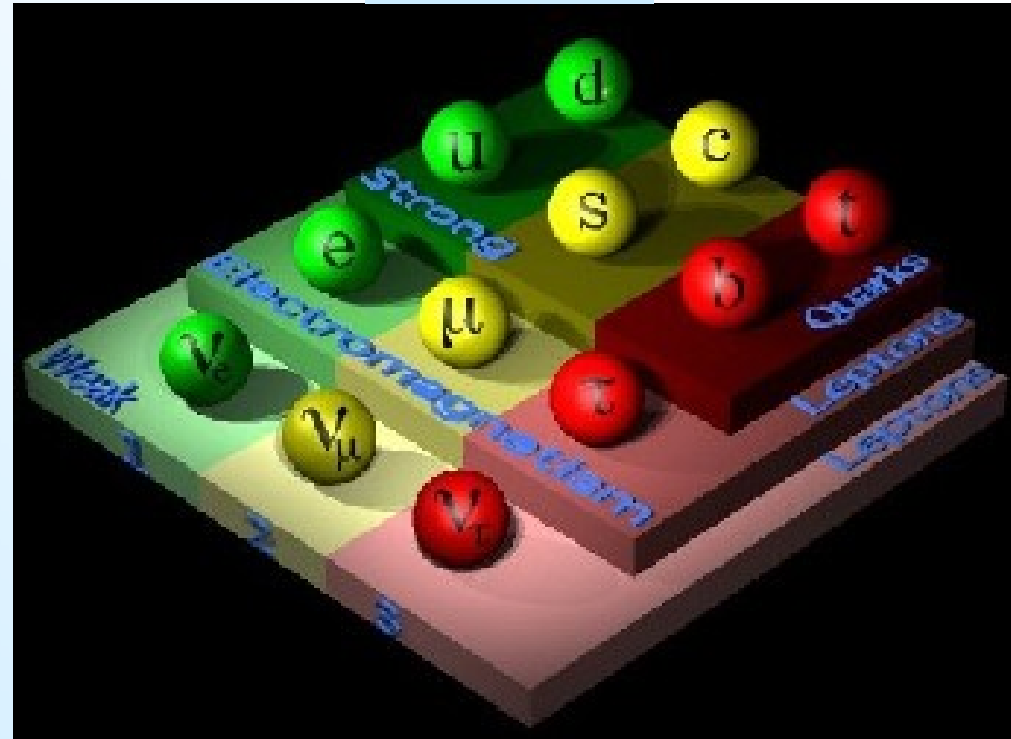
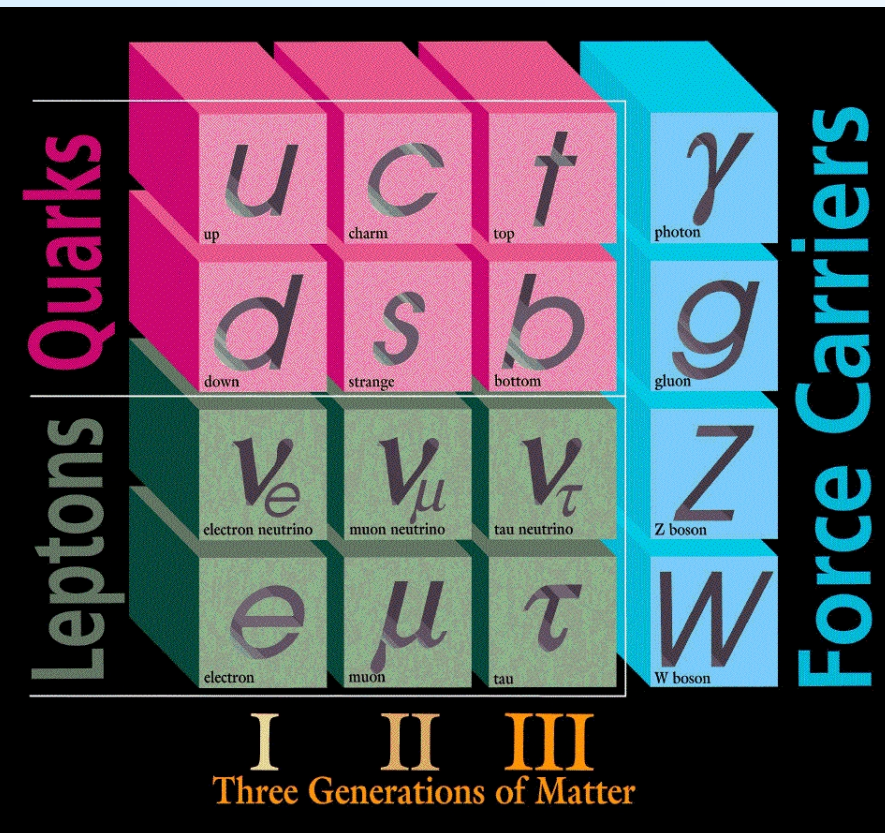


Suche nach dem Higgs-Boson und dem Ursprung der Massen der Elementarteilchen

Das Standardmodell der Elementarteilchen

Teilchen

Kräfte

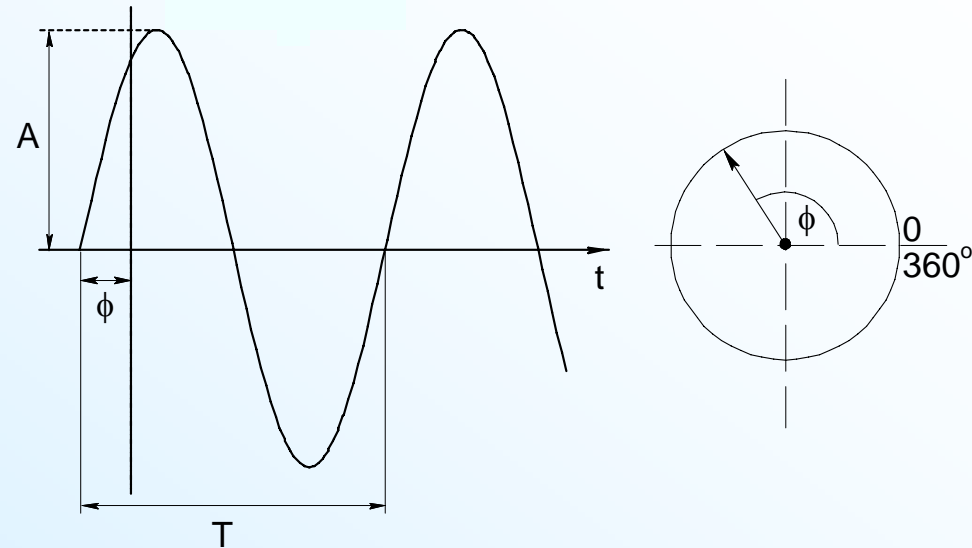


Das Standardmodell

Quantenmechanik und
Relativitätstheorie:

Elementarteilchen
beschrieben durch
Teilchenfelder,

Ausbreitung in Form
von Wellen mit
Amplitude A und
Phasenwinkel ϕ .



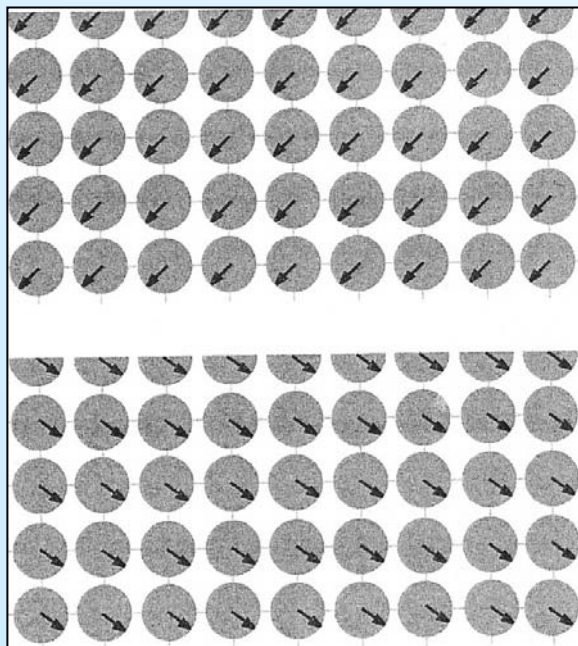
$$A \sin(t/T + \phi)$$

Alle Wechselwirkungen sind festgelegt durch ein vereinheitlichendes Symmetrieprinzip (lokale Eichsymmetrie):

Physikalische Gesetzmäßigkeiten unverändert bei lokalen Phasenänderungen der Teilchenfelder, kompensiert durch Eichfeld = Wechselwirkung.

