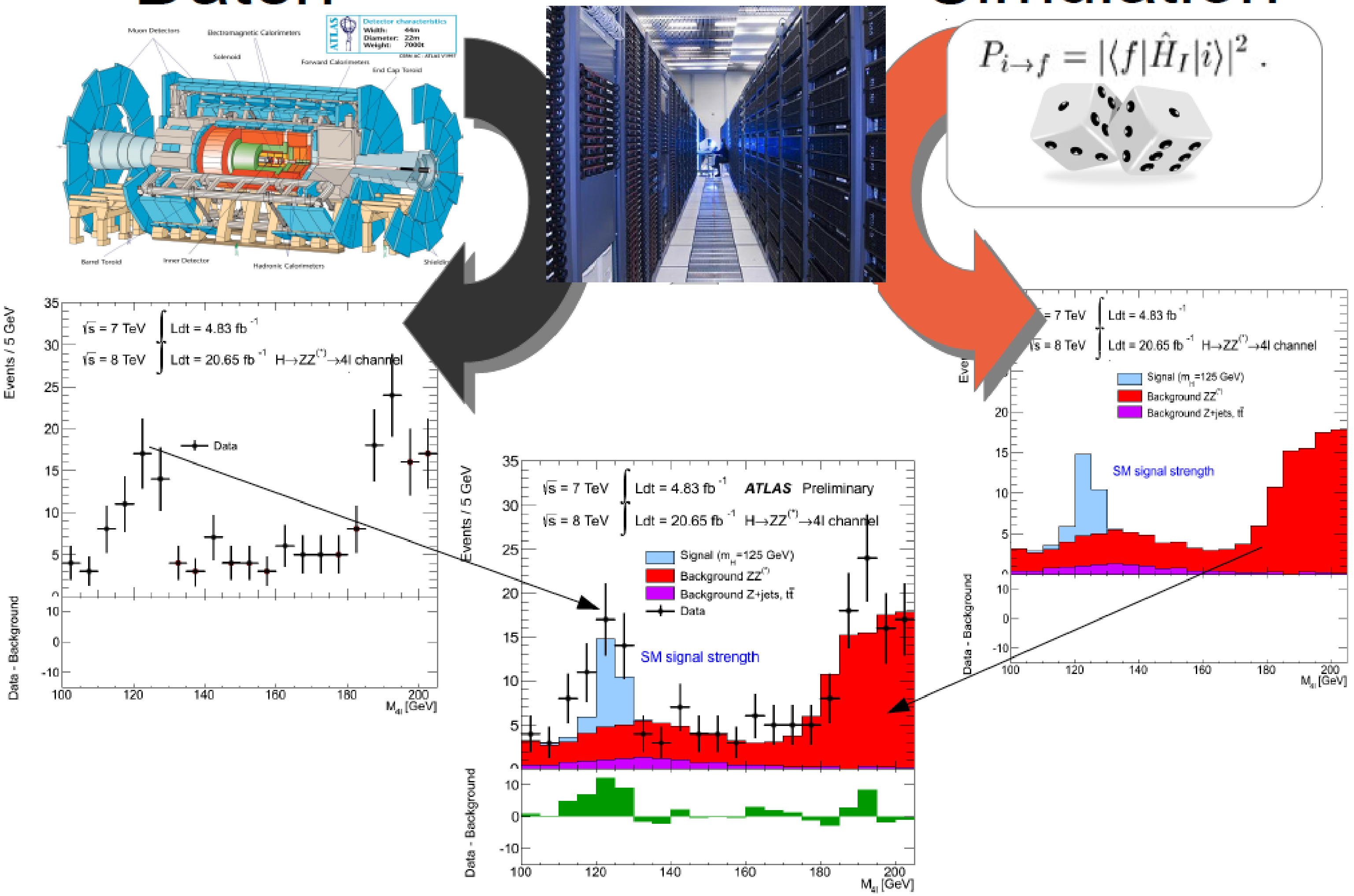
- Programm selektiert Ereignisse
- Programm wird zu den Daten geschickt und nicht die Daten zum Programm
- Selektierte Daten kommen zurück und werden weiteranalysiert



