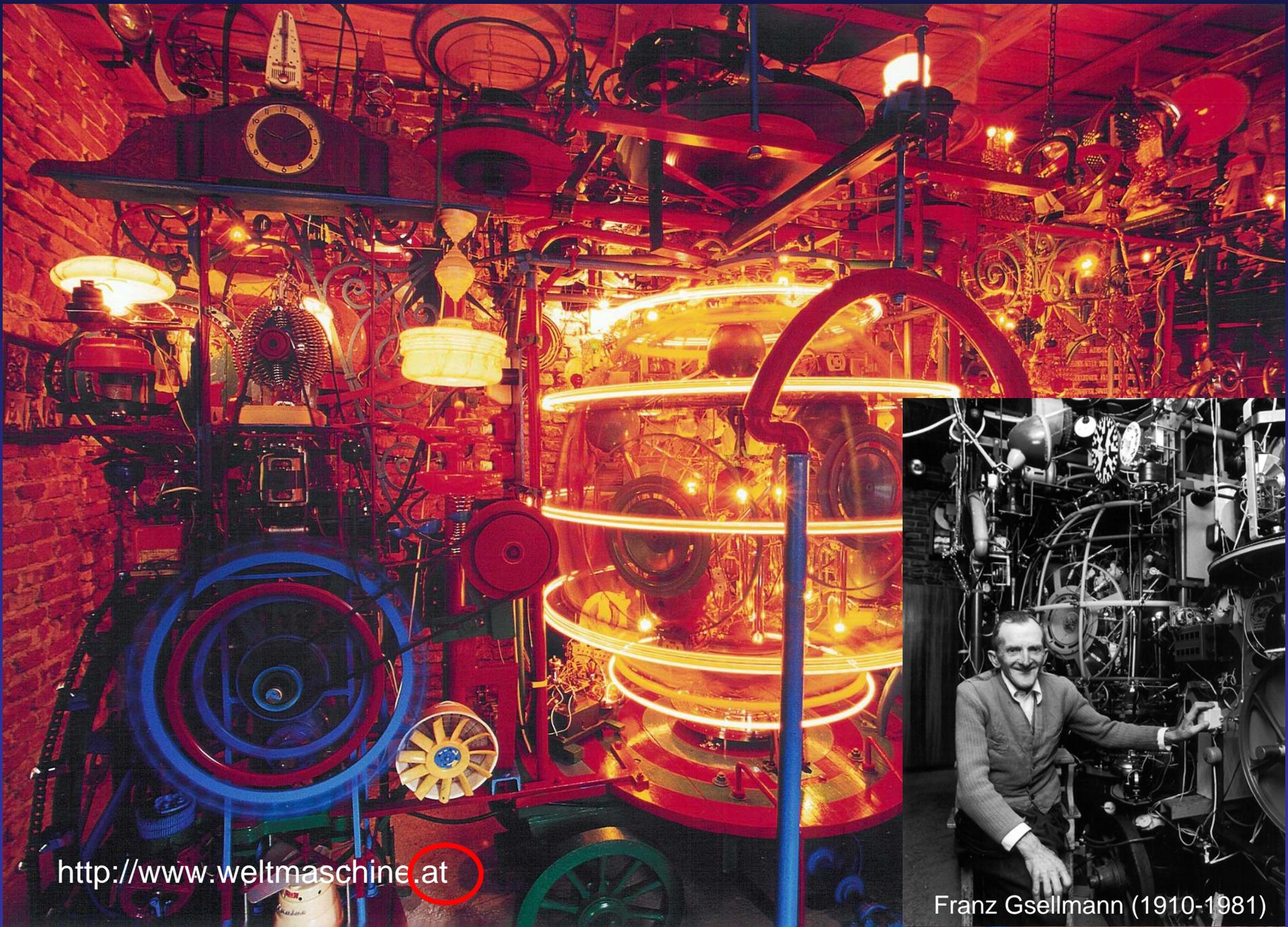


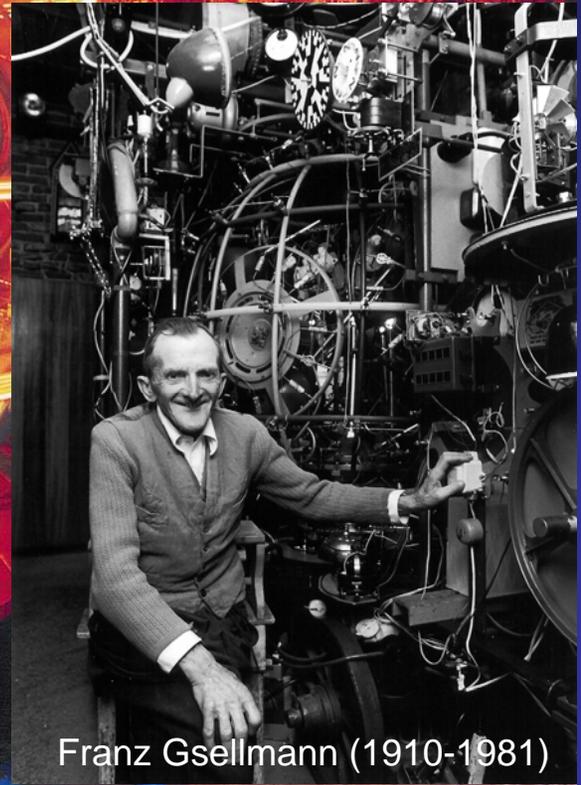
A blue-tinted photograph of a complex particle accelerator tunnel. The structure is made of metal beams and supports, creating a dense network of lines. In the background, a person wearing a green safety vest is visible, providing a sense of scale to the massive machinery. The lighting is dramatic, with strong highlights and deep shadows.