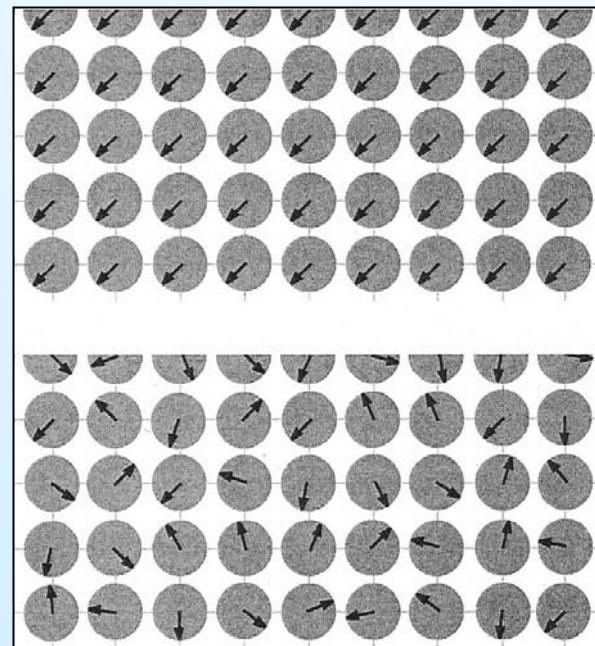
Globale
Phasen-
änderung

⇓
Ladungs-
erhaltung



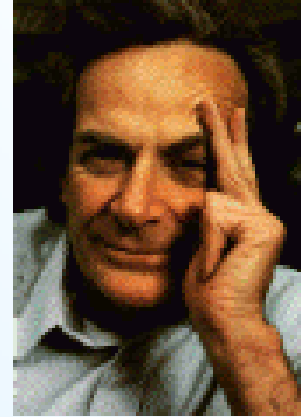
Lokale
Phasen-
änderung

⇓
Kraft,
Eichfeld



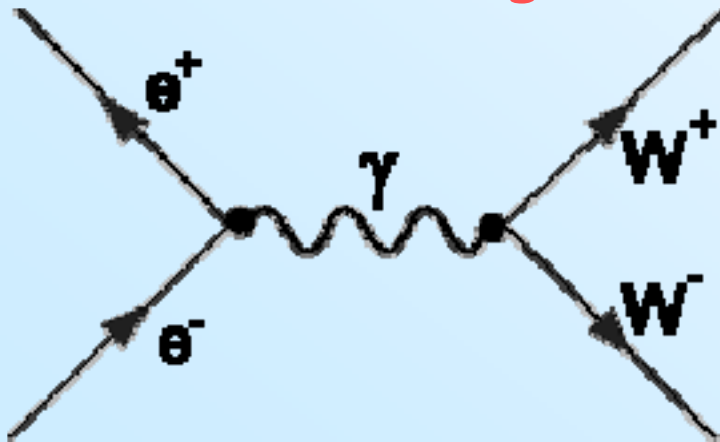
Das Standardmodell

Wechselwirkungen werden vermittelt durch den Austausch von Feldteilchen

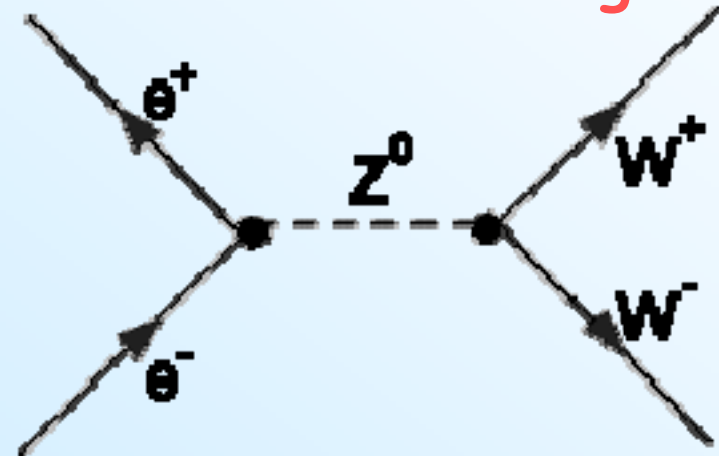


R.Feynman

Elektromagnetische Wechselwirkung

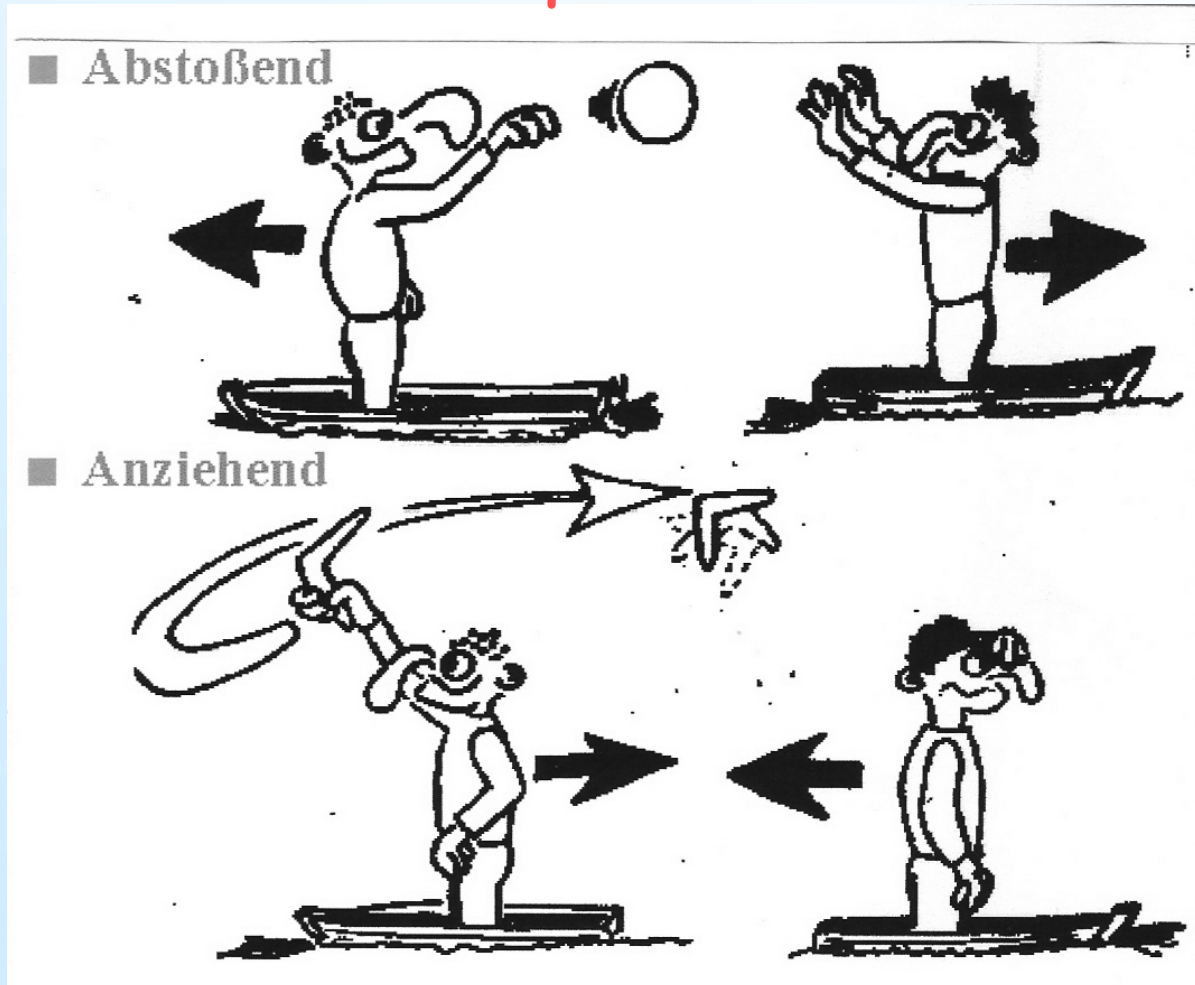


(Elektro-) schwache Wechselwirkung



Das Standardmodell

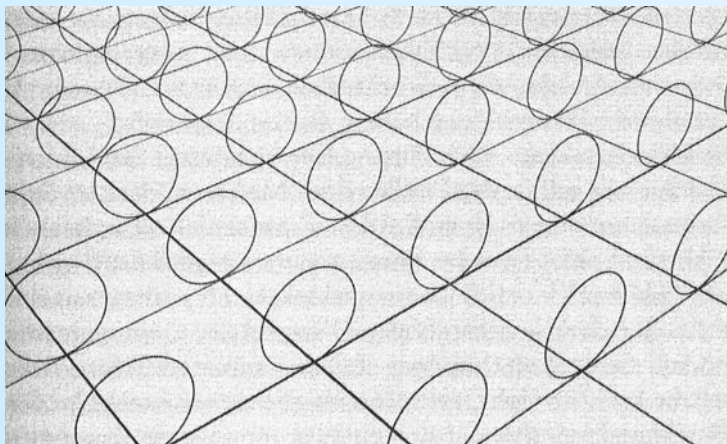
Wechselwirkungen vermittelt durch den Austausch von Feldquanten:



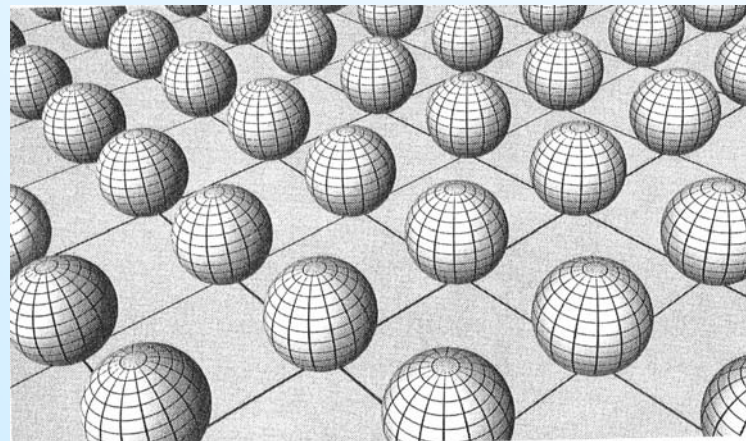
Die Wechselwirkungen unterscheiden sich durch die Zahl der veränderlichen Phasenwinkel:

Kraft	Anzahl Winkel	wirkt auf	vermittelt durch
elektro- magnetische	1	elektrisch geladene Teilchen	Photon γ (masselos)
schwache	3	Quarks, Leptonen W^{\pm}, Z^0	W^+, W^-, Z^0 (massiv)
starke	8	Quarks und Gluonen	8 Gluonen (masselos)

1 Phasenwinkel



2 Phasenwinkel



Eichsymmetrien und Teilchenmassen

Die Eichsymmetrien verlangen **masselose Austauschteilchen** und **langreichweitige Kräfte**.

Die grossen Massen der **Austauschteilchen $W^{+/-}$, Z^0** sind verantwortlich für die Schwachheit und kurze Reichweite der **schwachen Wechselwirkung**:

$$M_W = 80 \times M_{\text{Proton}}, \quad M_Z = 90 \times M_{\text{Proton}}$$

Die **Massen der Quarks und Leptonen** verletzen die Eichsymmetrie der **schwachen Wechselwirkung**.

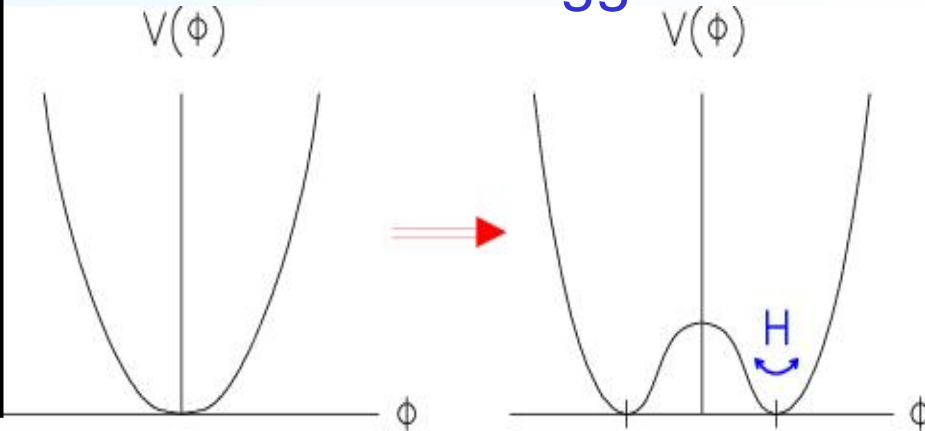
Ursprung der Teilchenmassen

Ausweg:

Spontane Brechung der Eichsymmetrie durch Wechselwirkung mit dem Higgs-Feld nach einem Phasenübergang.

Analogie zu Phasenübergängen in makroskopischer Materie:

Spontanes Auftreten des Higgs-Felds H

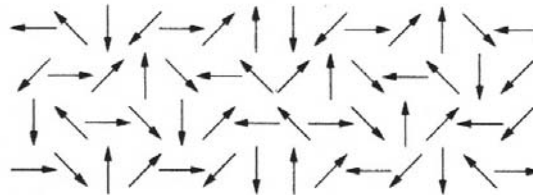


$T > T_c$

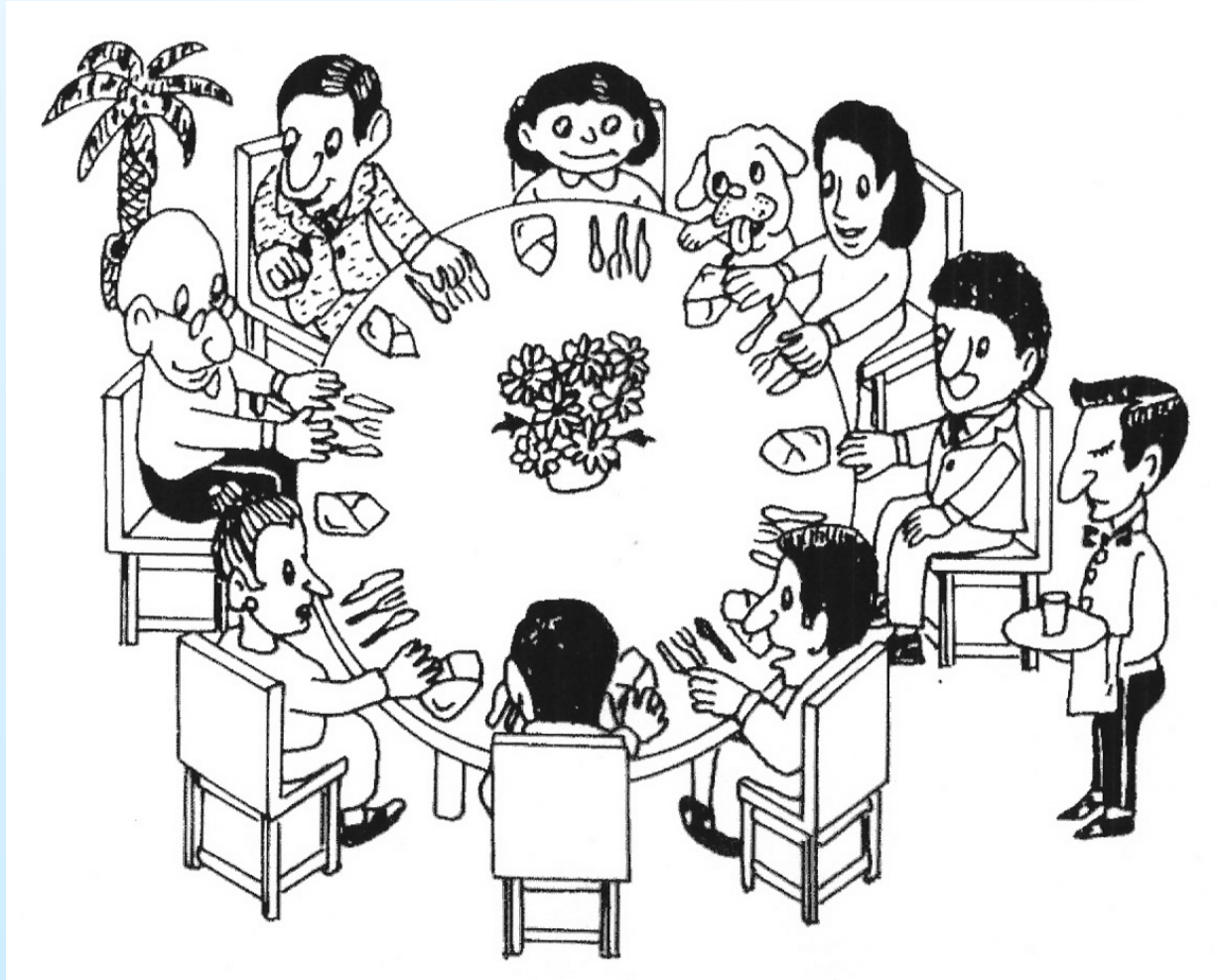
$T < T_c$

keine Magnetisierung

spontane Magnetisierung

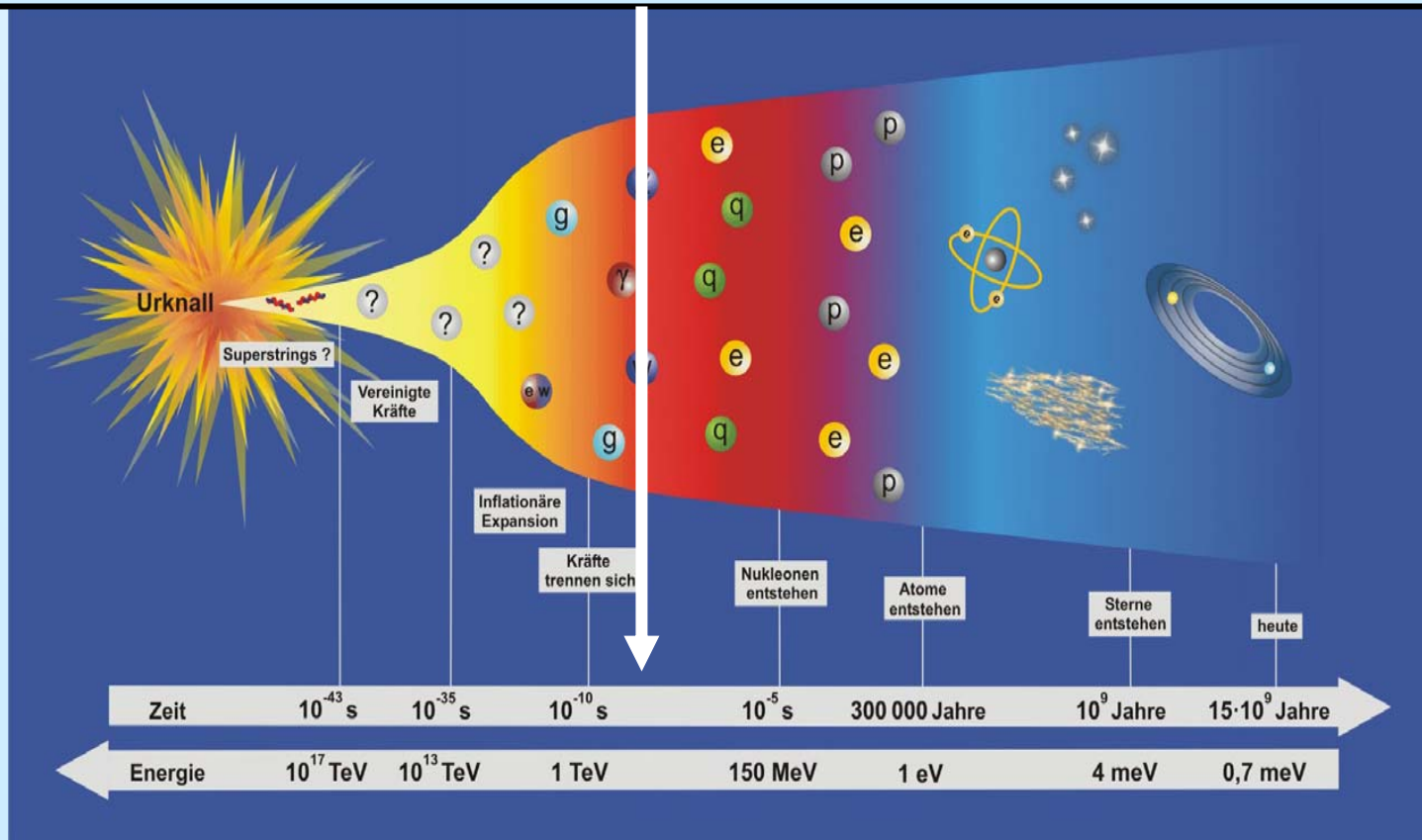


Spontane Symmetriebrechung



Ursprung der Teilchenmassen

Schwacher Phasenübergang im frühen Universum, 10^{-11} Sekunden nach dem Urknall bei einer Temperatur von 10^{15} Grad (entspricht kinetischen Teilchenenergien von der Grösse der W-Masse).