Datenanalyse

Daten

Simulation

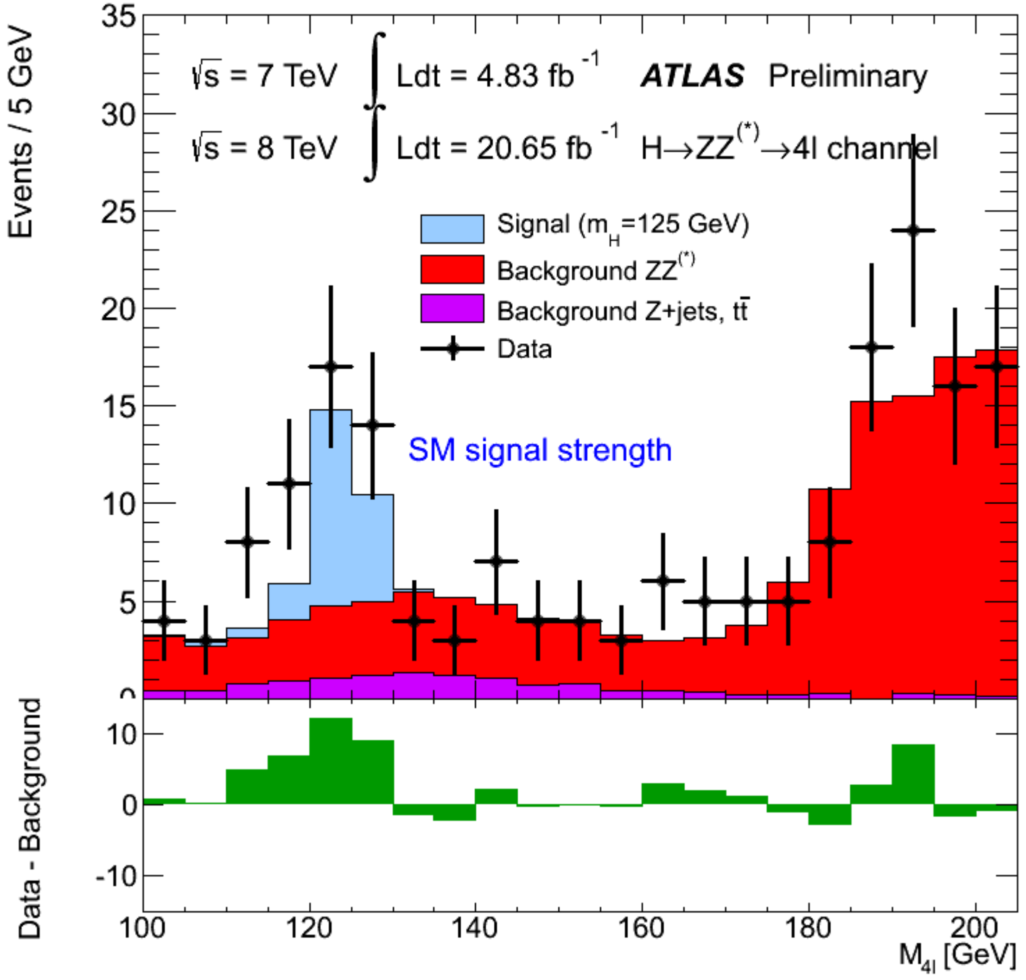


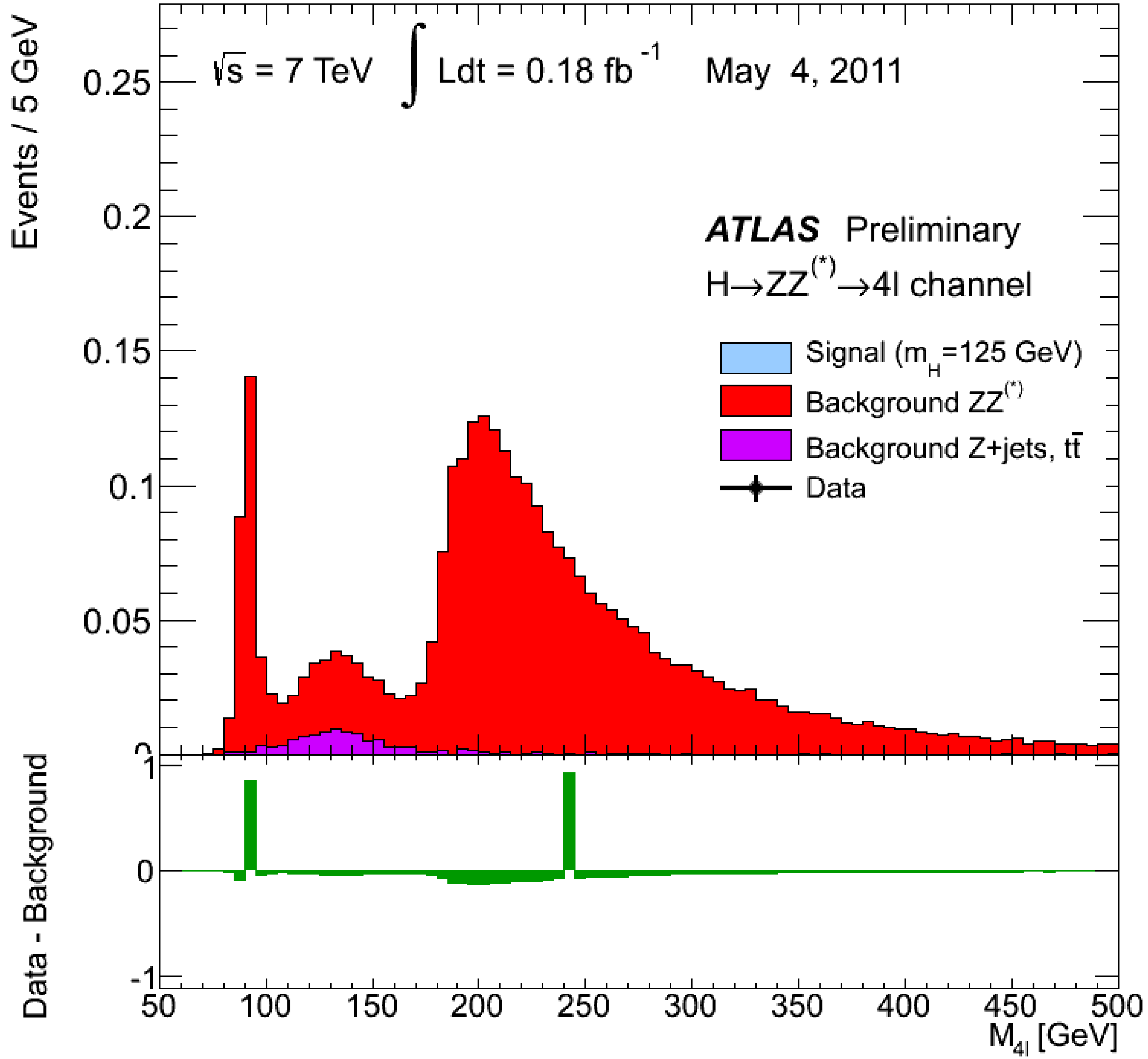
Higgs-Boson oder kein Higgs-Boson?