# Gott-Teilchen und Weltmaschine - dem Urknall auf der Spur mit dem Teilchenbeschleuniger am CERN

Harald Appelshäuser  
Institut für Kernphysik  
JWG Universität Frankfurt

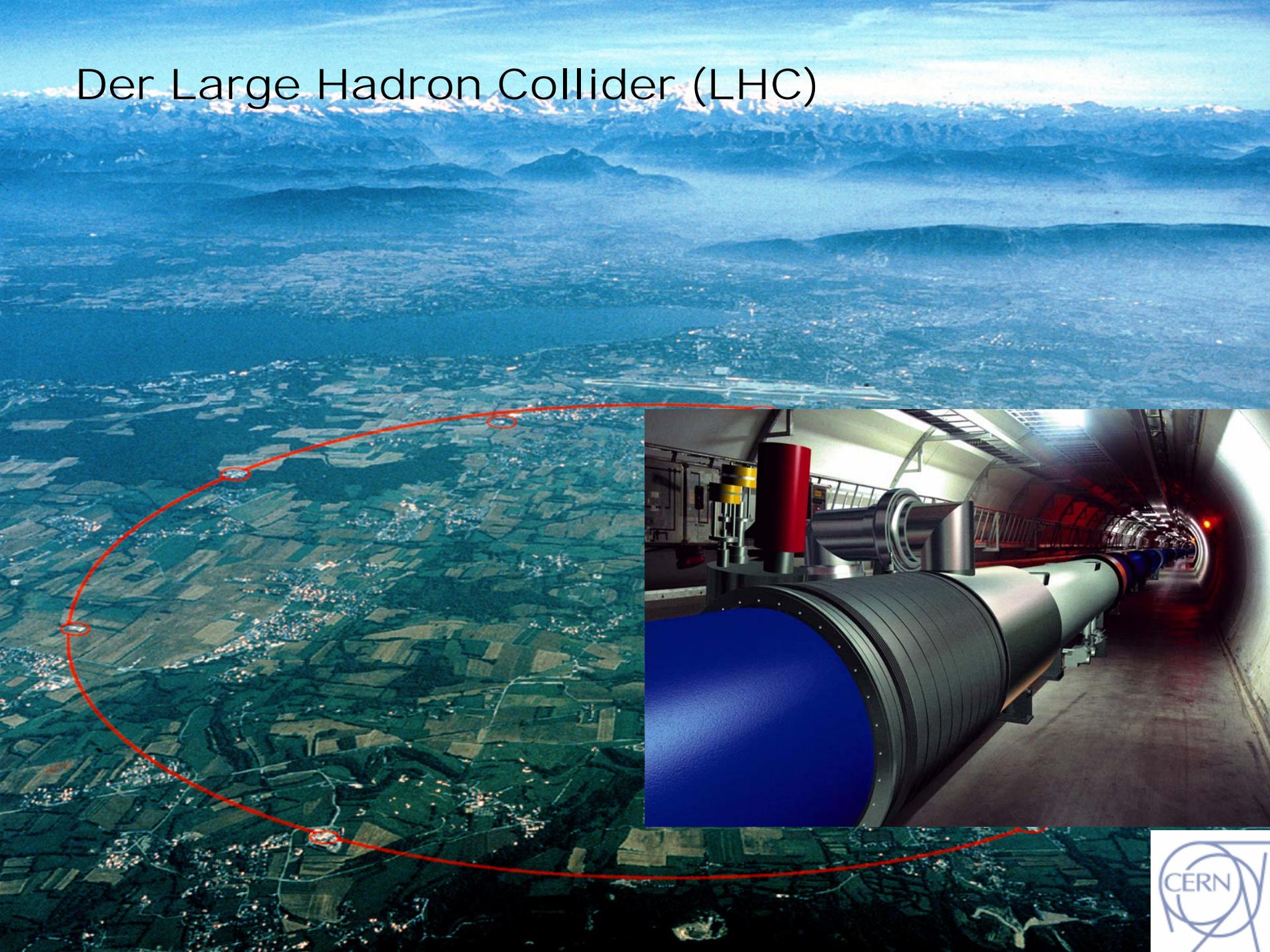


<http://www.weltmaschine.at>

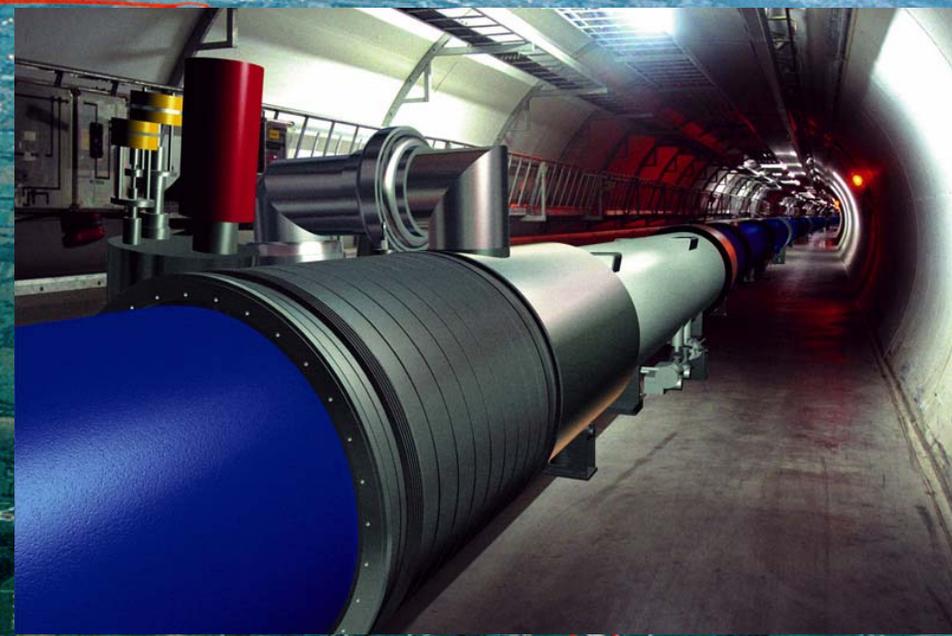


Franz Gsellmann (1910-1981)

# Der Large Hadron Collider (LHC)



# WELT MASCHINE



<http://www.weltmaschine.de>

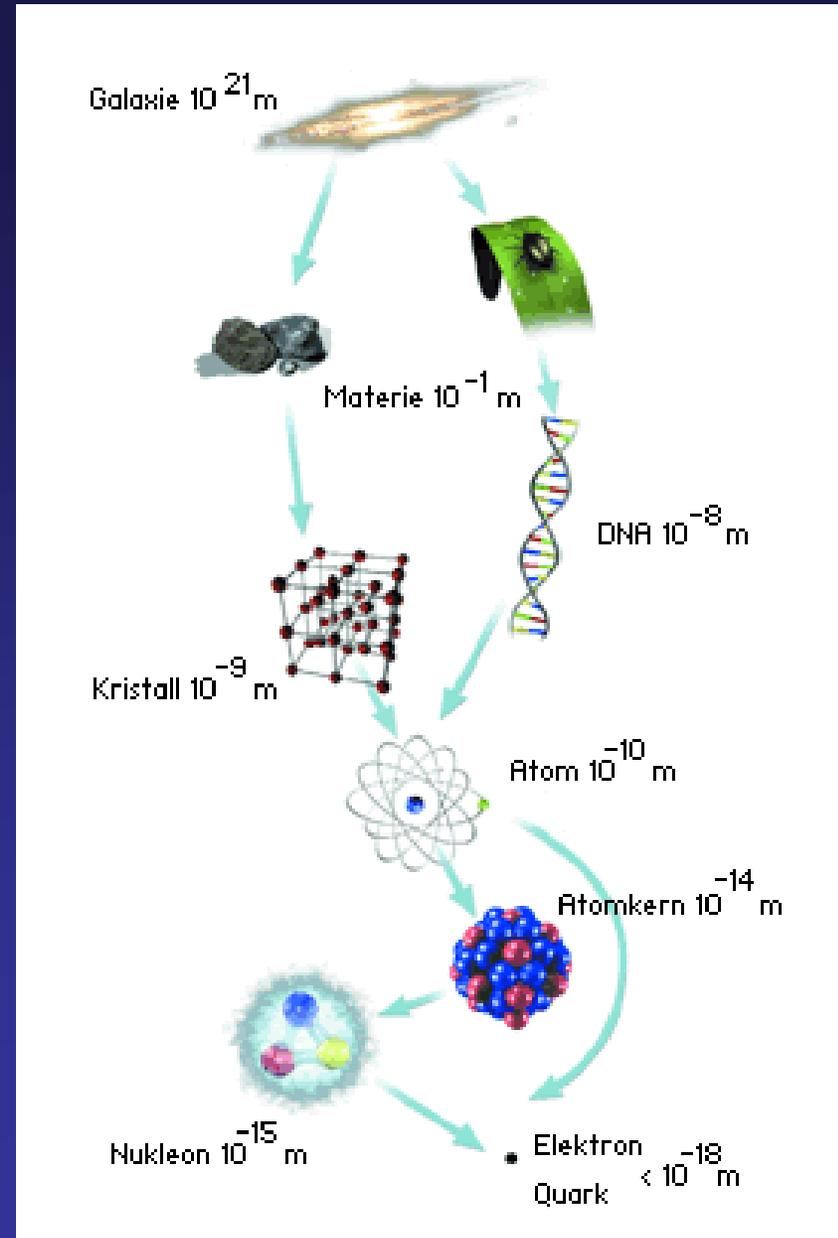


# WELT MASCHINE



# Aufbau der Materie

- Die Masse der Materie steckt überwiegend in den **Atomkernen**
- Die kleinsten bekannten Bauteile der Materie sind **Quarks und Elektronen**
- Zum Aufbau der uns bekannten Materie werden nur 3 Bausteine benötigt (2 Quarks und das Elektron)