Ursprung der Teilchenmassen

Erzeugung der Massen der Elementarteilchen durch ihre Wechselwirkung mit dem Higgs-Feld

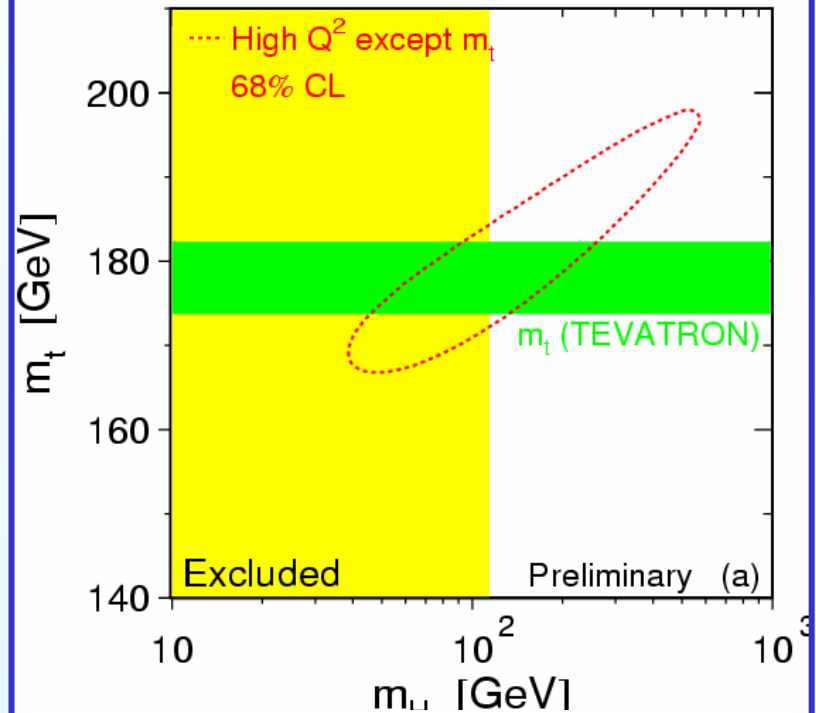
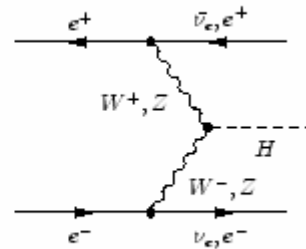
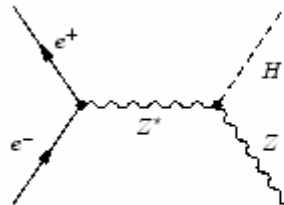


Das Higgs-Boson

- Das letzte noch nicht gefundene Teilchen des Standardmodels.
- Notwendig für die Konsistenz der Theorie.
- Die Masse des Higgs-Bosons wird nicht vorhergesagt.
- Experimentelle Grenzen:

$$114.4 \text{ GeV}/c^2 < M_H < 260 \text{ GeV}/c^2$$

Direkte Suche
bei LEP 2



Präzisionsmessungen
der elektro-schwachen
WW bei LEP u. Tevatron

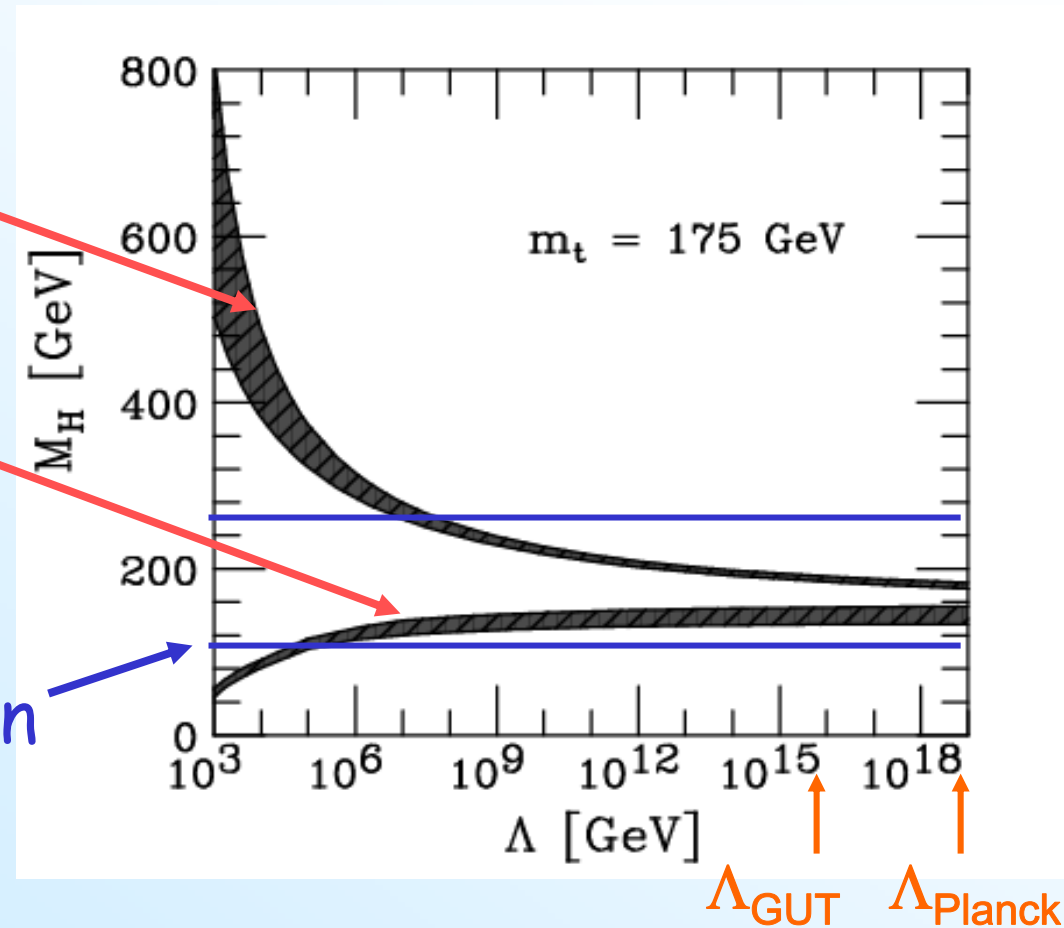
Das Higgs- Boson

Theoretische Grenzen
für die Higgs-Masse:

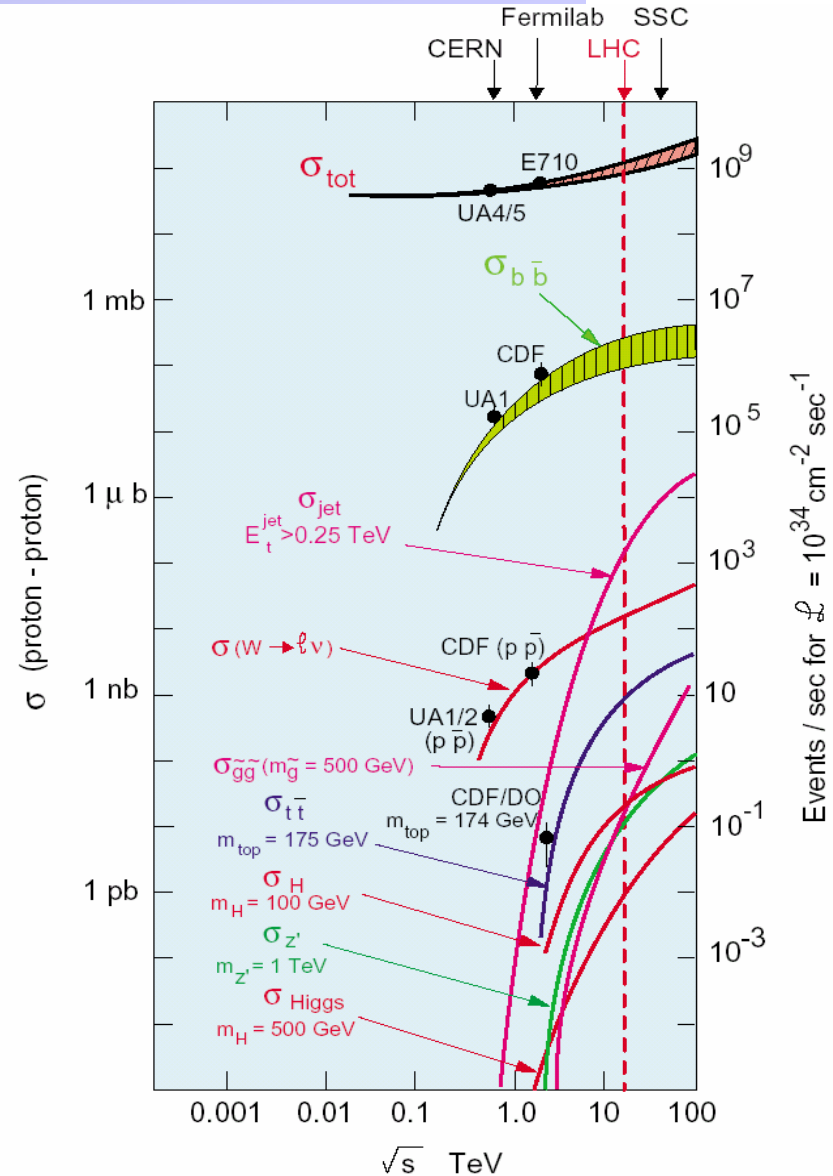
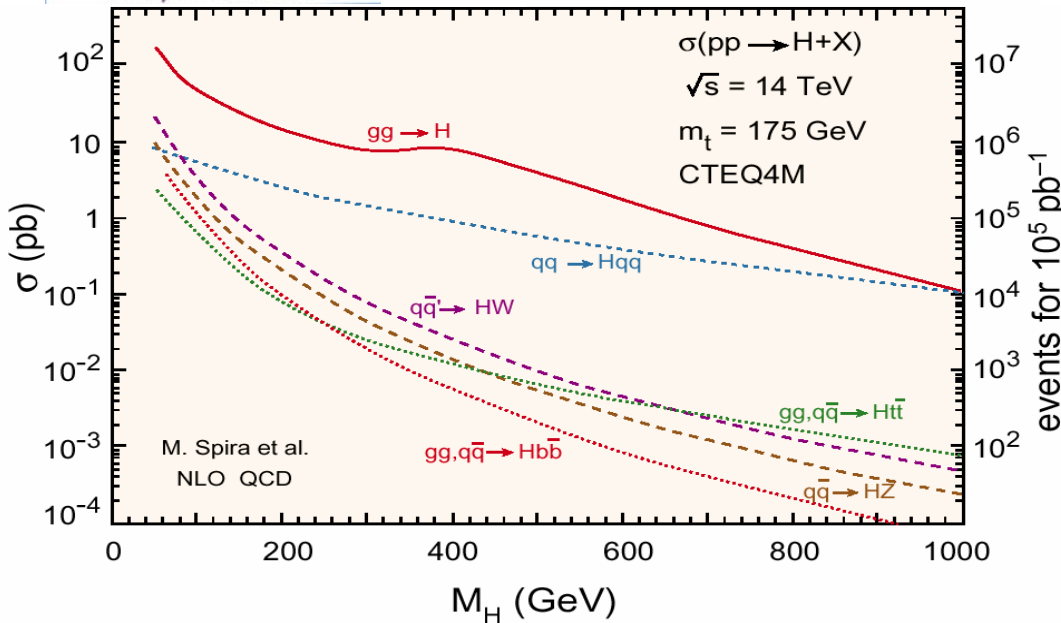
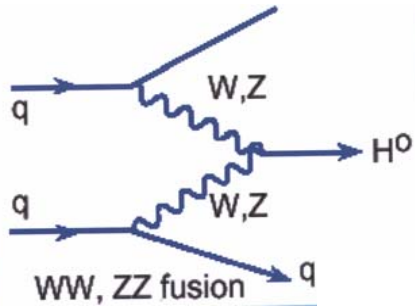
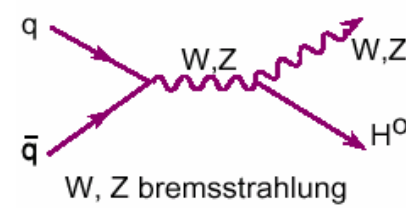
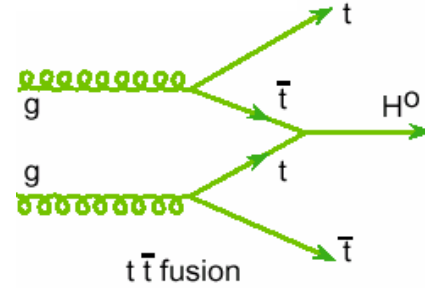
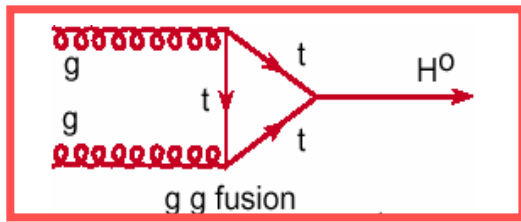
1) Endliche Higgs-Selbstwechselwirkung