Schwarz = Daten

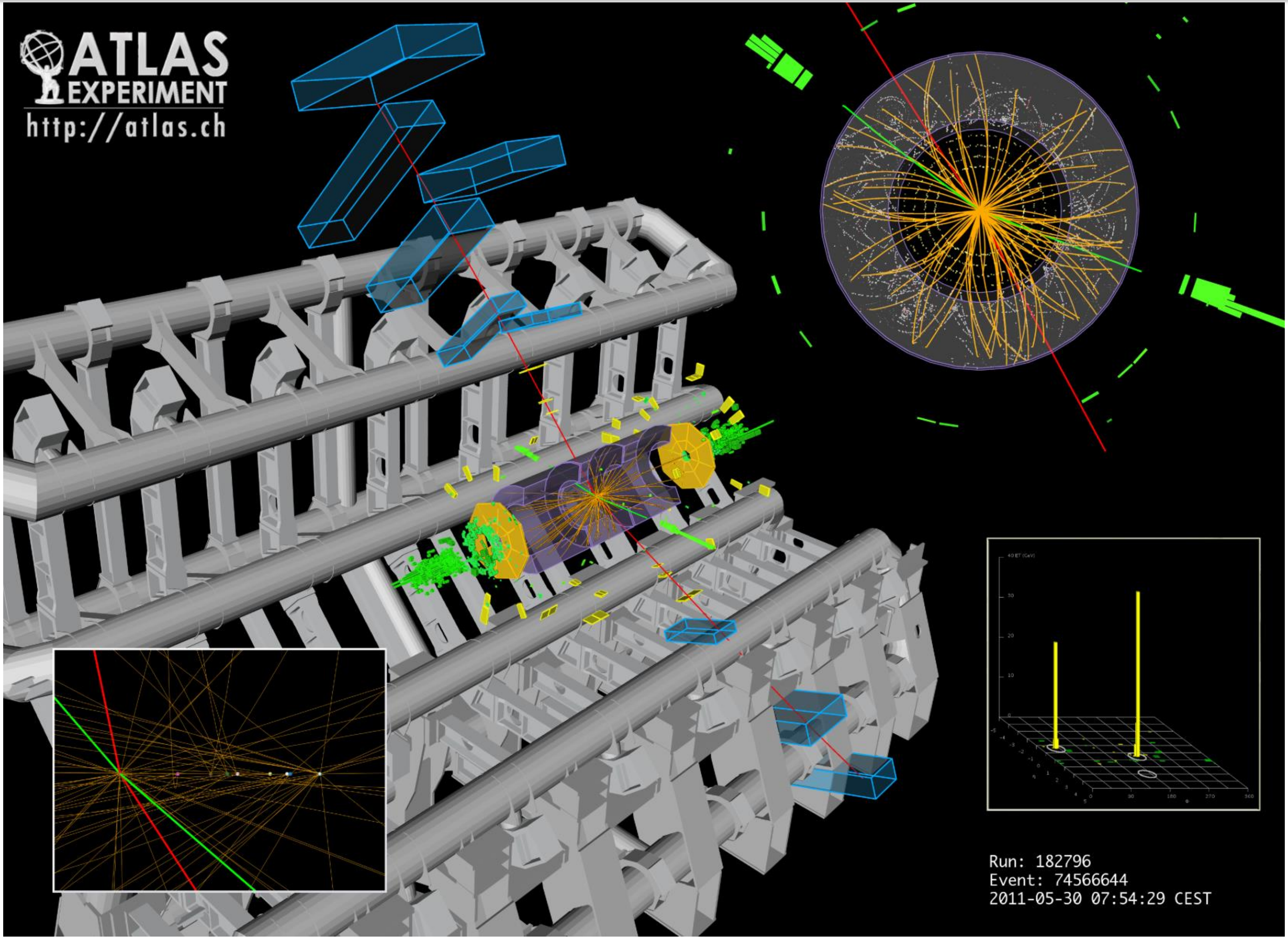
Nur rot= Kein Higgs, nur Untergrund

Rot+blau = Higgs + Untergrund



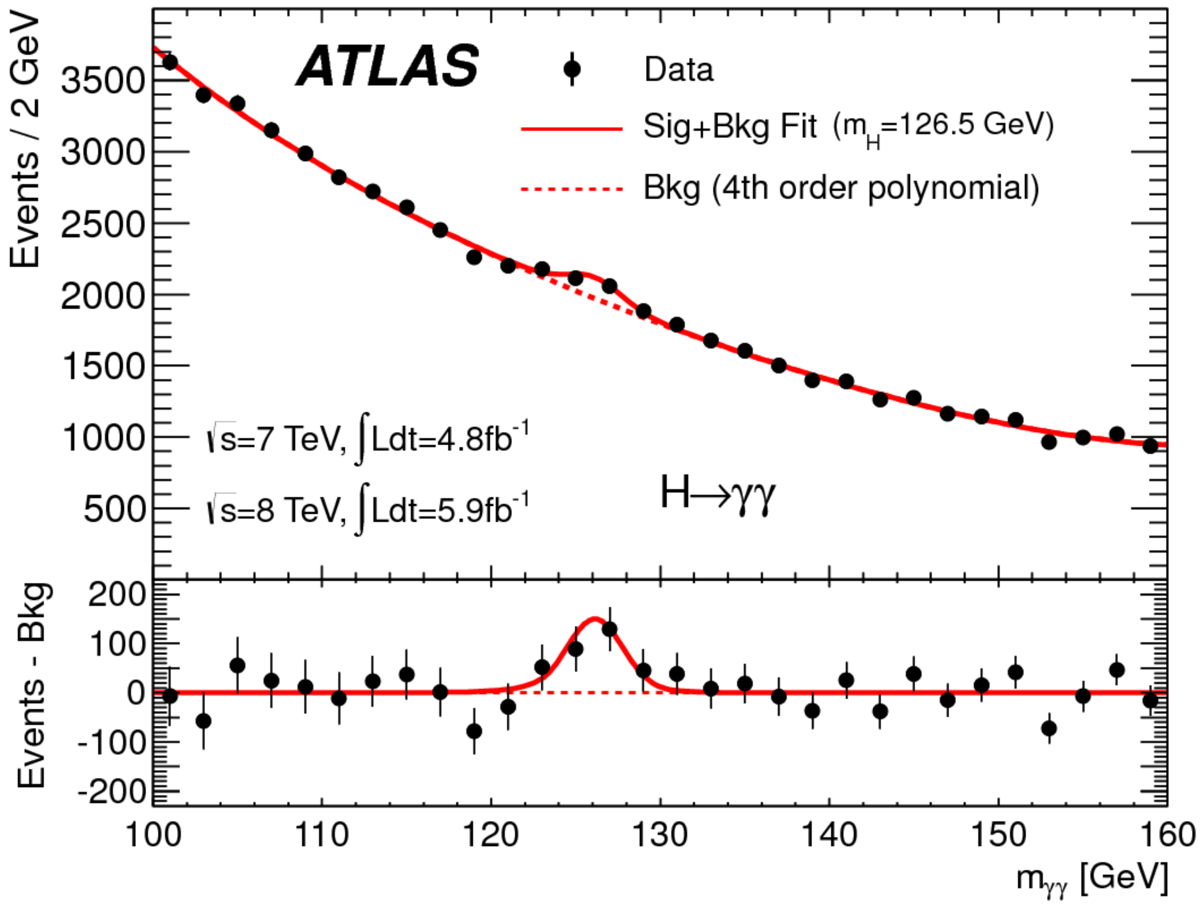


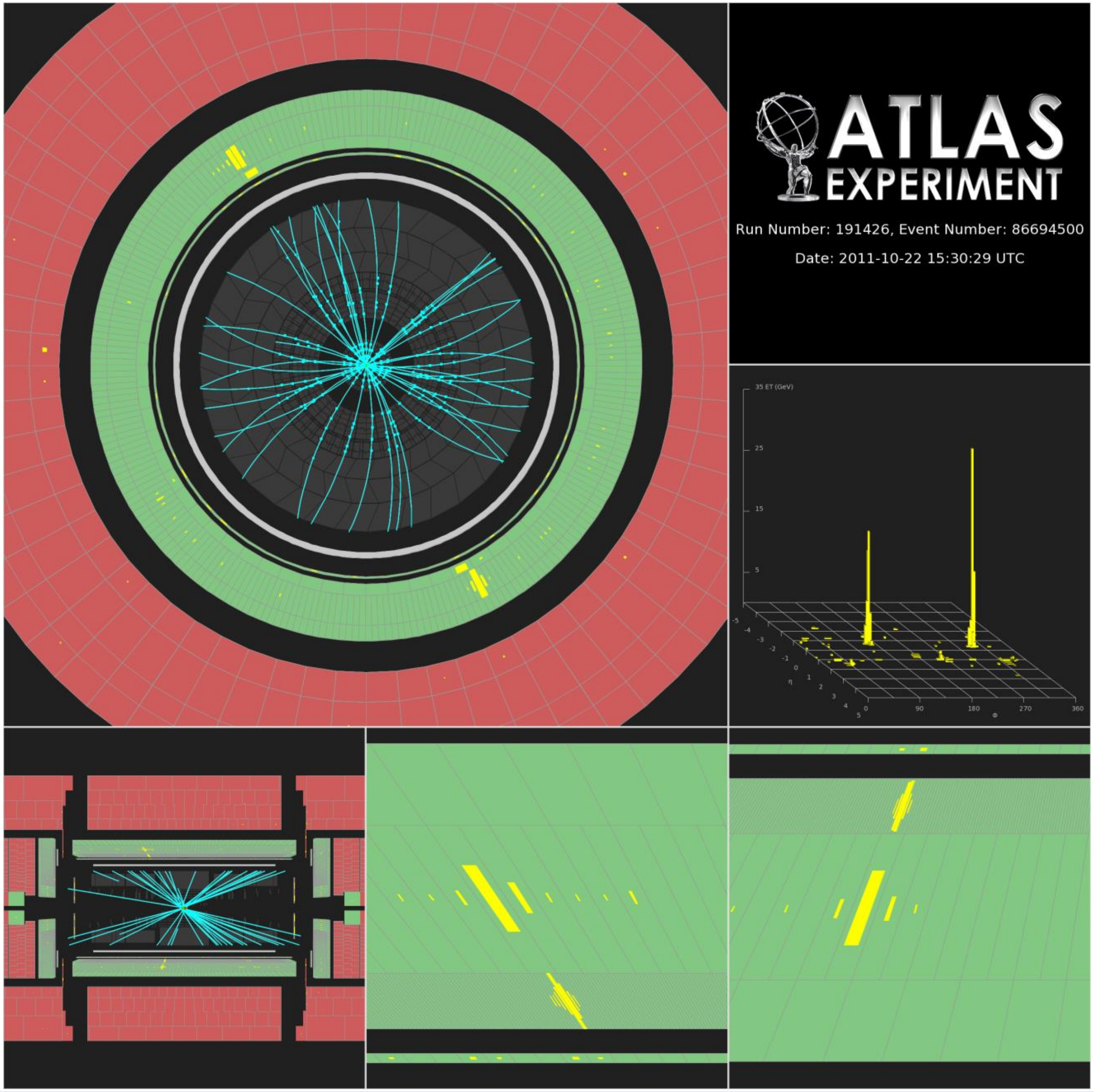
√s = 7 TeV ∫ Ldt = 0.18 fb -1 May 4, 2011
ATLAS Preliminary
H→ZZ(*)→4l channel
Signal (mH=125 GeV)
Background ZZ(*)
Background Z+jets, tt̄
Data
Events / 5 GeV
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
Data - Background
1
0
-1
50
100
150
200
250
300
350
400
450
500
M4l [GeV]



H→ZZ Kandidat 124,3GeV

H→γγ


ATLAS
Data
Sig+Bkg Fit (m_H=126.5 GeV)
Bkg (4th order polynomial)
$\sqrt{s}$=7 TeV, $\int Ldt = 4.8 fb^{-1}$
$\sqrt{s}$=8 TeV, $\int Ldt = 5.9 fb^{-1}$
H→γγ
Events / 2 GeV
Events - Bkg
$m_{\gamma\gamma}$ [GeV]
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
200
100
0
-100
-200
100
110
120
130
140
150
160