# Standardmodell der Teilchenphysik

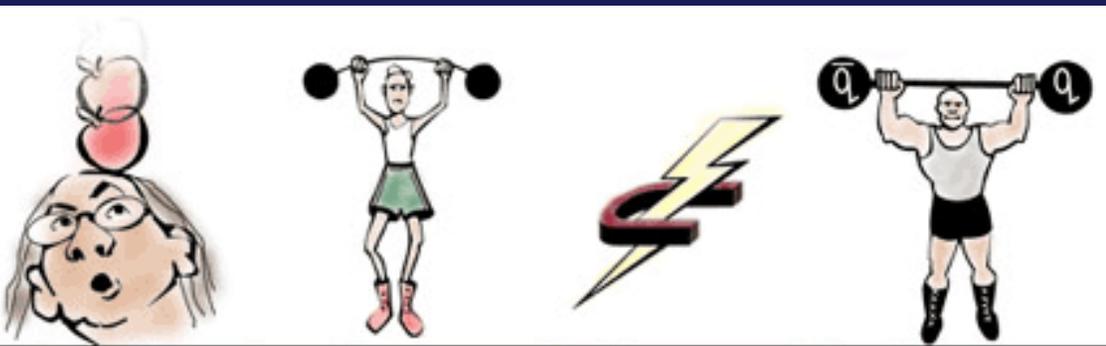
Quarks	$u$ up	$c$ charm	$t$ top
	$d$ down	$s$ strange	$b$ bottom
Leptons	$\nu_e$ e- Neutrino	$\nu_\mu$ $\mu$ - Neutrino	$\nu_\tau$ $\tau$ - Neutrino
	$e$ electron	$\mu$ muon	$\tau$ tau
	I	II	III
Die Generationen der Materie			

Es gibt **12 elementare Bausteine** der Materie (und ihre Anti-Teilchen)

Die Bausteine lassen sich nach **drei Generationen** sortieren (Massenunterschied jeweils etwa Faktor 10-100)

Zum Aufbau der uns bekannten Materie werden **nur drei benötigt** (u, d, e).

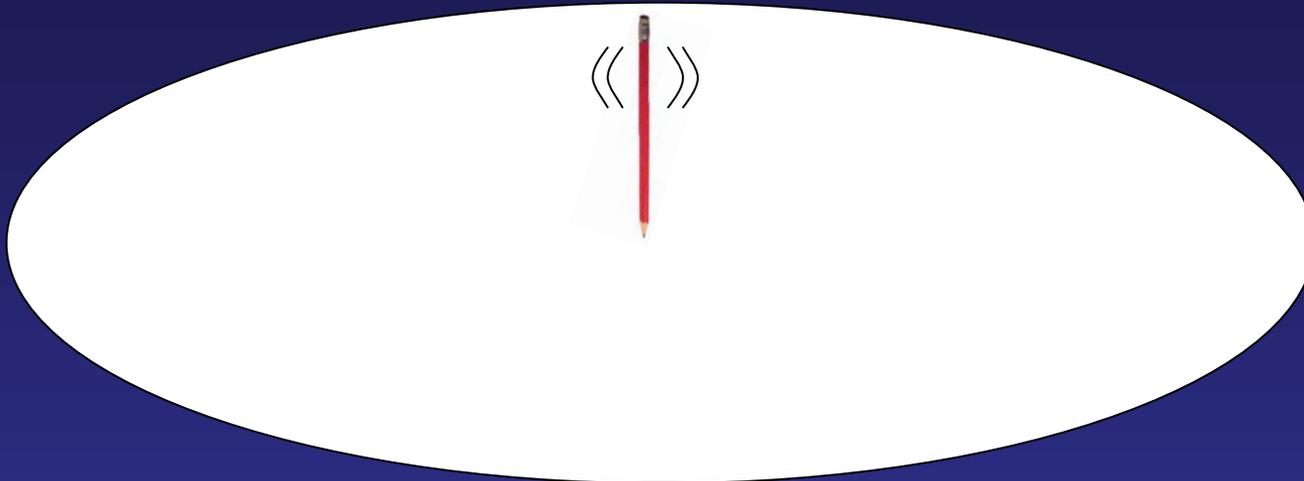
# Standardmodell der Teilchenphysik



	Gravitation	Schwach (Elektroschwach)	Elektromagnetisch	Stark
Träger- teilchen	Gravitation (nicht beobachtet)	$W^+$ $W^-$ $Z^0$	Photon	Gluon
wirkt auf	Alle	Quarks und Leptonen	Quarks und geladene Leptonen und $W^+$ $W^-$	Quarks und Gluonen

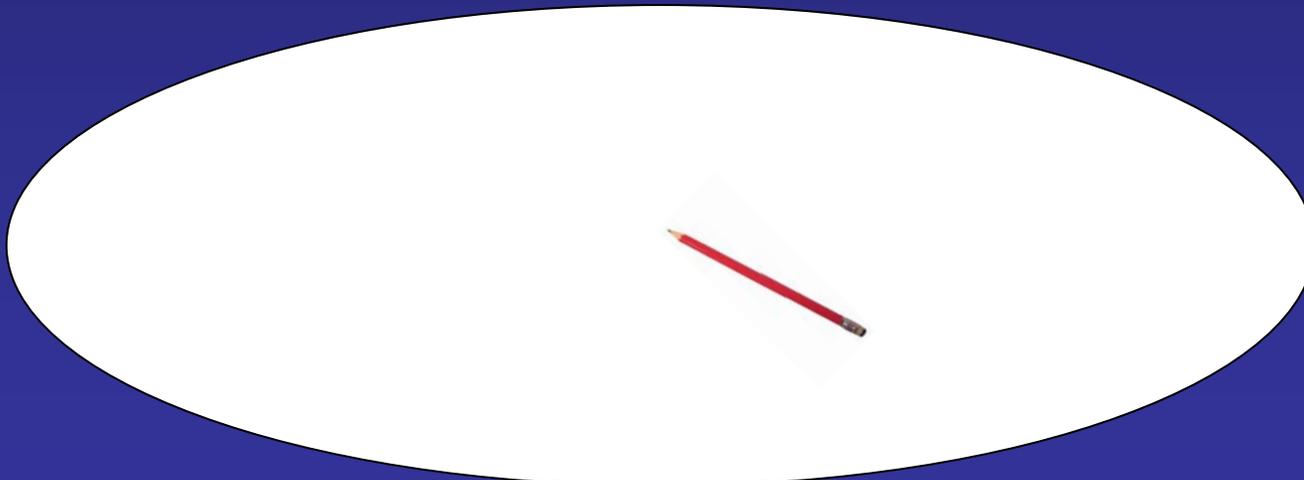
- Es gibt vier fundamentale Kräfte in der Natur
- Die starke Kraft wirkt zwischen Quarks und wird durch Gluonen vermittelt