2) Stabilität des Higgs-Grundzustands

Experimentelle Grenzen

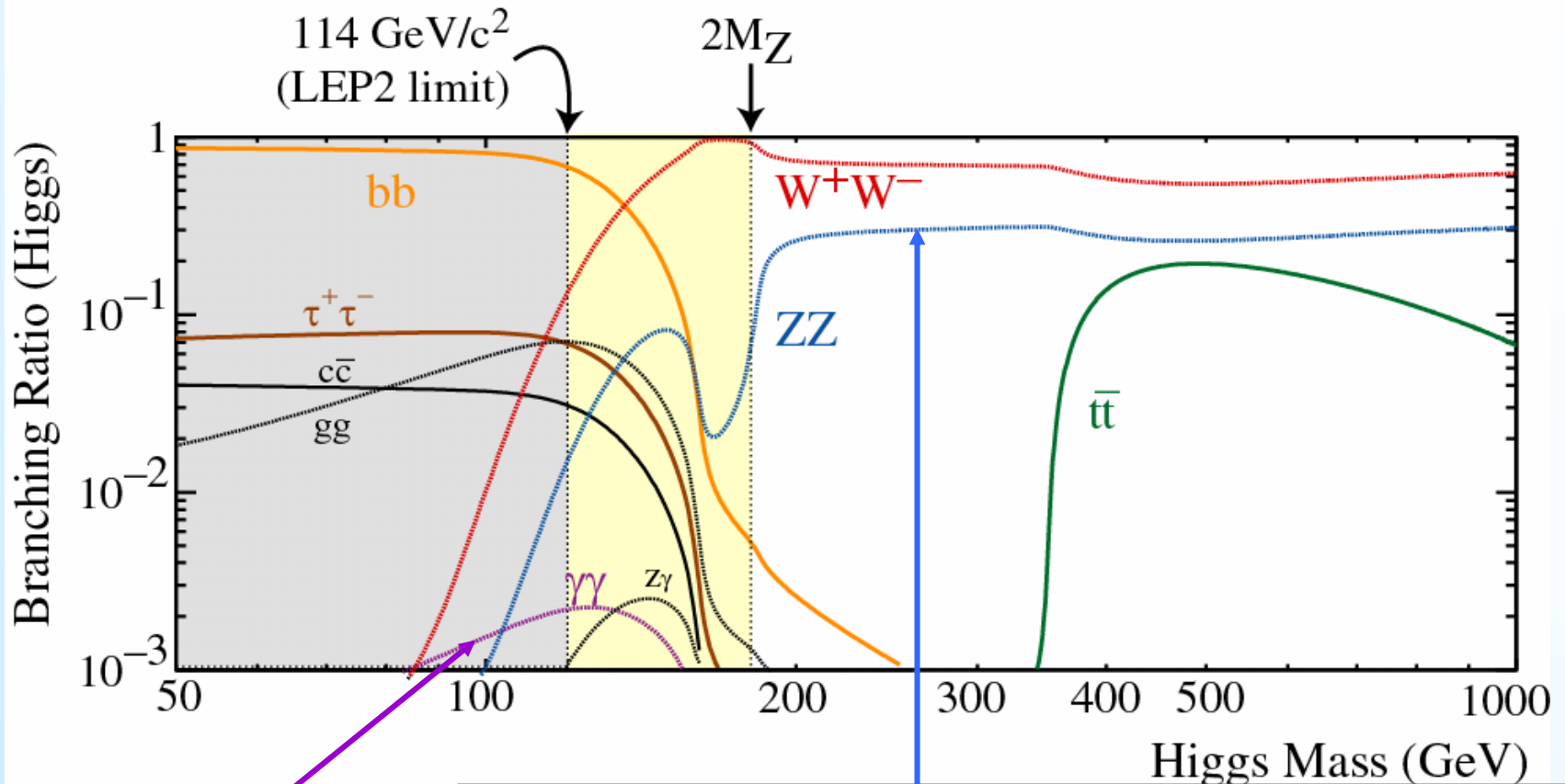


Higgs-Produktion in pp-Kollisionen

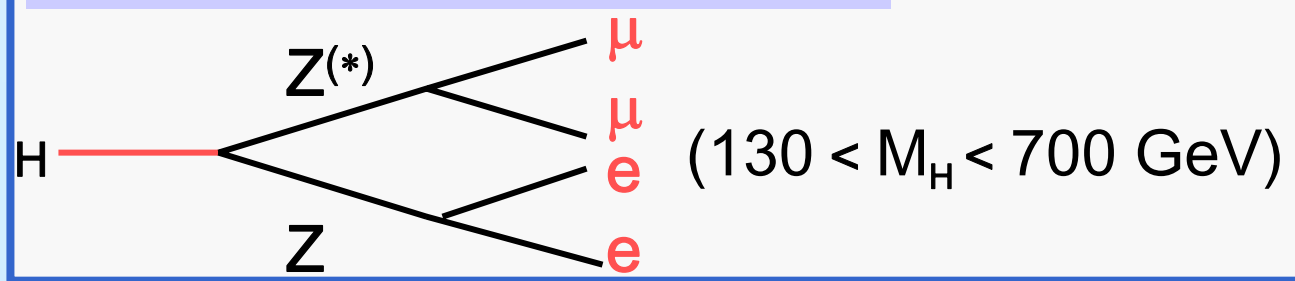
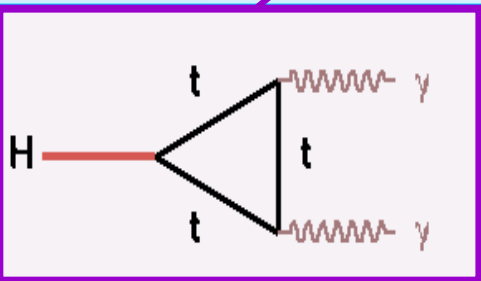


Nur 1 Higgs-Boson in $10^{10} - 10^{13}$ pp-Reaktionen!

Zerfälle des Higgs Bosons

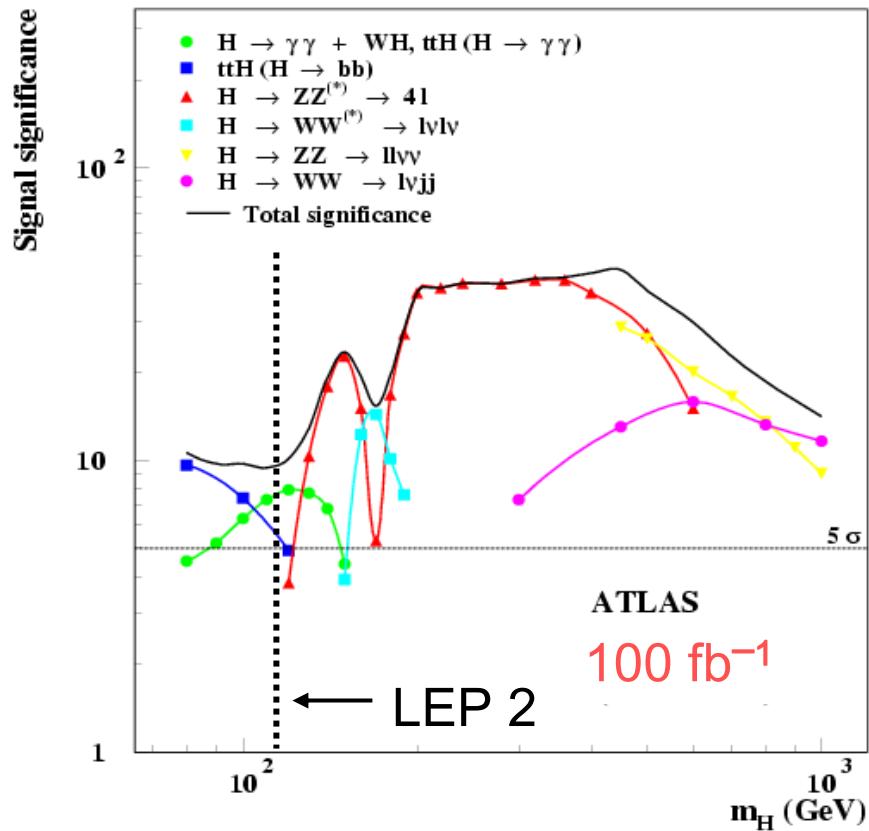


“Goldener Zerfall” am LHC:



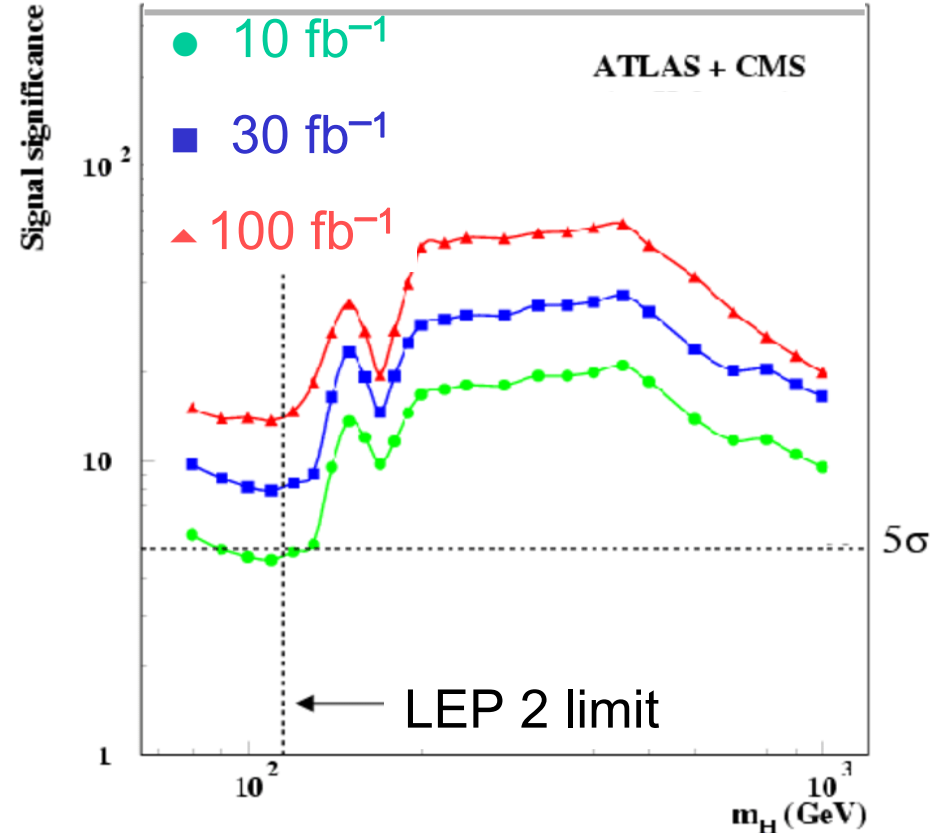
Suche nach dem Higgs- Boson

ATLAS nach 4 Jahren



ATLAS + CMS

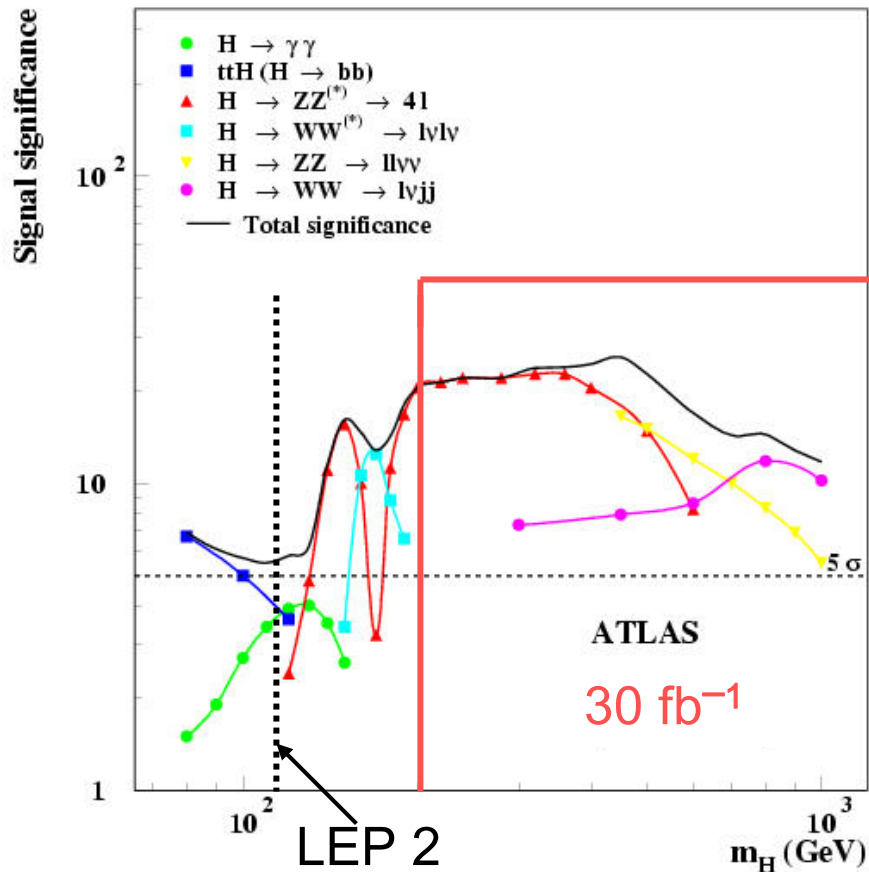
nach 1 Jahr nach 3 Jahren



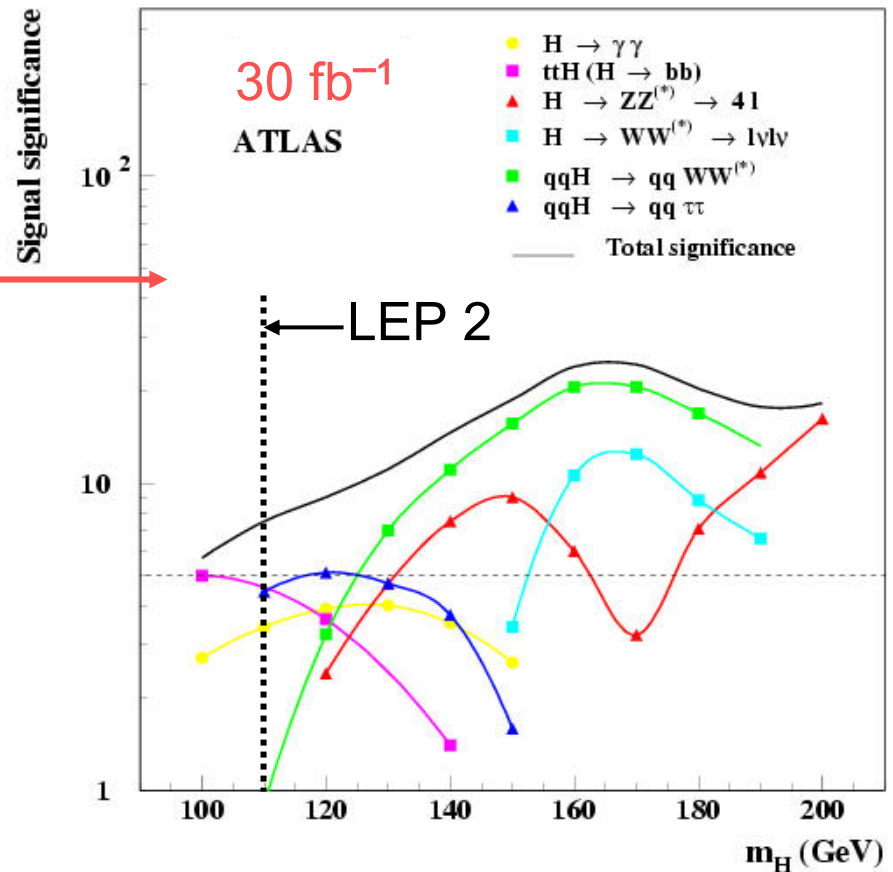
$H \rightarrow \gamma\gamma$ $H \rightarrow \mu\mu \mu\mu$ $H \rightarrow WW$