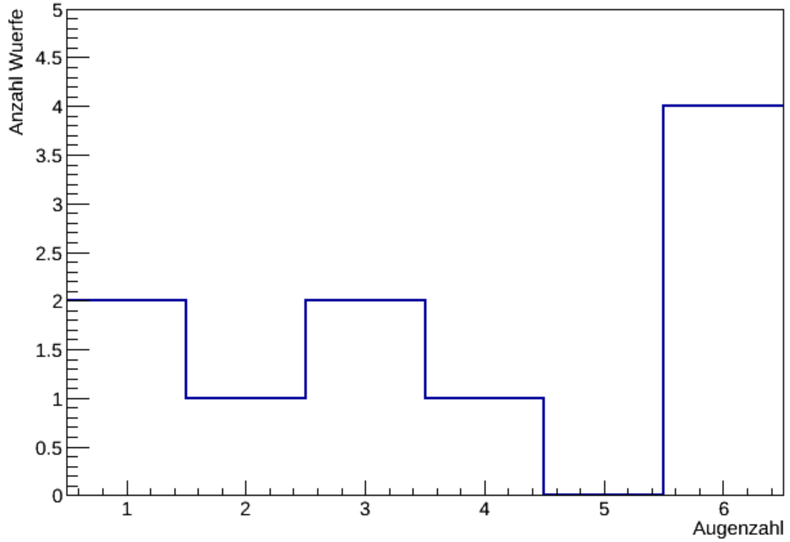


H→γγ
Kandidat

126,6GeV

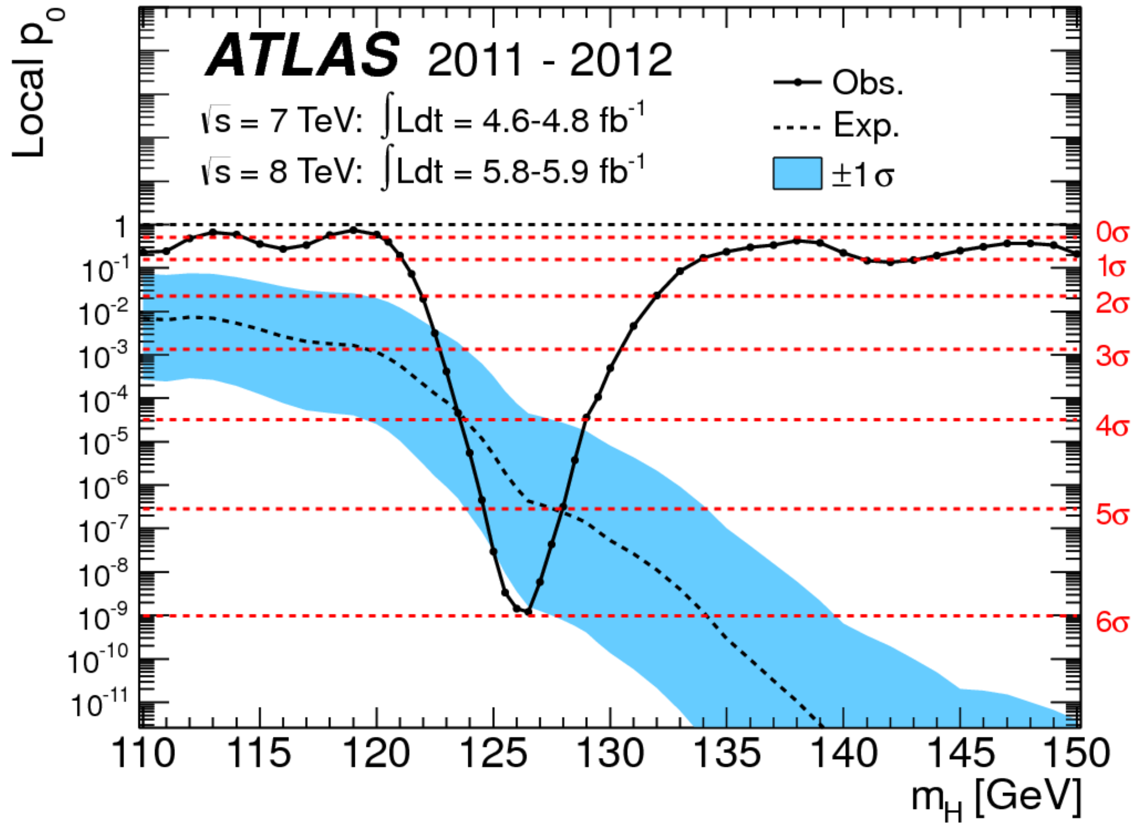
Wahrscheinlichkeiten

Teilchenphysik ist wie Würfeln



oder

Die Higgs-Entdeckung



Signal kann zufällig entstehen
→ Entdeckung erst, wenn Wahrscheinlichkeit für Zufall <0.000000287

Nobelpreis für F. Englert & P. Higgs

Oktober 2013

“for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN’s Large Hadron Collider.”

Was nun?