# Symmetriebrechung



Zustand  
hoher  
Symmetrie

Schwerefeld:



Zustand  
*gebrochener*  
Symmetrie

# Symmetriebrechung

- Das Universum ist in einem **Zustand hoher Symmetrie** entstanden
- Im Laufe der Entwicklung (nach einem Bruchteil einer Sekunde) wurde die **Symmetrie gebrochen**
- Die Symmetriebrechung erfolgte **unter Einwirkung eines Feldes**
- Damit verknüpft ist die Entstehung von **MASSE**

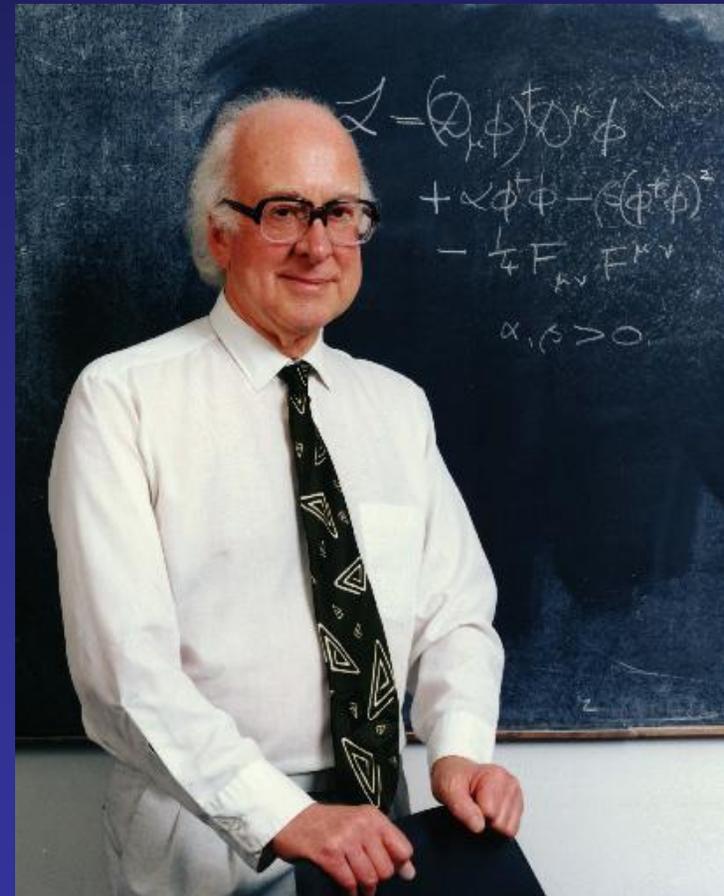


# Der Higgs-Mechanismus

Die Lösung (Peter Higgs 1964):

Es existiert ein Feld, repräsentiert durch ein weiteres **Teilchen**, das mit den bekannten Elementarteilchen in Wechselwirkung tritt und ihnen Masse verleiht:

**das Higgs-Teilchen!**



# Der Higgs-Mechanismus



# Der Higgs-Mechanismus

## Das Problem (Stand 2008):

Das Higgs-Teilchen konnte bisher nicht gefunden werden!

## Die Ausrede:

Das Higgs-Teilchen ist so schwer, dass es bisher nicht in Experimenten erzeugt werden konnte ( $E = mc^2$ ).

## Die Hoffnung:

Der neue **Large-Hadron-Collider (LHC)** am CERN

# Das Gott-Teilchen

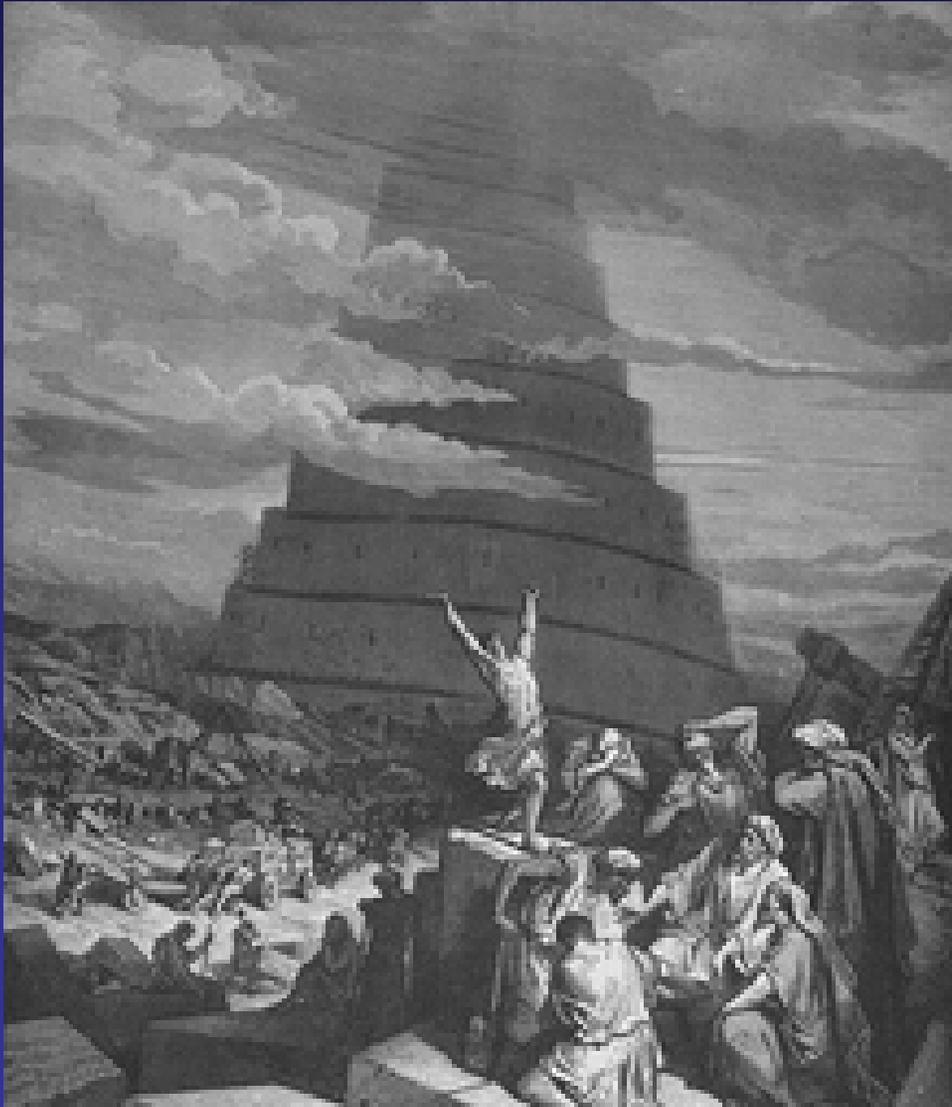


Leon Lederman  
(Nobelpreis 1988)

Leon Lederman (1993): *If the Universe is the answer, What is the question?*

Higgs boson. The Higgs boson is a primary reason for building the Super Collider. Only the SSC will have the energy necessary to produce and detect the Higgs boson, or so we believe. This boson is so central to the state of physics today, so crucial to our final understanding of the structure of matter, yet so elusive, that I have given it a nickname: the God Particle. Why God Particle? Two reasons. One, the publisher wouldn't let us call it the Goddamn Particle, though that might be a more appropriate title, given its villainous nature and the expense it is causing. And two, there is a connection, of sorts, to another book, a *much* older one ...