Suche nach dem Higgs Boson

ATLAS nach 3 Jahren



ohne WW-, ZZ-Fusion

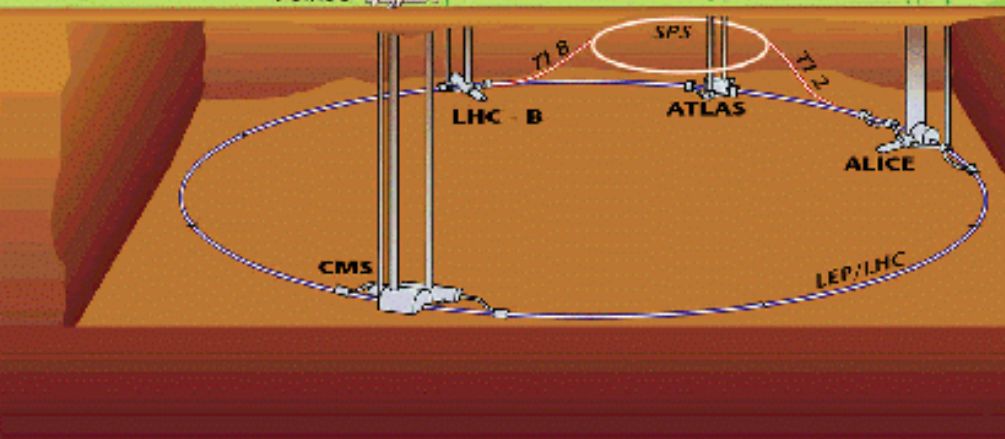
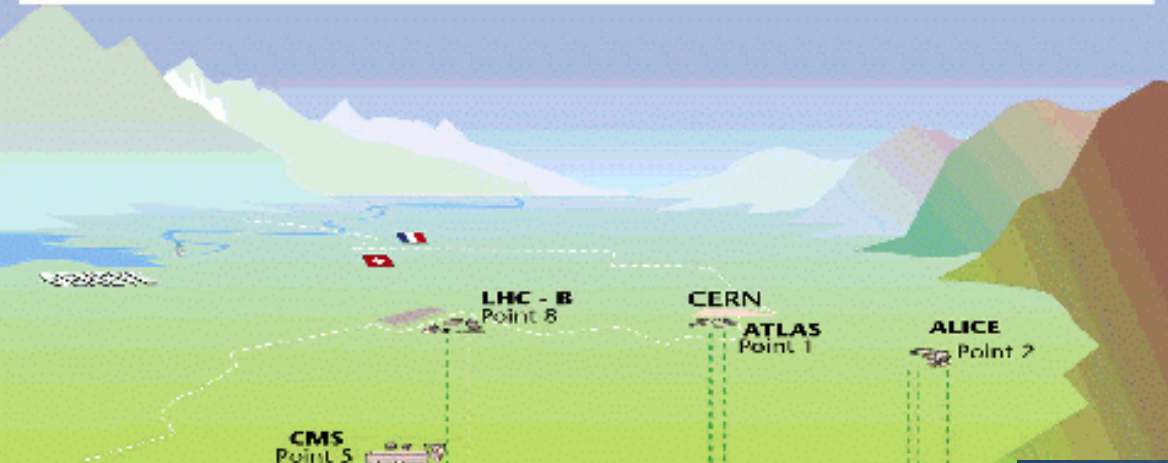


Mit WW-, ZZ-Fusion mit

$H \rightarrow WW, H \rightarrow \tau\tau$

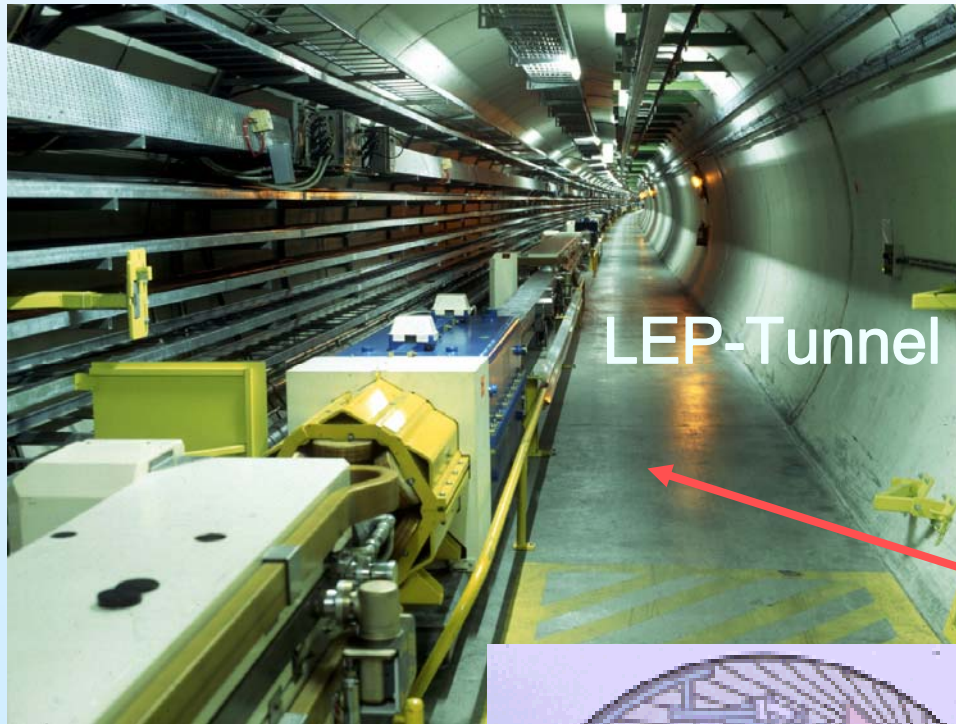
Der Large Hadron Collider (LHC)

Overall view of the LHC experiments.

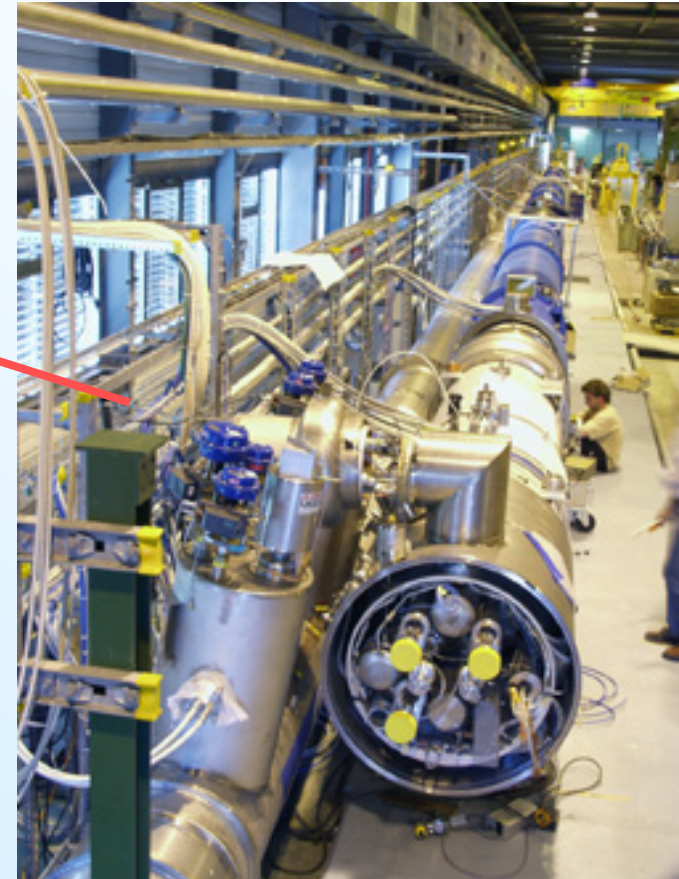
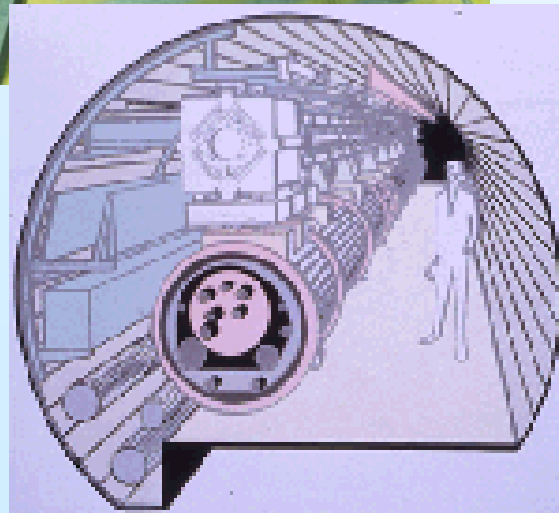


Der Large Hadron Collider

1250 supraleitende
Dipolmagnete mit
 1.6×10^9 km SL Kabel
(2 x Erdumlaufbahn
um die Sonne)