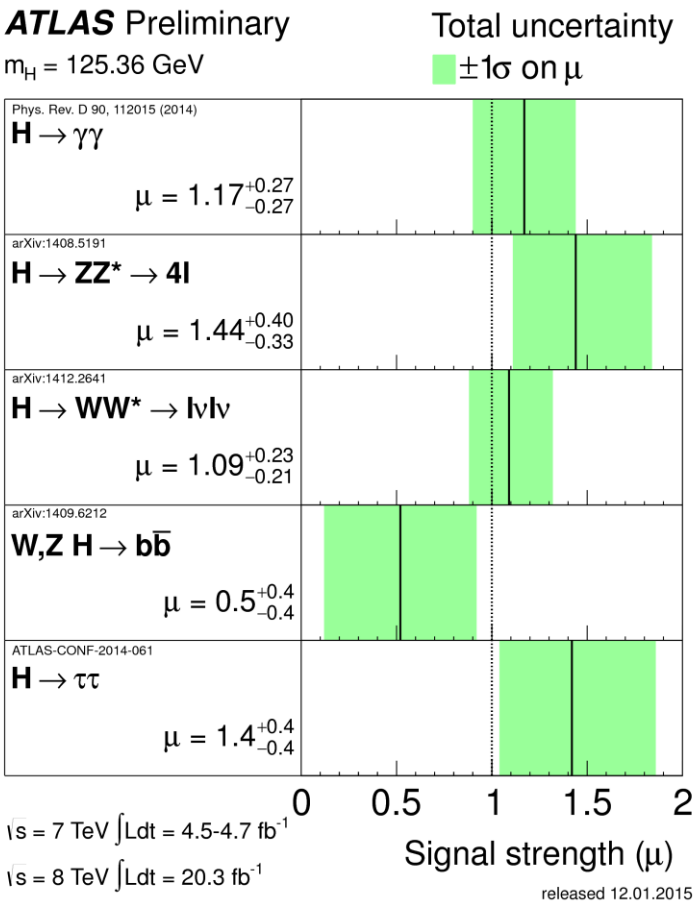
- Das Higgs-Boson bleibt wichtig

→Von der Entdeckung zum Ausmessen der Eigenschaften

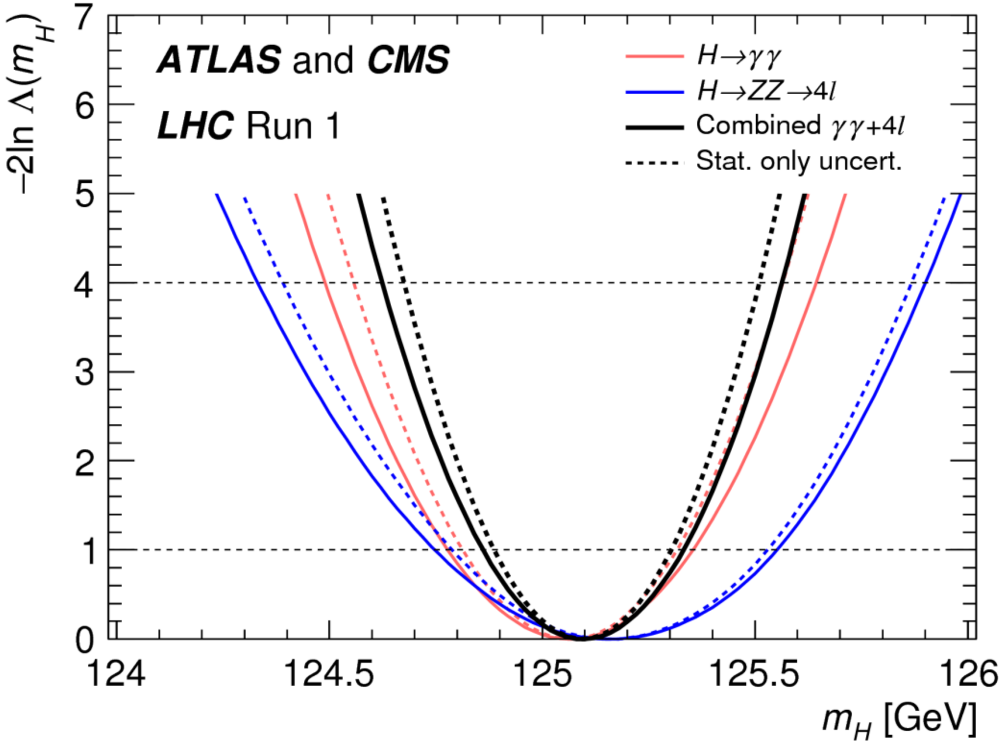
Gibt es ein Higgs-Boson oder mehrere?

Hat das Higgs-Boson die Interaktionsstärken, die wir erwarten?

Was ist seitdem passiert?



Messung in vielen Kanälen

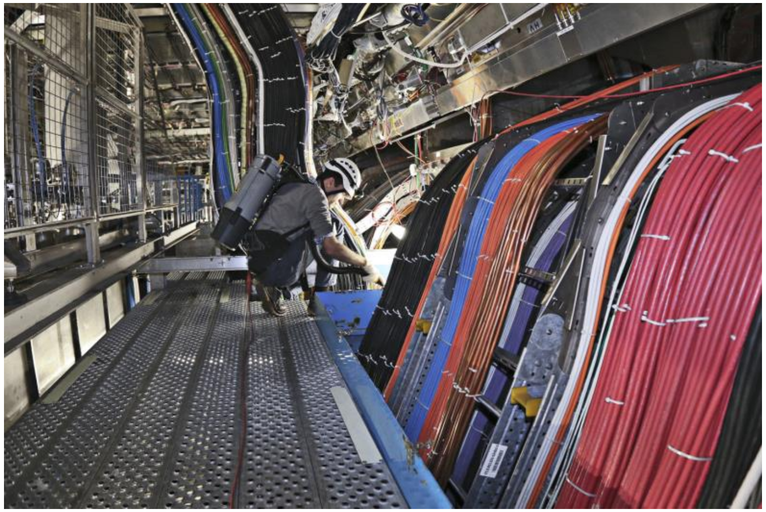


Masse: 125.09±0.21(stat.) ±0.11(syst.) GeV

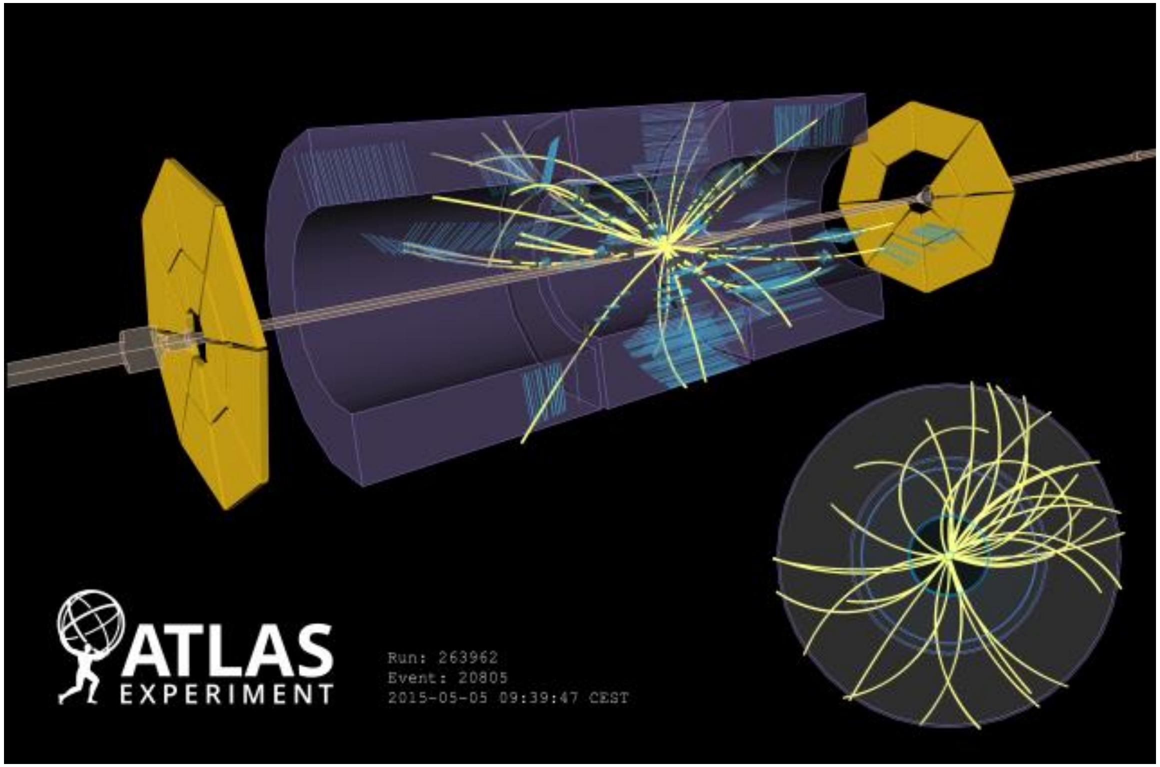
Entspricht 133 Protonen

Neustart des LHC

- nach 2 jähriger Pause zum Upgrade des LHC und der Detektoren
- November 2014 – Aufräumen und Putzen



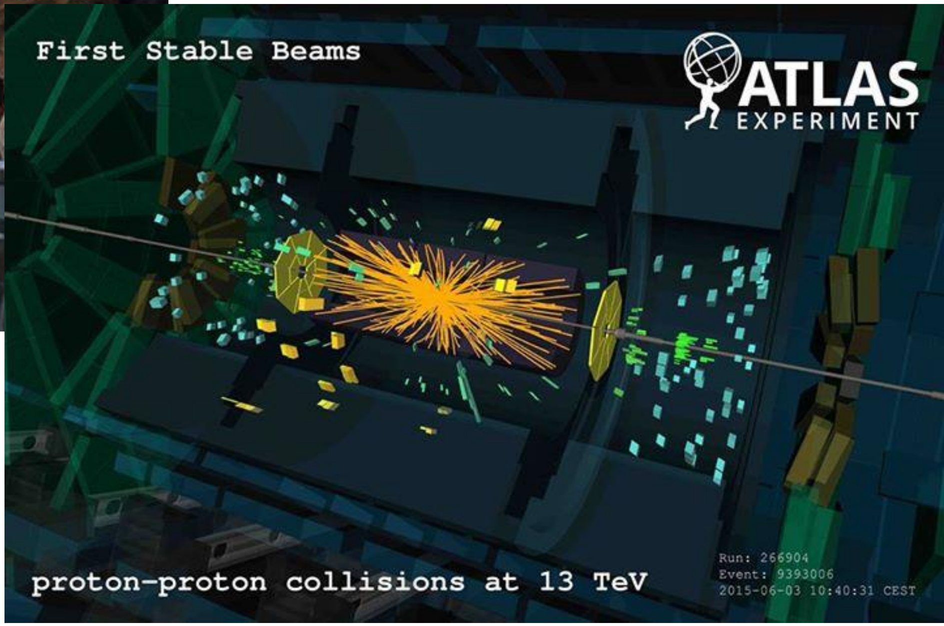
Erste Kollisionen



Kollisionen mit niedriger Energie zum Korrigieren der Triggersignale und Ausrichtung des Detektors.