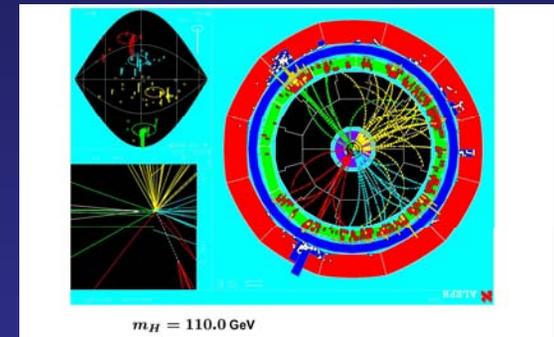
# Das Gott-Teilchen



Der Turmbau zu Babel  
Genesis 11:1-9

# Die Suche nach dem Higgs

- **SSC** (Superconducting Super Collider) in Waxahachie (Texas)  
→ Projekt 1993 gestoppt
- **LEP** bei CERN: mehrere Kandidaten gefunden,  
aber nur 2,9 Sigma Signifikanz  
→ LEP abgeschaltet in 2000
- **Tevatron** collider bei Chicago:  
→ vermutlich zu geringe Energie bzw Strahlintensität,  
Suche geht weiter
- **LHC?**



# Der Higgs-Mechanismus

Wenn man das Higgs-Teilchen findet, wäre dann die Masse der Materie vollständig erklärt?

Nein, denn:

z.B. ein Proton besteht aus 3 Quarks: up, up, down

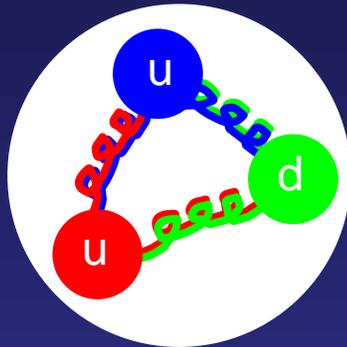
- die Massen der Quarks betragen  $0.004 + 0.004 + 0.008 \text{ GeV}/c^2 = 0.016 \text{ GeV}/c^2$

- die Masse des Protons beträgt aber  $0.938 \text{ GeV}/c^2$  !!

→ >98% der Masse der Materie stammt *nicht* aus der Masse der Konstituenten, sondern wird *dynamisch* erzeugt!

Verantwortlich dafür ist die **starke Wechselwirkung**, die die Quarks in den Protonen zusammenhält.

# Quarks und Hadronen



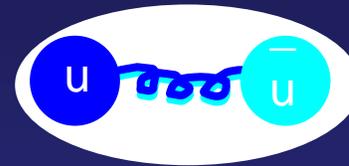
## Baryonen (qqq)

z.B.

Proton (uud)

Neutron (udd)

...



→ Hadronen

## Mesonen (qq̄)

z.B.

Pion ( $u\bar{u}, d\bar{d}, d\bar{u}, u\bar{d}$ )

...

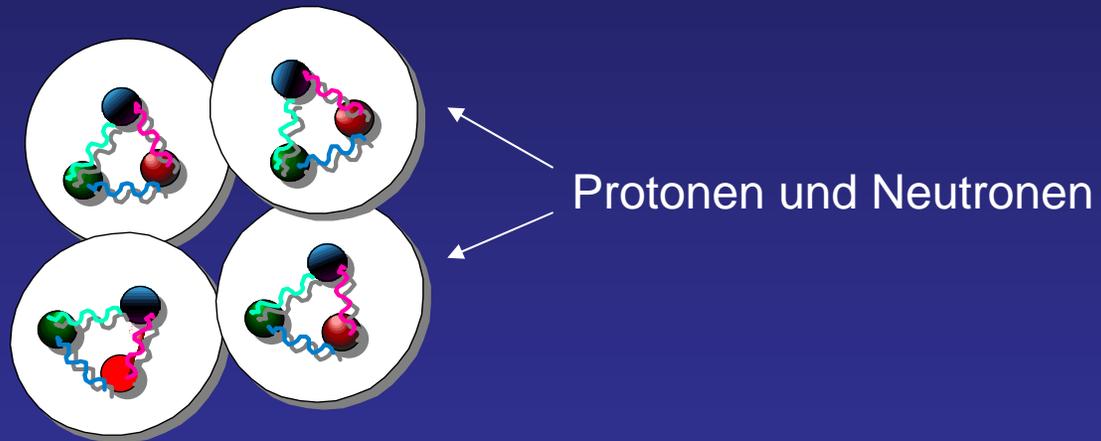
- Quarks tragen *Farbe*
- Gluonen sind die *Austauschteilchen* der starken WW (Quantenchromodynamik, QCD)
- In der Natur sind nur *farbneutrale* Objekte (→Hadronen) erlaubt (*confinement*)



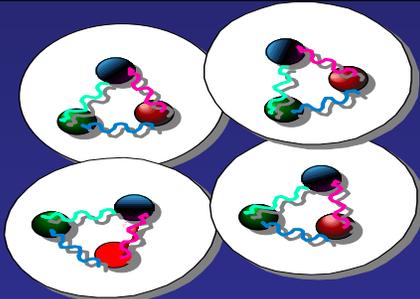
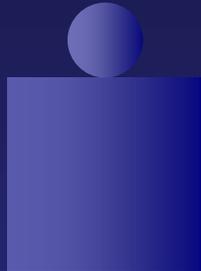


# Confinement

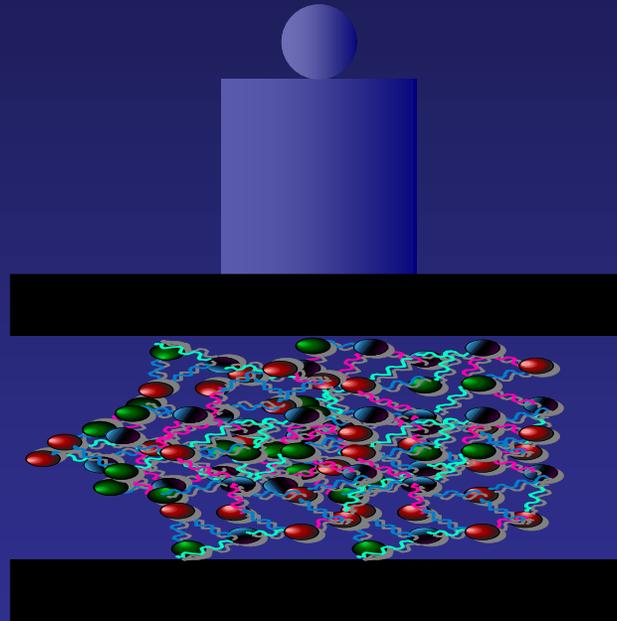
Atomkern



ABER: Bei kleinen Abständen ( $\rightarrow$  hohen **Dichten**) oder hohen Energien ( $\rightarrow$  hohen **Temperaturen**) verschwindet die starke Kraft zwischen den Quarks und Gluonen....