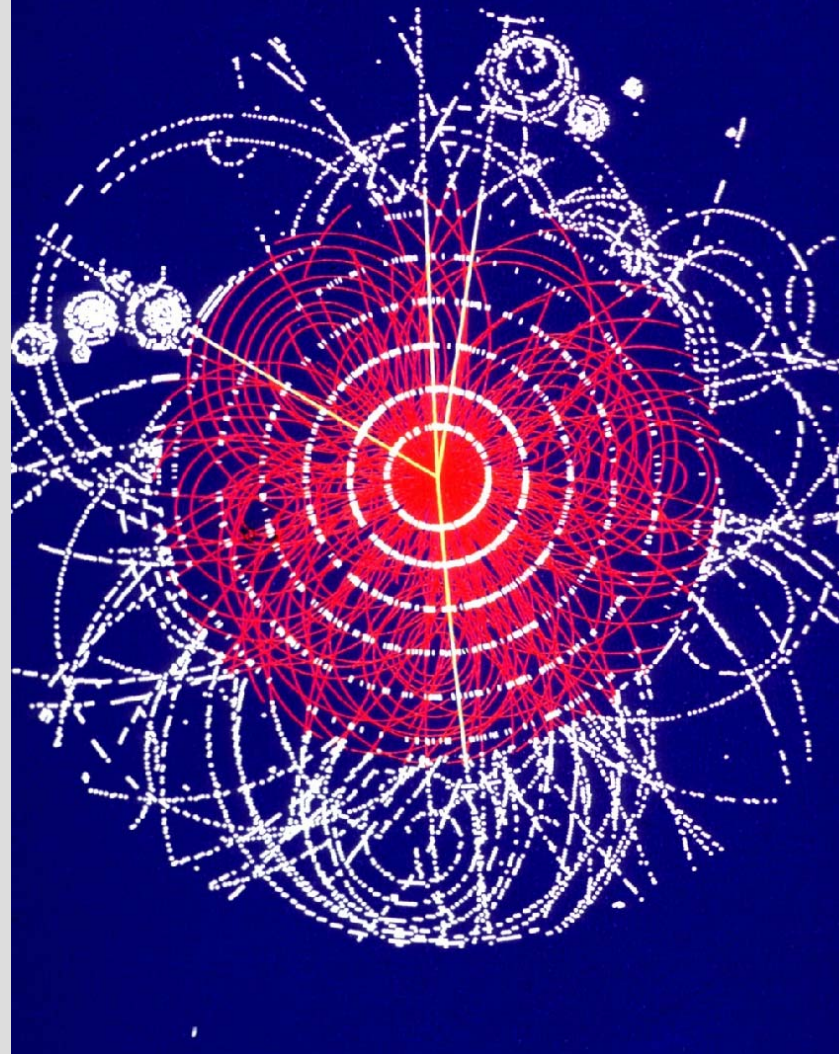


LEP-Tunnel




Der Large Hadron Collider

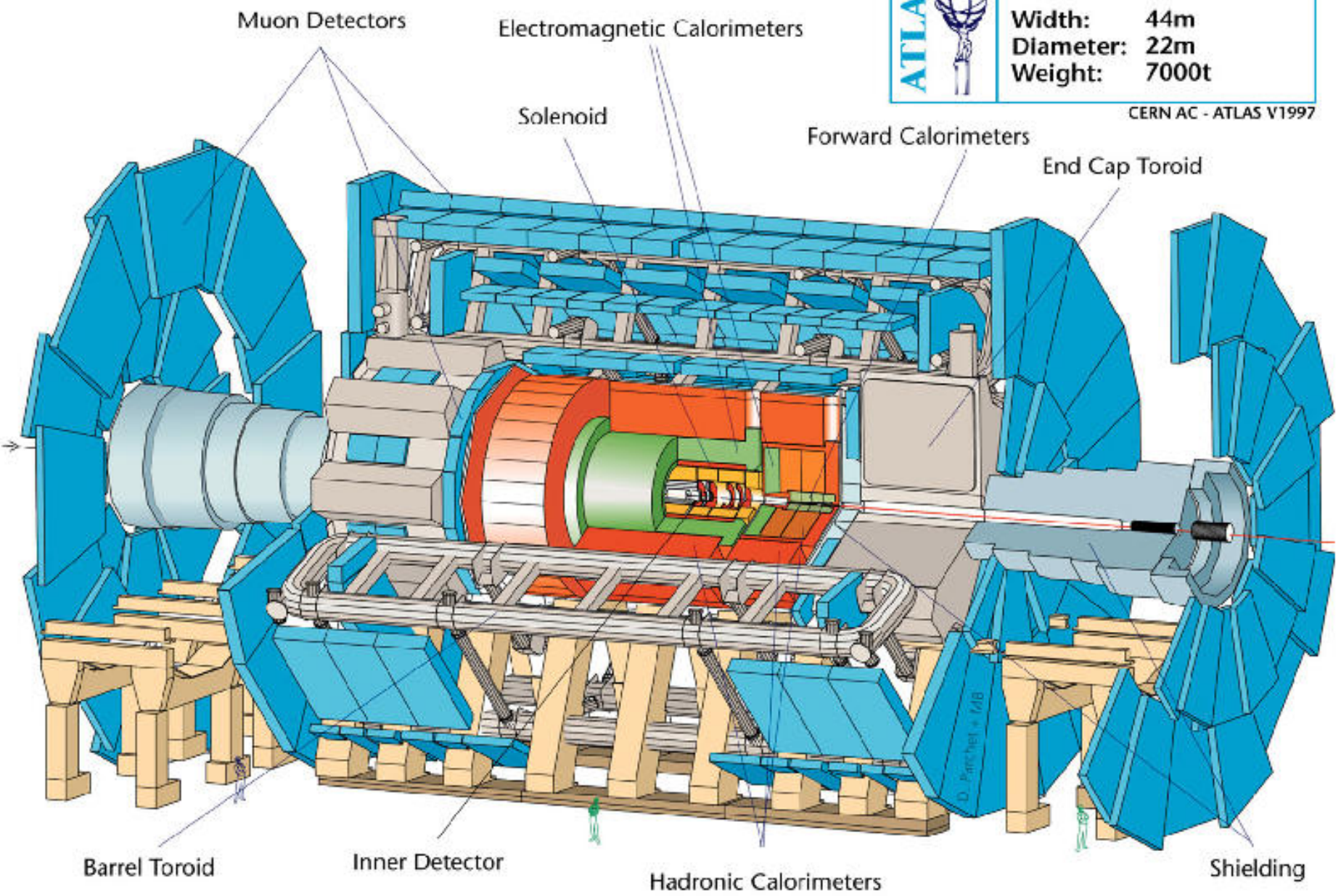
- pp Kollisionen bei höchsten Energien: $E_{\text{CMS}} = 14 \text{ TeV}$
- Kollisionen alle 25 ns
⇒ schnelle Detektoren und Elektronik
- Hohe Proton-Strahlintensität bis zu 20 pp Reaktionen und 1000 Teilchen pro Kollision
⇒ feine Detektorsegmentierung
- Hohe Bestrahlungsdosen:
 - Innere Spurdetektoren:
> 10^{14} Protonen / cm^2
 - Äussere Myondetektoren:
> 10^{11} Neutronen / cm^2⇒ strahlenharte Detectoren
- Höchste Datenraten: 300 Mbyte/s



ATLAS Detektor

	Detector characteristics
	Width: 44m
	Diameter: 22m
	Weight: 7000t

CERN AC - ATLAS V1997



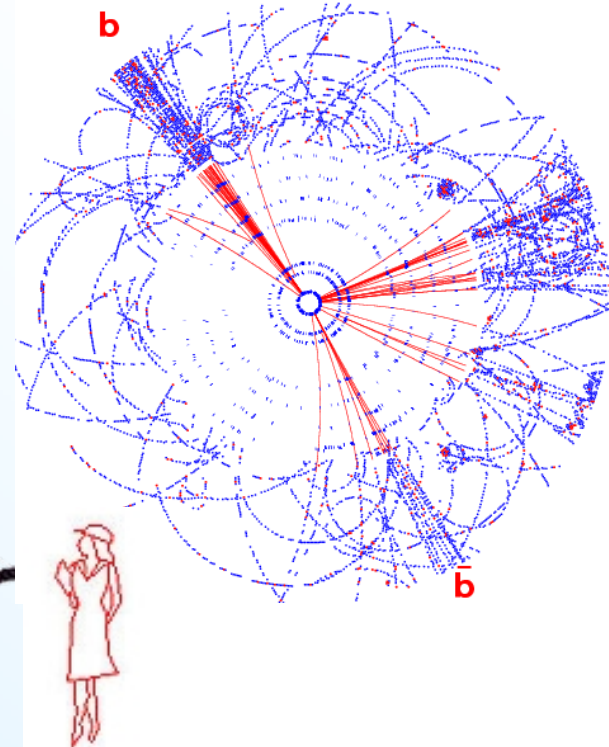
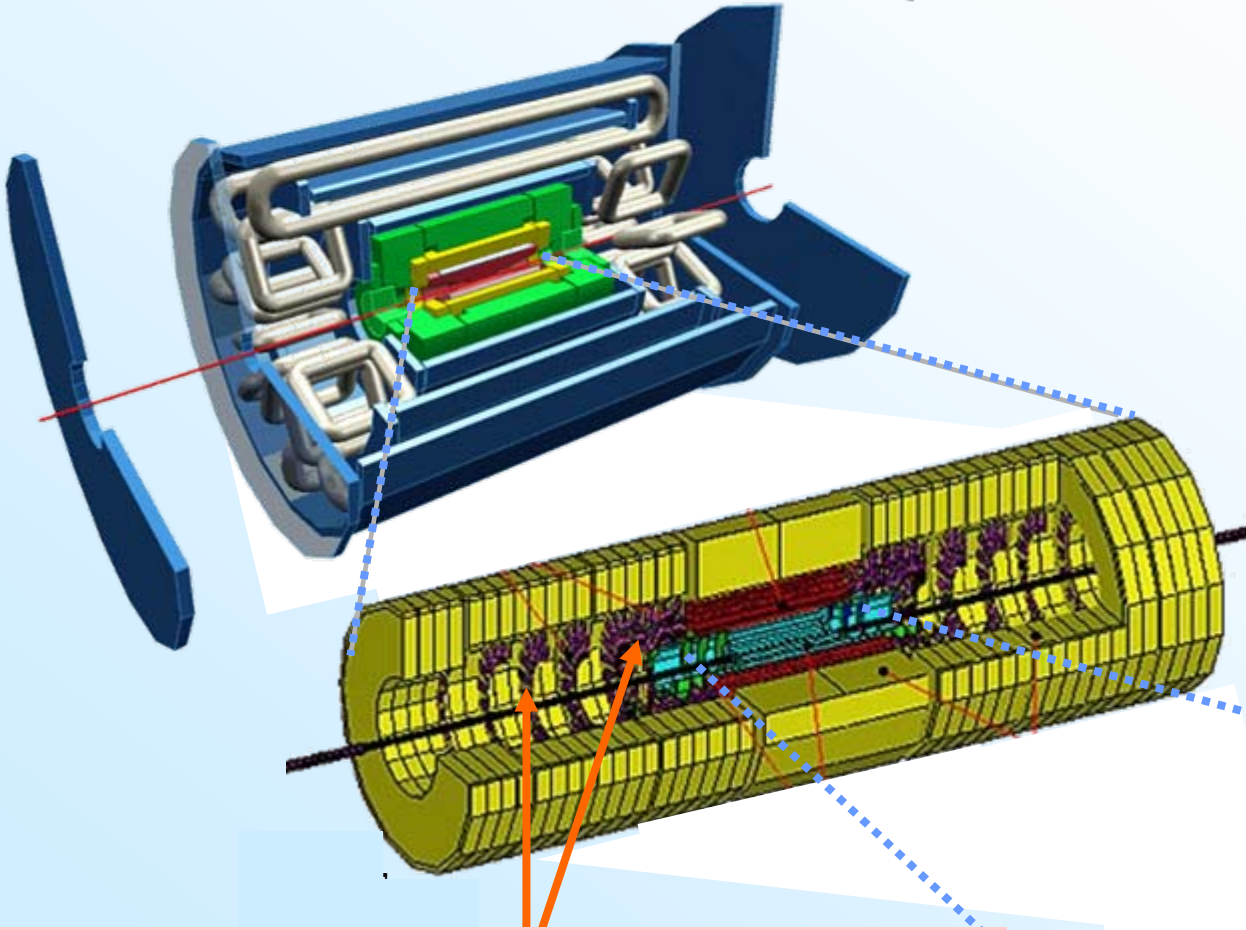
ATLAS Detektor



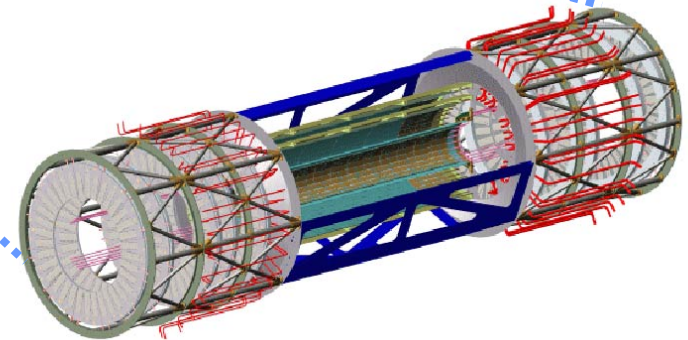
ATLAS Magnete



ATLAS Spurdetektor

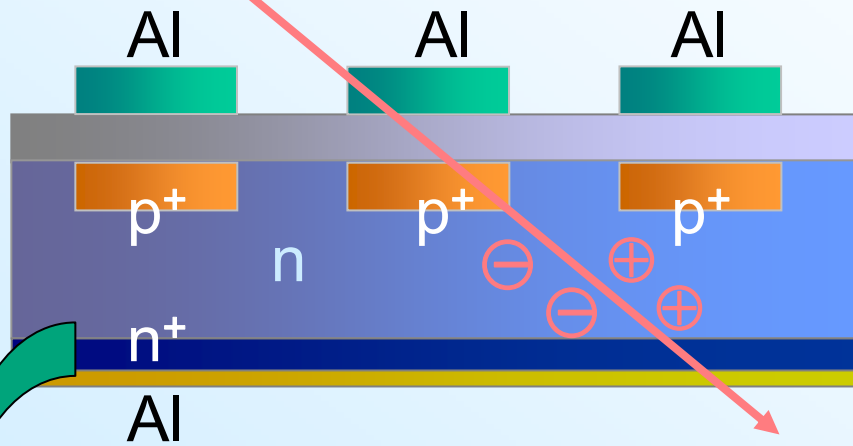


- 60 m² Siliziumdetektoren
- 6 M Streifen, 80 M Pixel

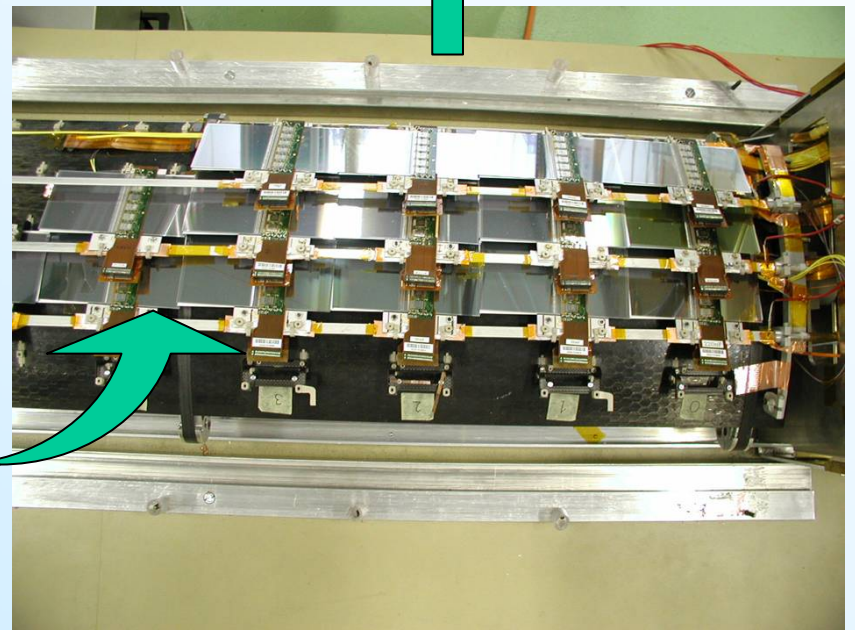
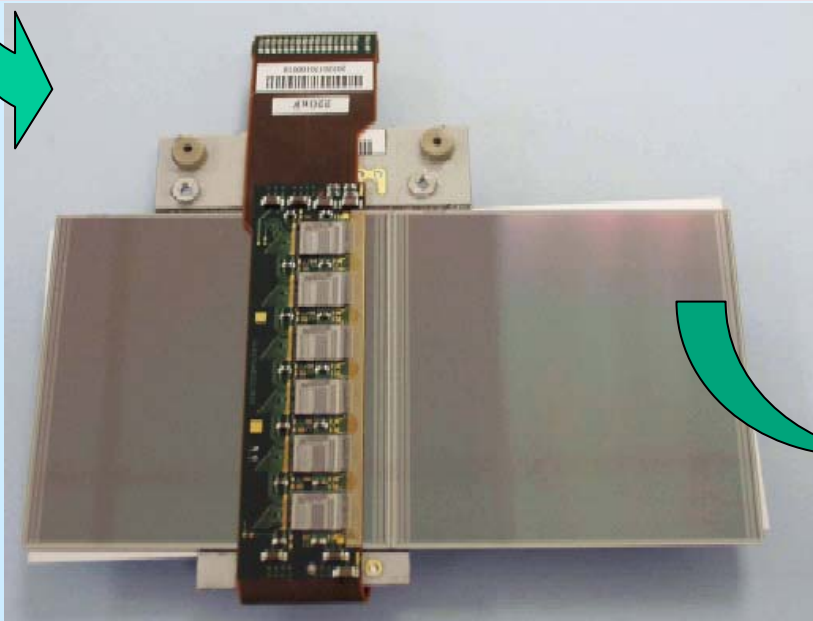
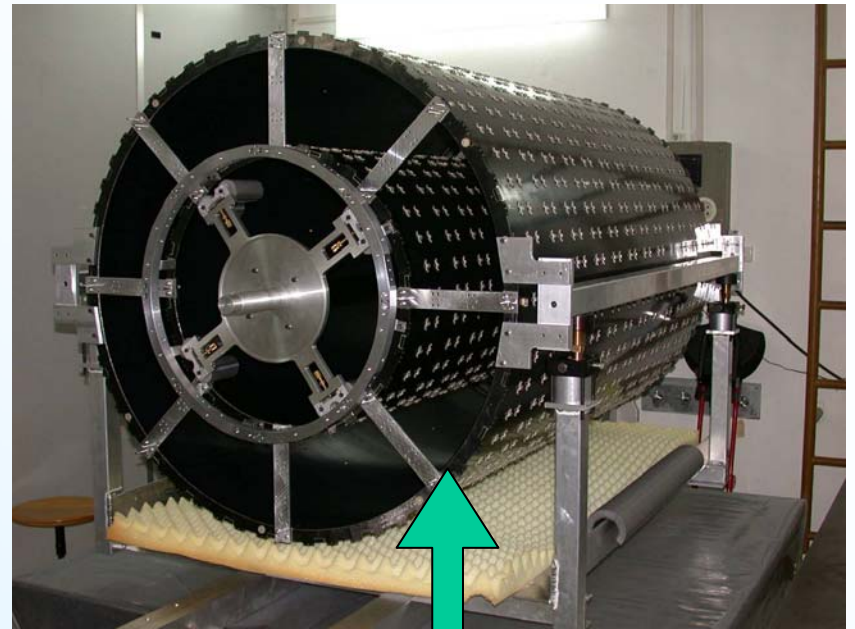