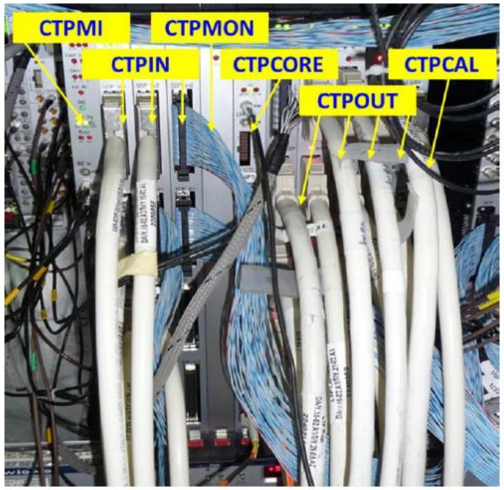
Erste 13 TeV Kollisionen

3. Juni



Es ist wieder spannend am LHC.
Vielen Dank.

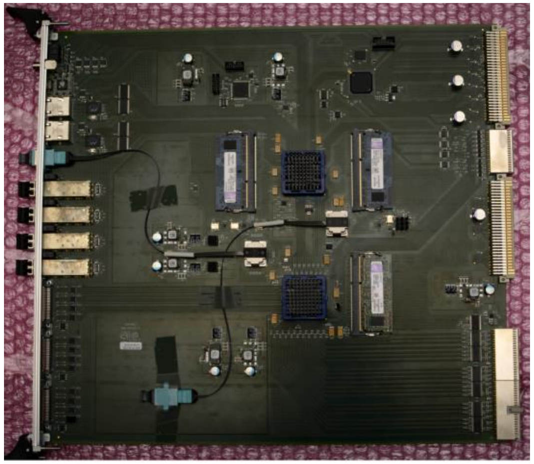
Meine Arbeit: Central Trigger Processor



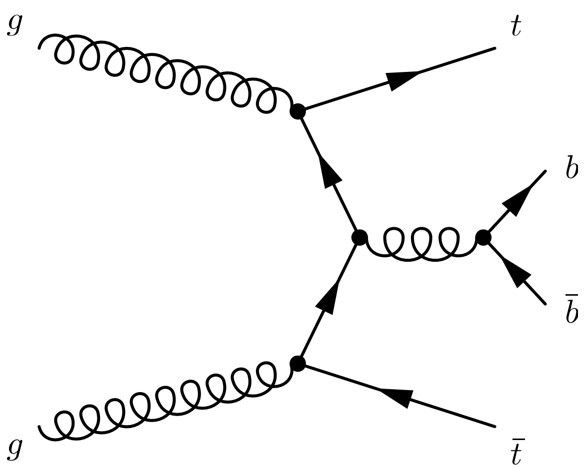
- Hardware-Trigger:

  Entscheidet welches 100 000 von 40 Millionen Ereignissen pro Sekunde aufgehoben werden