# Deconfinement

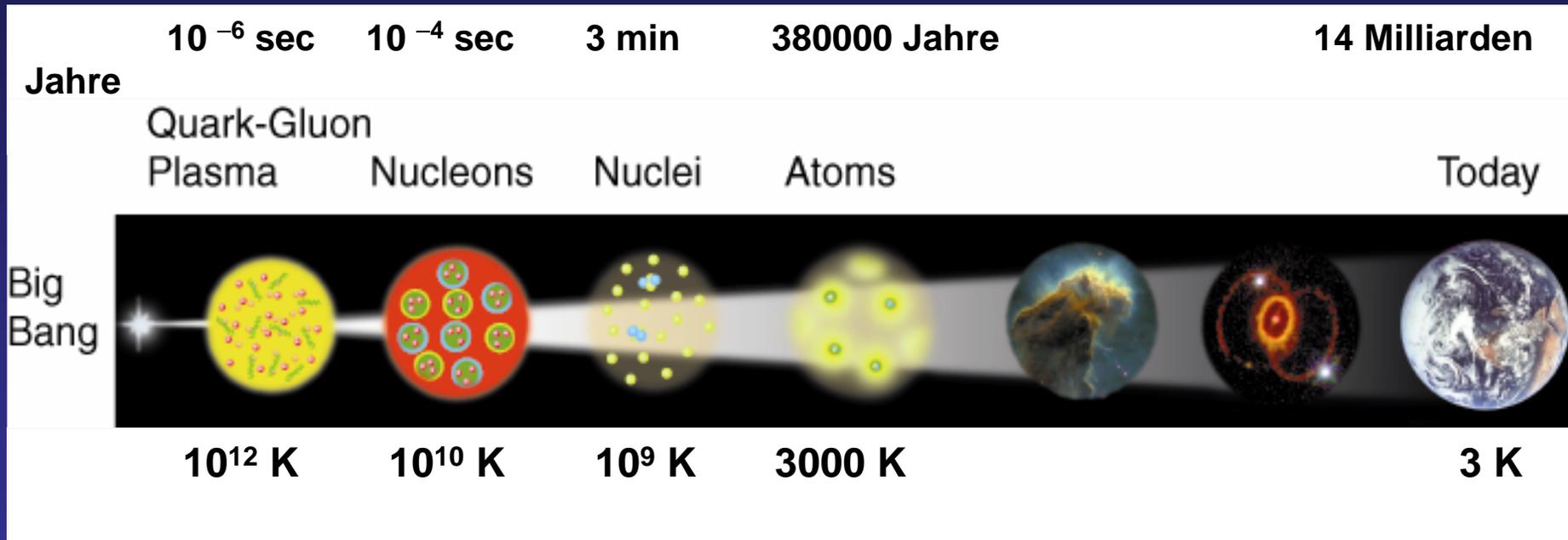


**Neuer Zustand von Materie!**

**(Quasi-)freie Quarks und Gluonen  
→ *deconfinement***

**Quark-Gluon-Plasma (QGP)**

# Frühes Universum



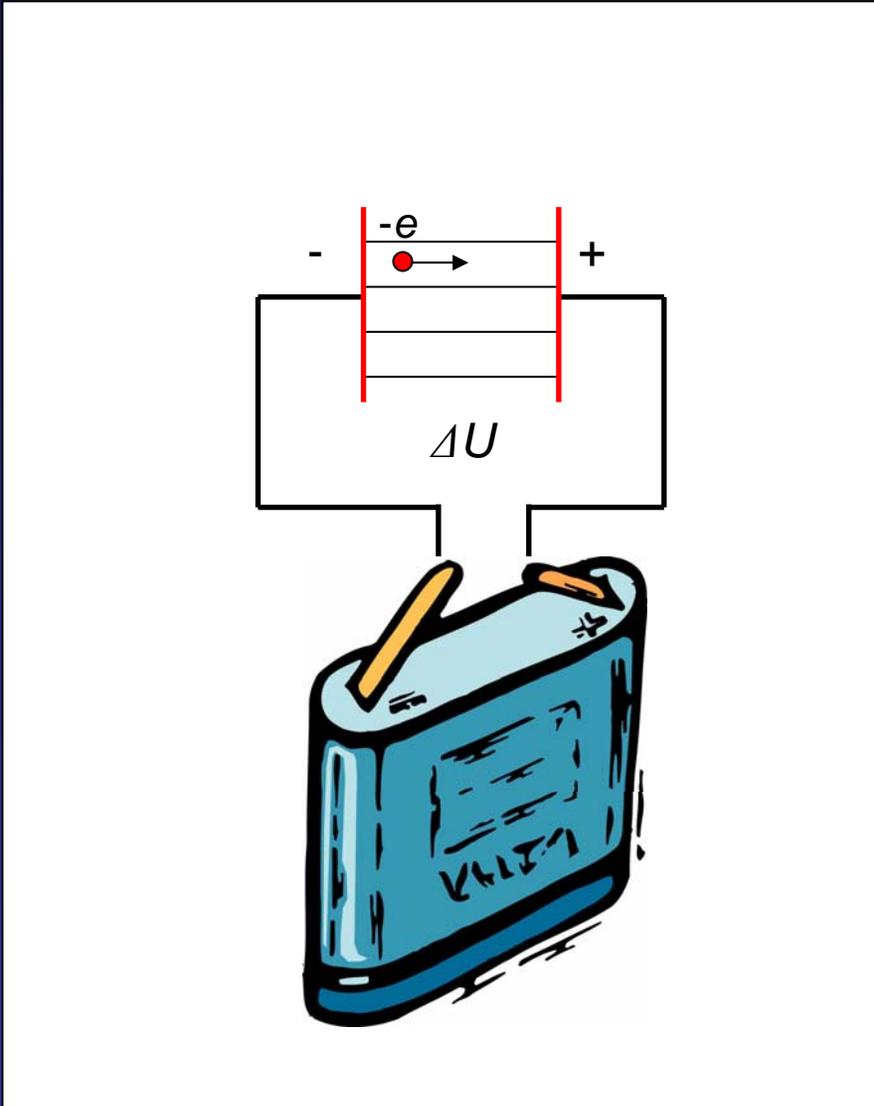
- Aufheizen und Komprimieren von Kernmaterie durch **Kollisionen schwerer Atomkerne am LHC**

→ eine Reise rückwärts zum Urknall

# Mikroskope der Teilchenphysiker



# Beschleuniger



Prinzip:

Elektrisch geladene Teilchen können in einem elektrischen Feld beschleunigt werden.