PD Dr. Hubert Kroha
Tests des Standardmodells

Siliziumdetektoren

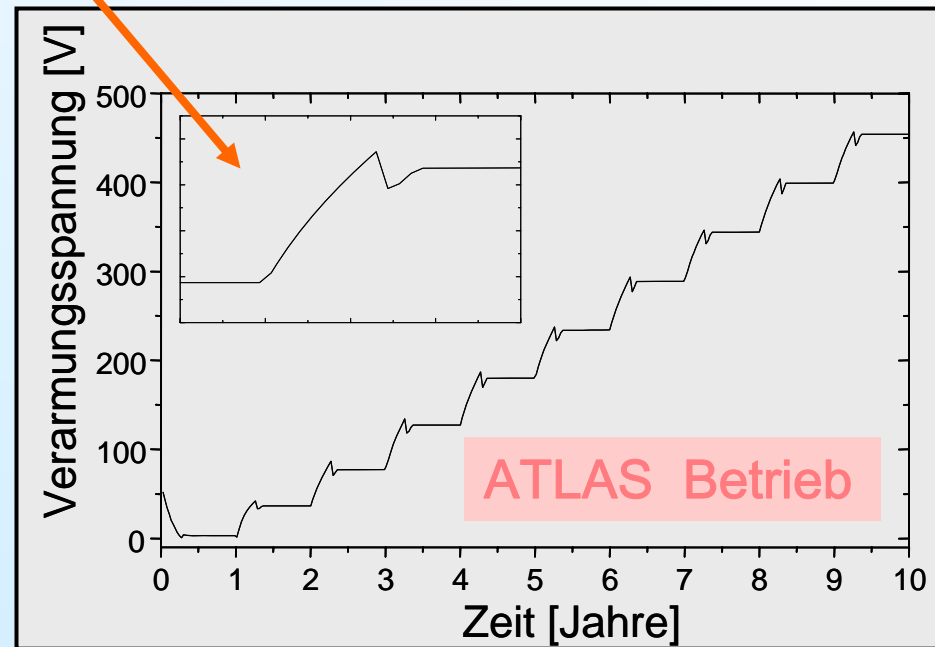
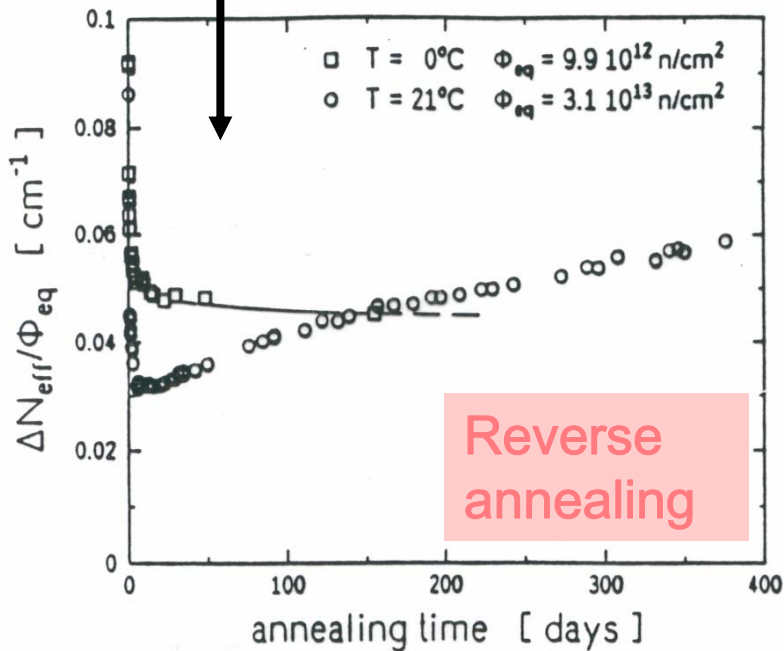
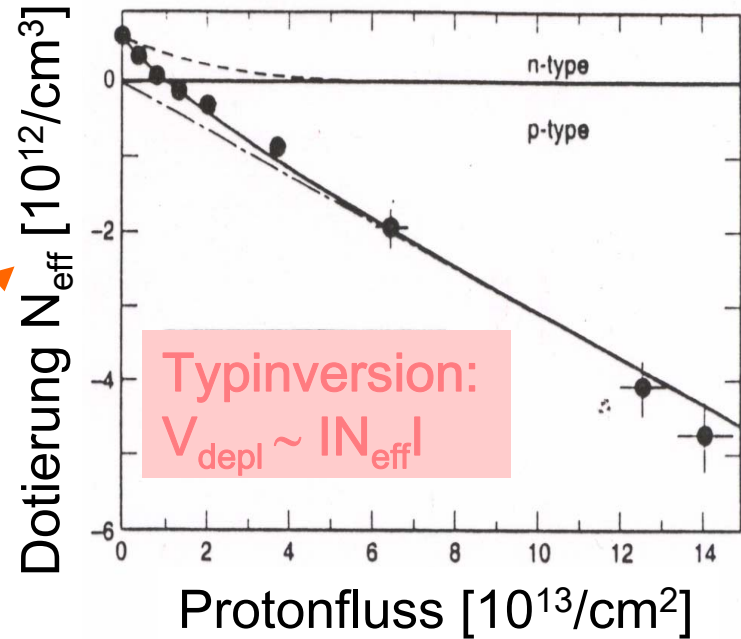


16000 Si-Streifen-Detektoren

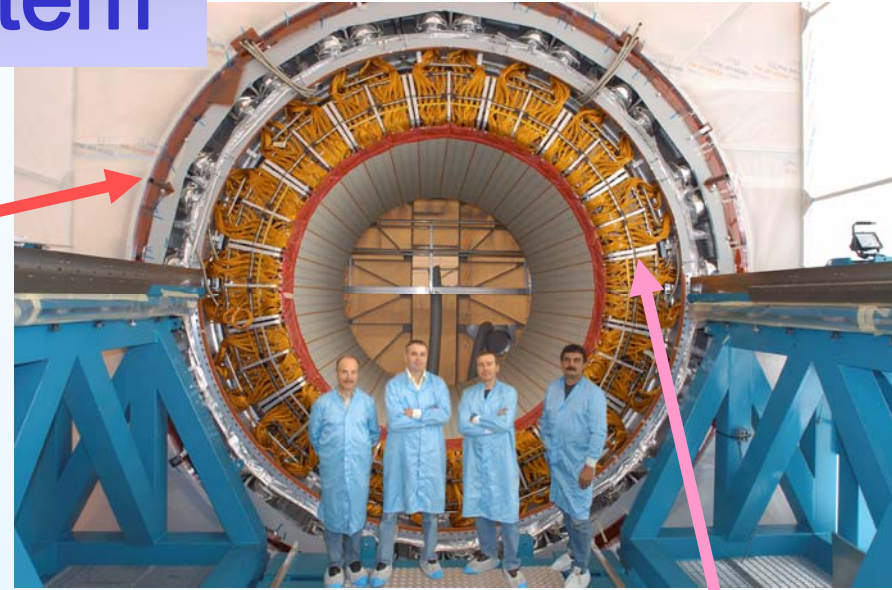
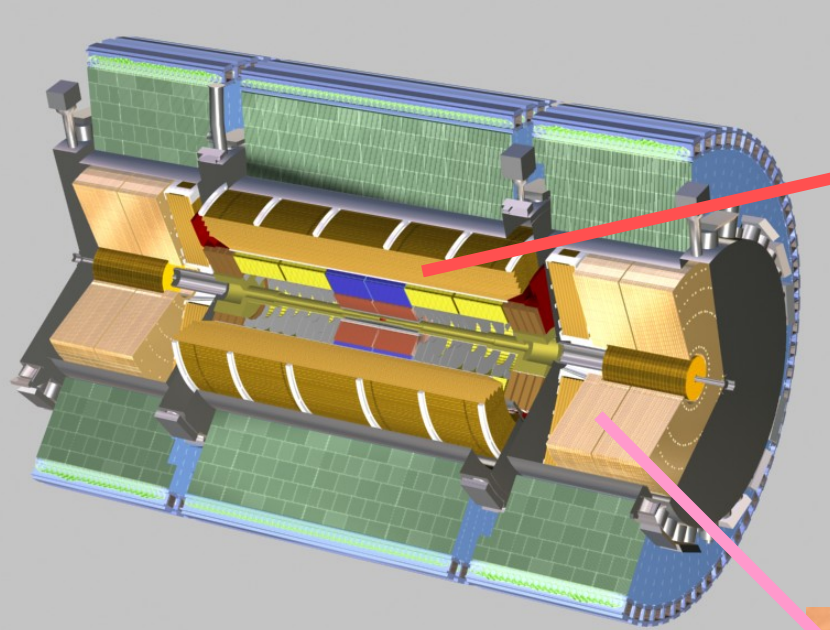


Siliziumdetektoren

- Strahlenbelastung in 10 Jahren >10 MRad und $>10^{14}$ Protonen/cm²
- Strahlenschäden in c-Silizium: effektive Dotierungsänderung $n \rightarrow p$
- Effekt verstärkt bei höherer Temperatur: Betrieb bei unter 0°C