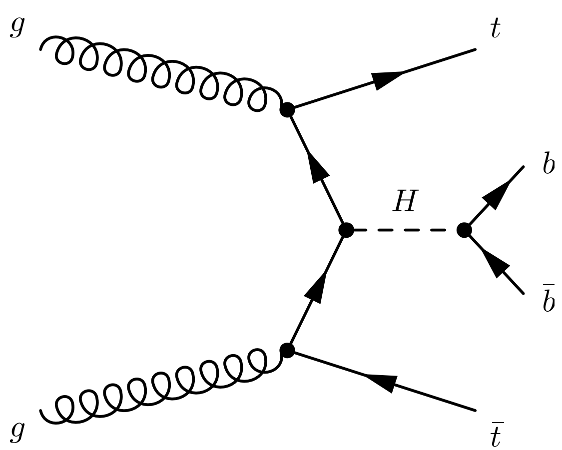
- Timing von ATLAS



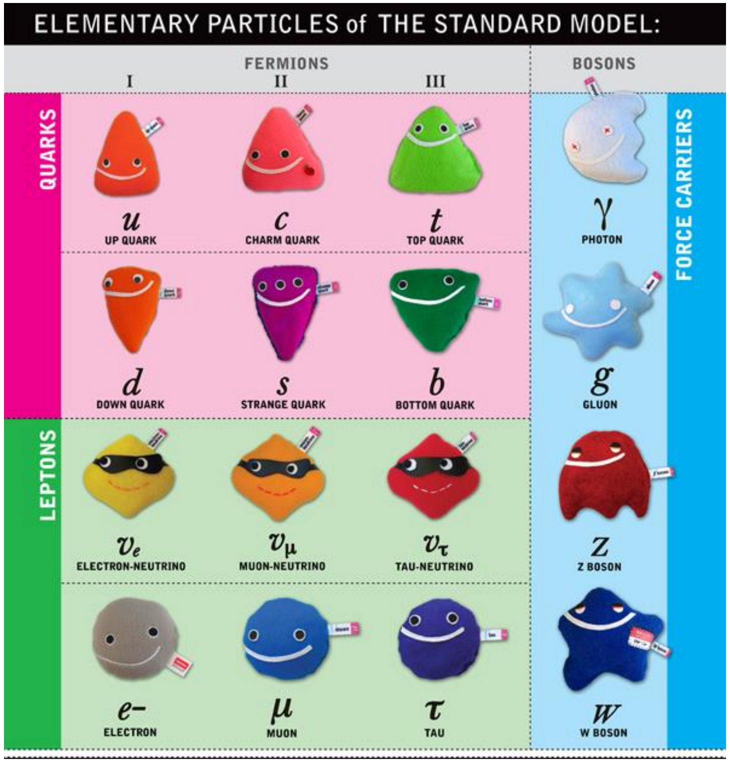
Meine Arbeit: tt+heavy flavour



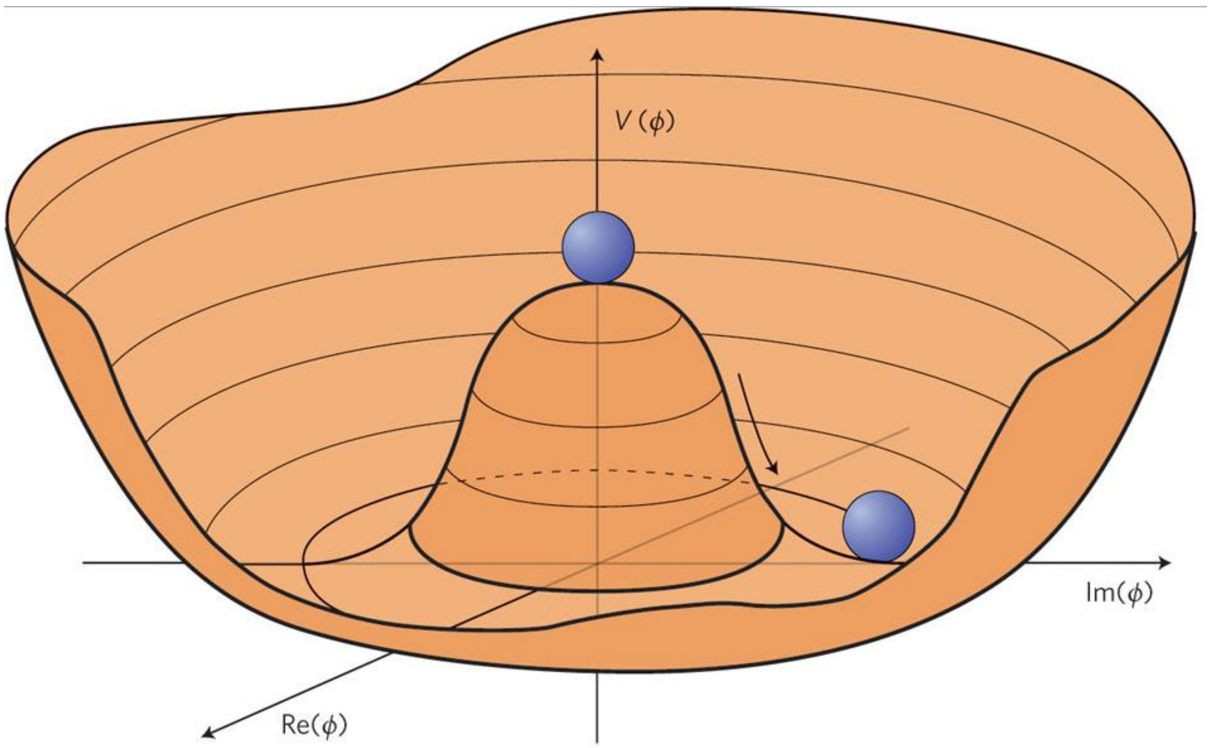
Feynman-Diagram
für tt+bb Produktion



Feynman-Diagram
für TtH Produktion

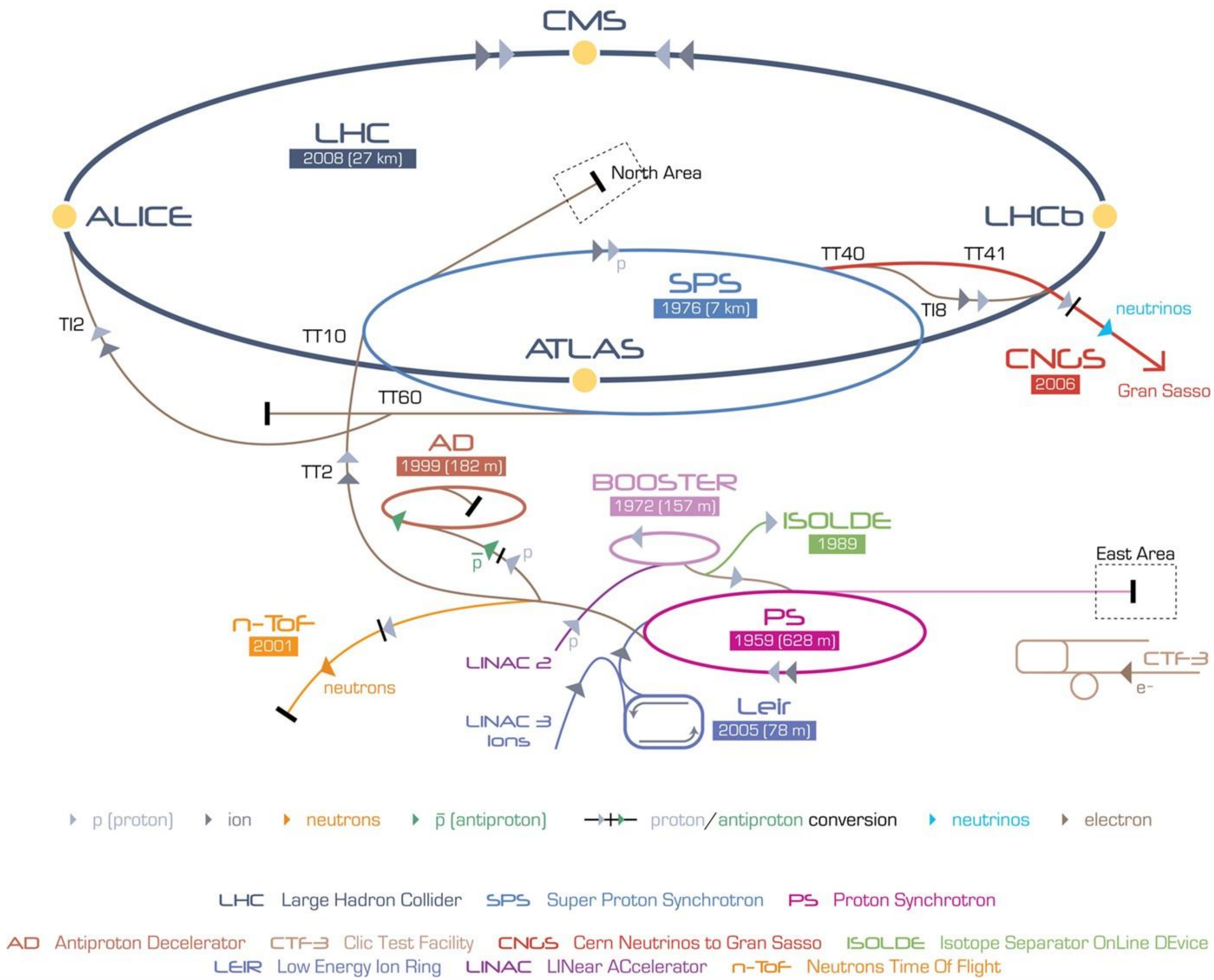


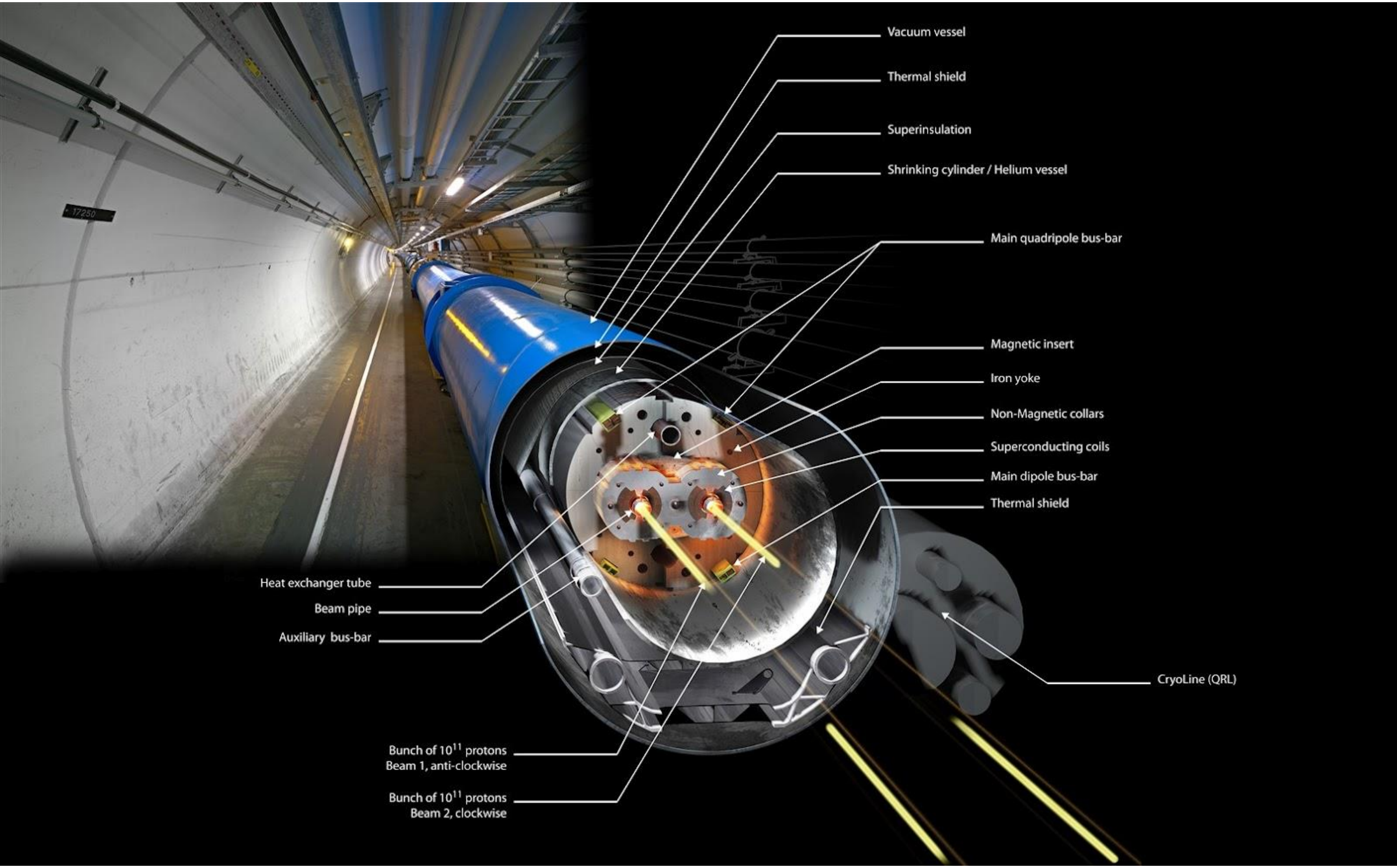
Spontane Symmetriebrechung



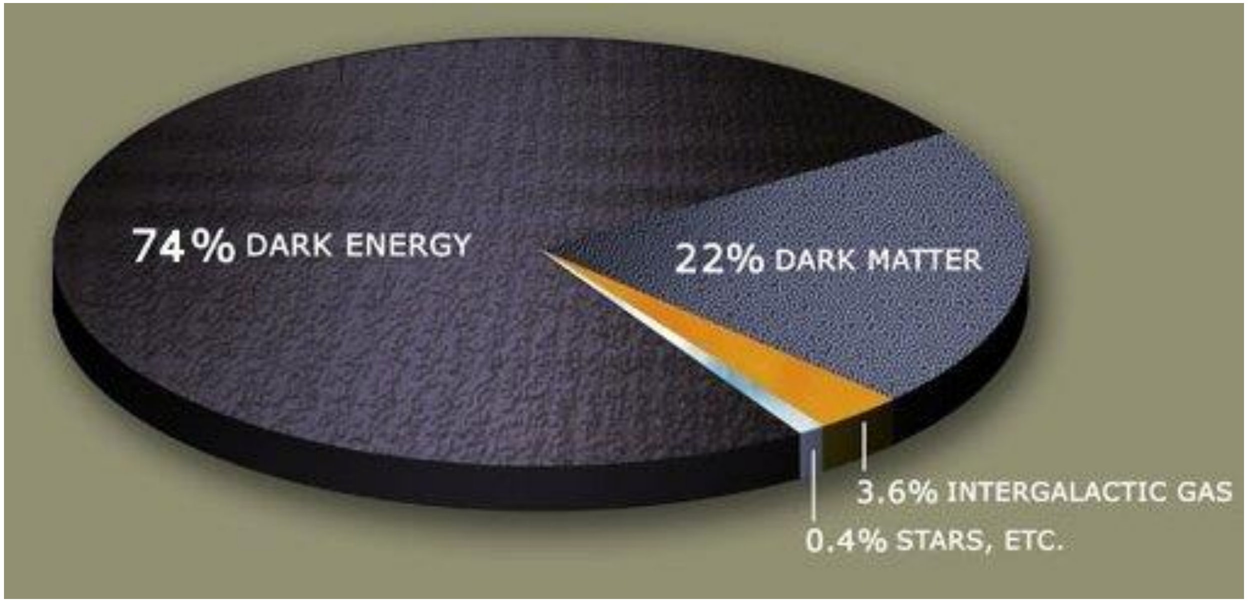
Theoretisch ist das Universum ist symmetrisch.
Praktisch ist stabiler Zustand nicht symmetrisch → Masse

Der CERN Beschleunigerkomplex



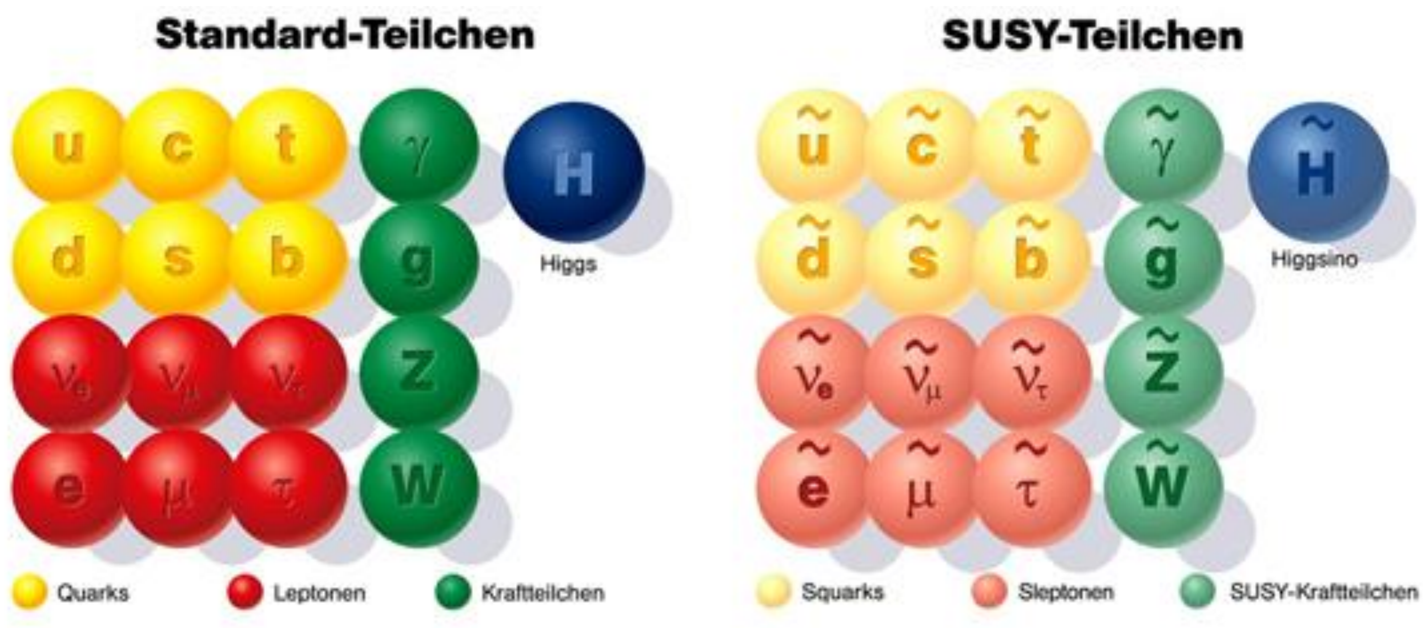

Vacuum vessel
Thermal shield
Superinsulation
Shrinking cylinder / Helium vessel
Main quadripole bus-bar
Magnetic insert
Iron yoke
Non-Magnetic collars