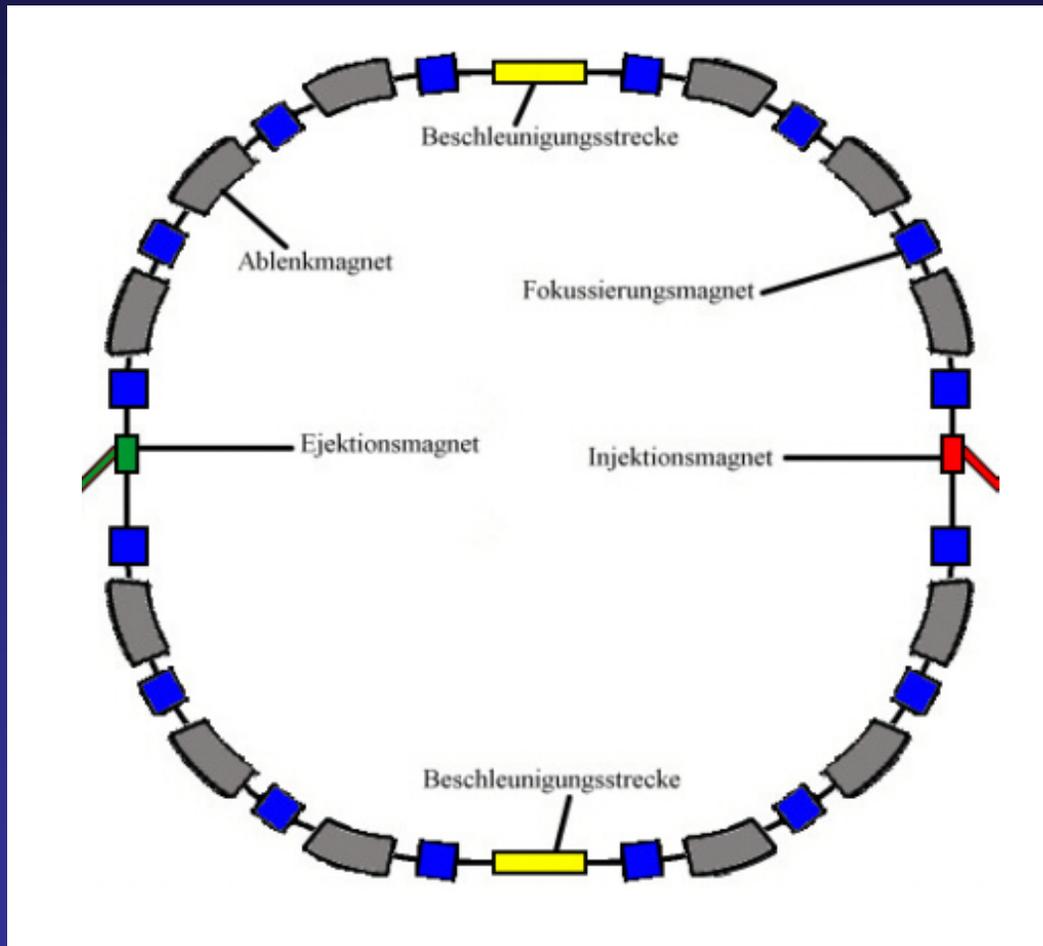
→ Kinetische Energie

$$\Delta W = q \Delta U$$

Für  $q = e$  und  $\Delta U = 1 \text{ V}$ :

$$\Delta W = 1 \text{ eV}$$

# Synchrotron



Technische Limitierung für Protonen- und Ionen-Synchrotrons:

**Ablenkstärke der Magnete**

→ sehr starke Magnete

→ großer Radius

LHC: *Collider*, d.h. zwei gegenläufige Strahlen  
in pp: 7 TeV + 7 TeV = 14 TeV  
1 TeV =  $10^{12}$  eV



# Large Hadron Collider (LHC)



1232 Dipolmagnete:

- je 15 m lang
- je ca 1MCHF
- Magnetfeld 9 T ( $\sim 9300$  A)
- supraleitend  
→  $-271.3^{\circ}\text{C}$  bzw 1.9 K,  
superfluides Helium

$p$  – Luminosität:  $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

2808 „Pakete“ mit je  $10^{11}$  Protonen →  $I = 0.5$  A

$E_{\text{tot}} = 3 \times 10^{14} \times 7 \text{ TeV} \sim 300 \text{ MJ}$  , entspricht 60 -Tonner mit 300 km/h!

# Large Hadron Collider (LHC)



# Large Hadron Collider (LHC)



# Large Hadron Collider (LHC)

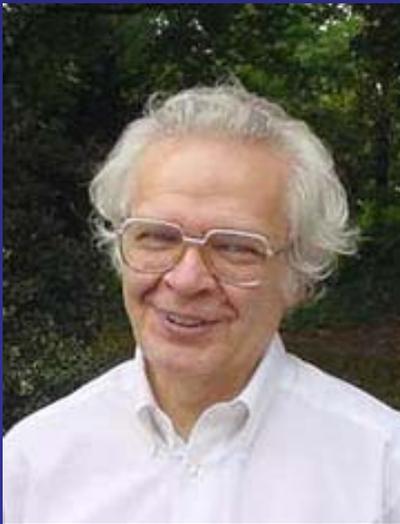


# Large Hadron Collider (LHC)



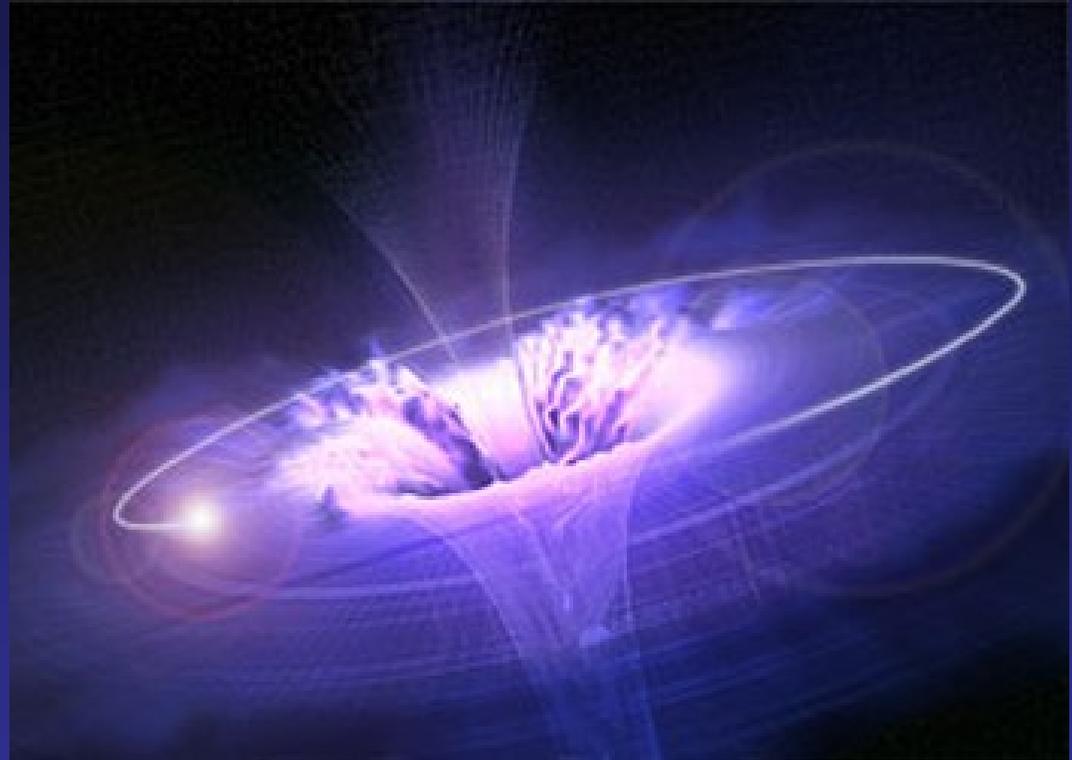
# Schwarze Löcher am LHC

- am LHC könnten **mikroskopische schwarze Löcher** produziert werden!