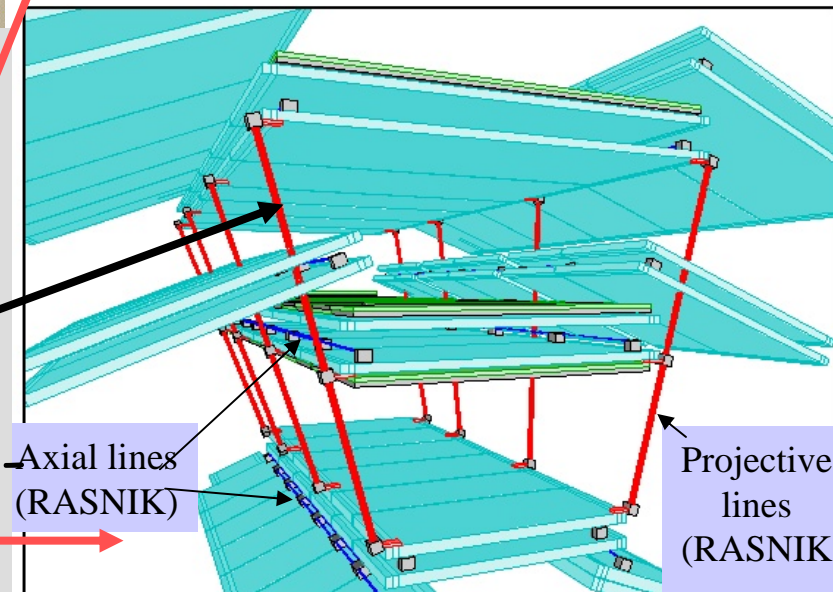
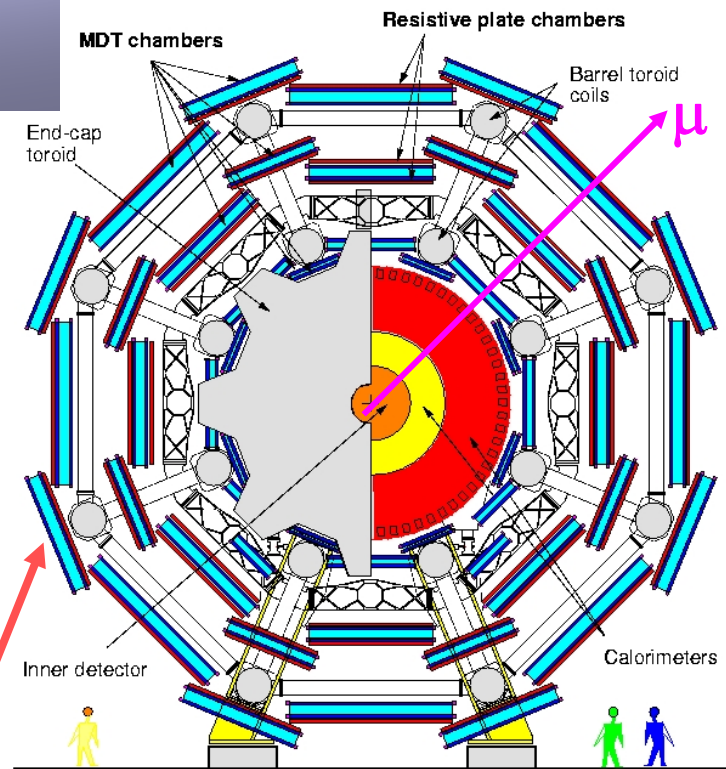
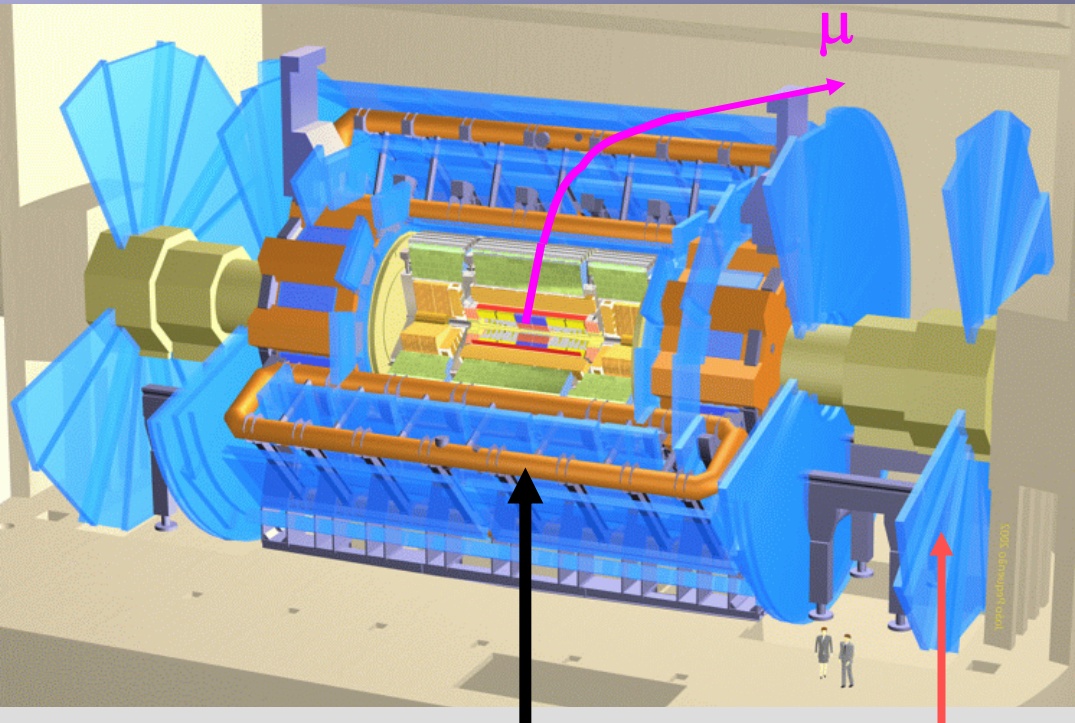


ATLAS Kalorimetersystem



Electromagnetische
Flüssig-Argon Kalorimeter:
Energieauflösung 10%,
Vollständige Überdeckung
des Raumwinkels,
feine Segmentierung

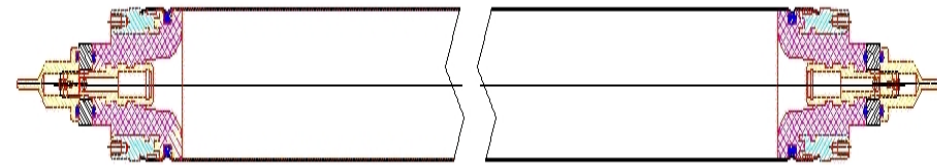
ATLAS Myonspektrometer



- Toroidales Magnetfeld mit supraleitenden Luftspulen
- Impulsauflösung von **2 – 10%** für 10 – 1000 GeV Myonen
- Präzisionsmyondetektoren
- Optisches Positionsüberwachungssystem mit **30 μm Genauigkeit**

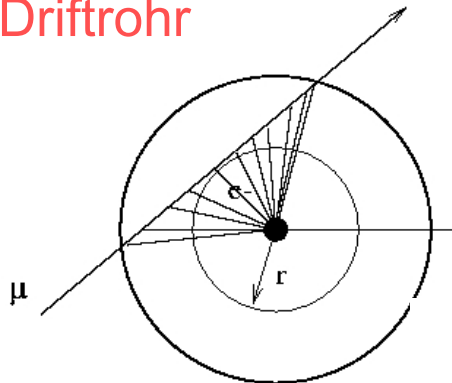
Präzisionsmyondetektoren

Monitored Drift Tube (MDT) Kammern



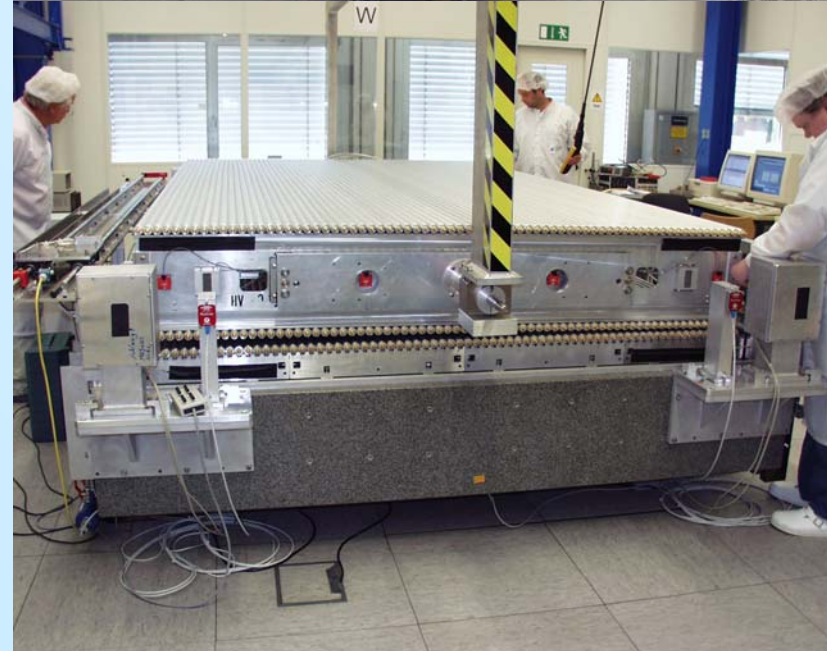
- 400 Driftrohre/Kammer
- gefüllt mit Argon:CO₂ Gas mit 3 bar Druck
- Ortsauflösung/Rohr 100 μm
- Drahtpositionierung auf 20 μm
- Kameraauflösung 40 μm

Driftrohr

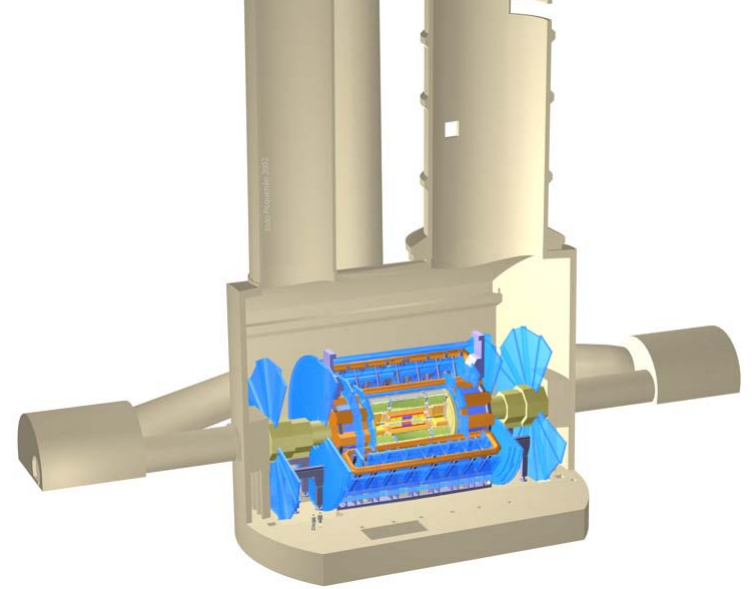


Myonkammerbau

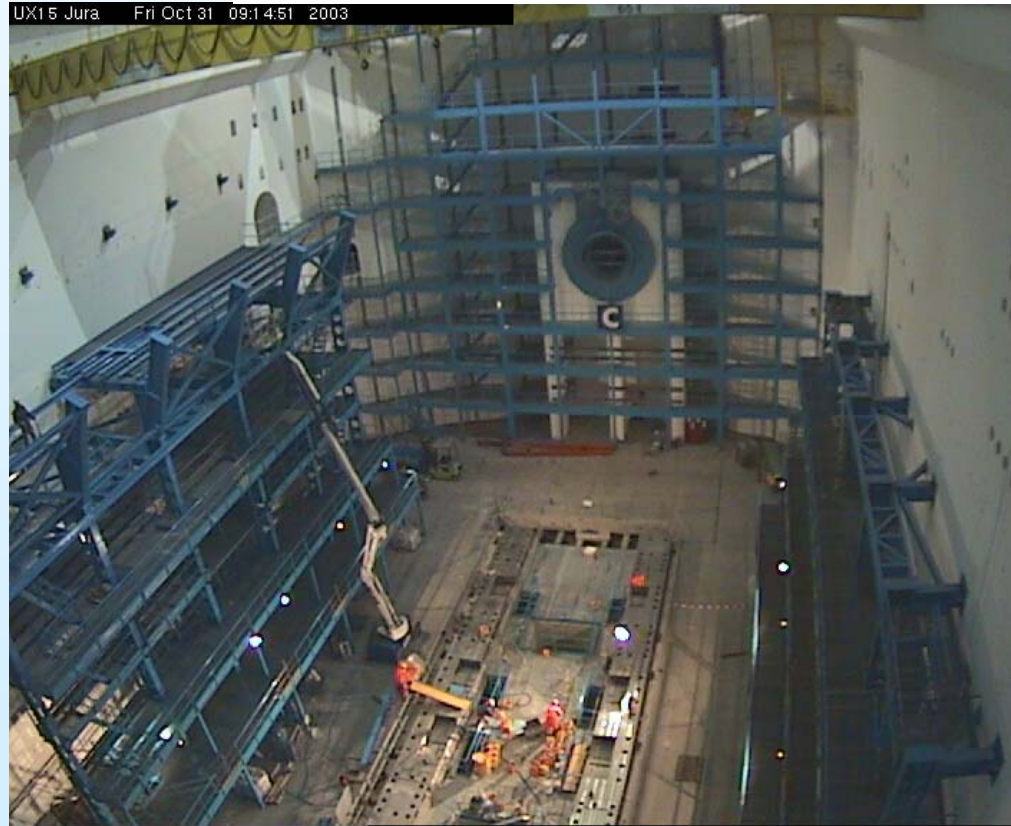
1200 Kammern with 370000
Driftrohren (1000 km Länge),
5000 m² Fläche: 1 Fußballfeld



ATLAS Installation



UX15 Jura Fri Oct 31 09:14:51 2003



ATLAS Installation

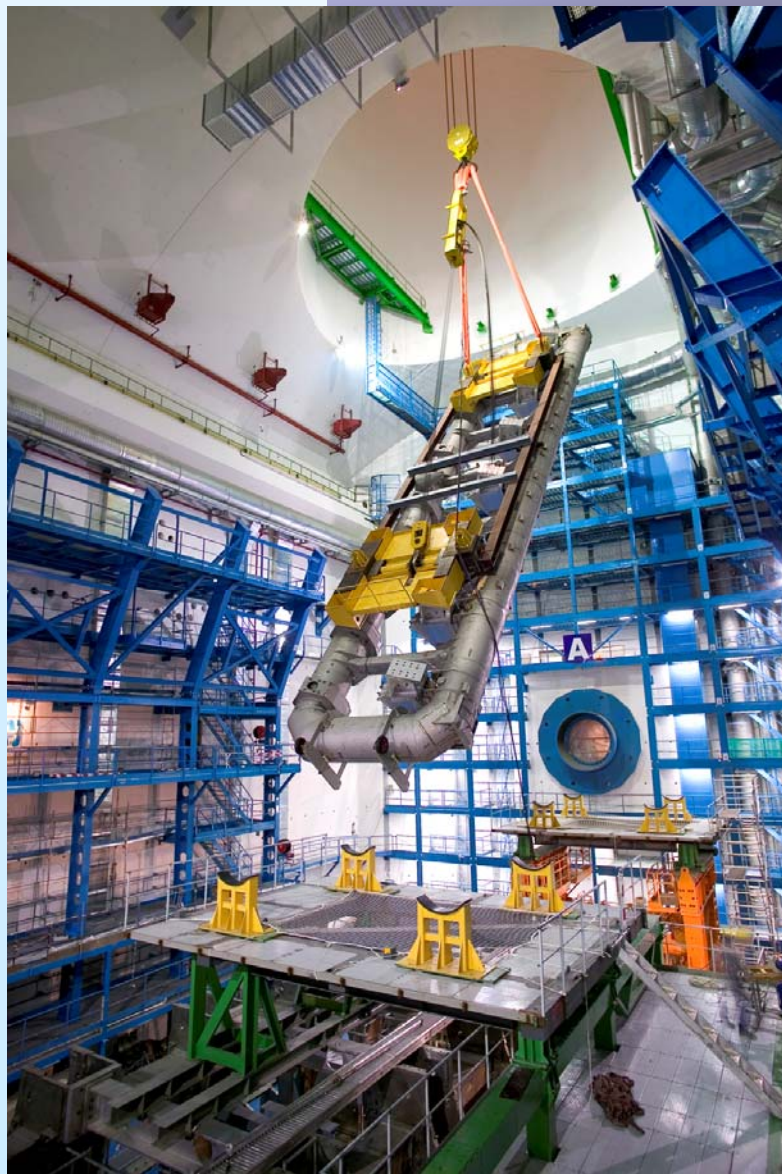
UX15 Jura Tue May 18 10:00:03 2004



ATLAS Installation



ATLAS Installation



ATLAS Installation