Superconducting coils
Main dipole bus-bar
Thermal shield
Heat exchanger tube
Beam pipe
Auxiliary bus-bar
CryoLine (QRL)
Bunch of 10^{11} protons
Beam 1, anti-clockwise
Bunch of 10^{11} protons
Beam 2, clockwise

Und ansonsten?



Wichtigste Frage der Teilchenphysik:
Woraus besteht dunkle Materie?

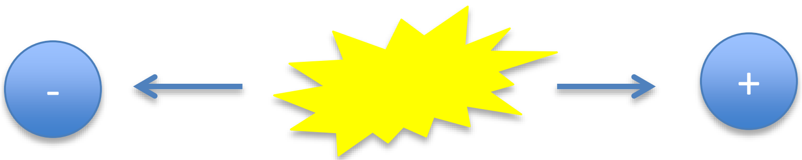
Supersymmetrie



Verdoppelt die Anzahl der Teilchen
Hat Teilchen, die wie dunkle Materie aussehen können
Hat mehr als ein Higgs-Boson

Wieso gibt es mehr Materie als Antimaterie?

- Materie und Antimaterie wird in Paaren erzeugt



- Unser Universum besteht aus Materie
- Es gibt Mechanismen um mehr Materie als Antimaterie zu erzeugen, aber die Mechanismen im Standardmodell reichen nicht aus.