**Können diese schwarzen Löcher die Erde zerstören??**

Otto Rössler (Uni Tübingen)



# Schwarze Löcher am LHC



## Review of the Safety of LHC Collisions

LHC Safety Assessment Group<sup>(\*)</sup>

lsag@cern.ch

### Summary

*The safety of collisions at the Large Hadron Collider (LHC) was studied in 2003 by the LHC Safety Study Group, who concluded that they presented no danger. Here we review their 2003 analysis in light of additional experimental results and theoretical understanding, which enable us to confirm, update and extend the conclusions of the LHC Safety Study Group. The LHC reproduces in the laboratory, under controlled conditions, collisions at centre-of-mass energies less than those reached in the atmosphere by some of the cosmic rays that have been bombarding the Earth for billions of years. We recall the rates for the collisions of cosmic rays with the Earth, Sun, neutron stars, white dwarfs and other astronomical bodies at energies higher than the LHC. The stability of astronomical bodies indicates that such collisions cannot be dangerous. Specifically, we study the possible production at the LHC of hypothetical objects such as vacuum bubbles, magnetic monopoles, microscopic black holes and strangelets, and find no associated risks. Any microscopic black holes produced at the LHC are expected to decay by Hawking radiation before they reach the detector walls. If some microscopic black holes were stable, those produced by cosmic rays would be stopped inside the Earth or other astronomical bodies. The stability of astronomical bodies constrains strongly the possible rate of accretion by any such microscopic black holes, so that they present no conceivable danger. In the case of strangelets, the good agreement of measurements of particle production at RHIC with simple thermodynamic models constrains severely the production of strangelets in heavy-ion collisions at the LHC, which also present no danger.*

<sup>(\*)</sup> John Ellis, Gian Giudice, Michelangelo Mangano, Igor Tkachev<sup>(\*\*)</sup> and Urs Wiedemann  
Theory Division, Physics Department, CERN, CH 1211 Geneva 23,  
Switzerland

<sup>(\*\*)</sup> Permanent address: Institute for Nuclear Research of Russian Academy of Sciences, Moscow 117312, Russia

# Schwarze Löcher am LHC

*"To think that LHC particle collisions at high energies can lead to dangerous black holes is rubbish. Such rumors were spread by unqualified people seeking sensation or publicity."*

Academician **Vitaly Ginzburg, Nobel Laureate** in Physics, Lebedev Institute, Moscow, and Russian Academy of Sciences

*"The operation of the LHC is safe, not only in the old sense of that word, but in the more general sense that our most qualified scientists have thoroughly considered and analyzed the risks involved in the operation of the LHC. [Any concerns] are merely hypothetical and speculative, and contradicted by much evidence and scientific analysis."*

Prof. **Sheldon Glashow, Nobel Laureate** in Physics, Boston University,

Prof. **Frank Wilczek, Nobel Laureate** in Physics, Massachusetts Institute of Technology,

Prof. Richard Wilson, Mallinckrodt Professor of Physics, Harvard University

*"The world will not come to an end when the LHC turns on. The LHC is absolutely safe. ... Collisions releasing greater energy occur millions of times a day in the earth's atmosphere and nothing terrible happens."*

Prof. **Steven Hawking**, Lucasian Professor of Mathematics, Cambridge University

*"Nature has already done this experiment. ... Cosmic rays have hit the moon with more energy and have not produced a black hole that has swallowed up the moon. The universe doesn't go around popping off huge black holes."*

Prof. Edward Kolb, Astrophysicist, University of Chicago

*"I certainly have no worries at all about the purported possibility of LHC producing microscopic black holes capable of eating up the Earth. There is no scientific basis whatever for such wild speculations."*

Prof. Sir Roger Penrose, Former Rouse Ball Professor of Mathematics, Oxford University

*"There is no risk [in LHC collisions, and] the LSAG report is excellent."*

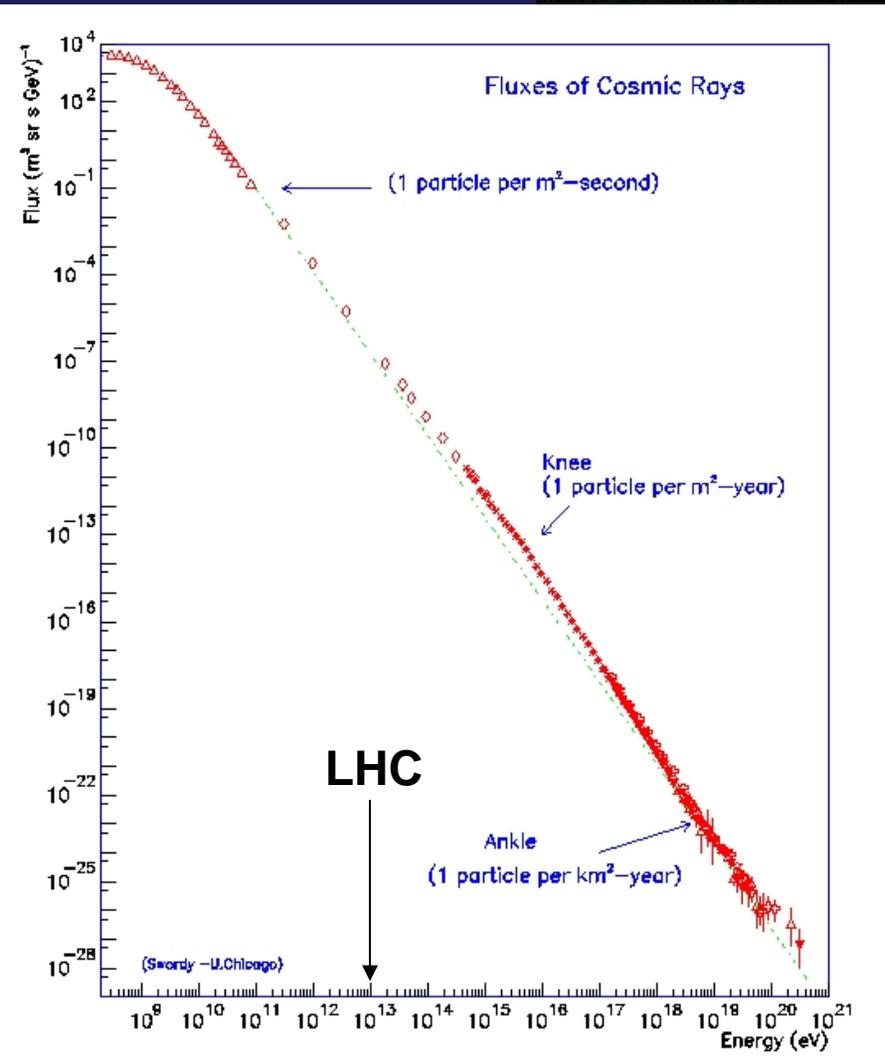
# Kosmische Strahlung

- Entdeckung: Viktor Hess (1912)
- Herkunft: Supernovaexplosionen



Viktor Hess (1912)  
Nobelpreis 1936

# Kosmische Strahlung



Rate kosmischer Teilchen  $5 \times 10^{-14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Erdoberfläche:  $5 \times 10^{18} \text{ cm}^2$

→ **250000 Kollisionen mit LHC-Energie/s**

Alter der Erde: 4,5 Milliarden Jahre

→  $3 \times 10^{22}$  Kollisionen mit LHC-Energie seit Entstehung der Erde

→ entspricht 100.000 mal dem LHC-Programm (10<sup>17</sup> Kollisionen in 10 Jahren)

→ **Erde existiert noch!**

# Kosmische Strahlung



**Sonnenoberfläche ~ 10.000 x Erdoberfläche**

**→ 2,5 Milliarden Kollisionen mit LHC-Energie pro Sekunde  
(LHC schafft nur 1 Milliarde pro Sekunde)**

**→ Sonne hat das LHC-Programm bereits etwa  
1 Milliarde mal absolviert und existiert immer noch!**

**→ das gesamte Universum absolviert das  
LHC-10-Jahres-Programm 10.000 Milliarden mal  
jede Sekunde, ohne beobachtbare Konsequenzen!!**

# Der Tag X



10. September 2008

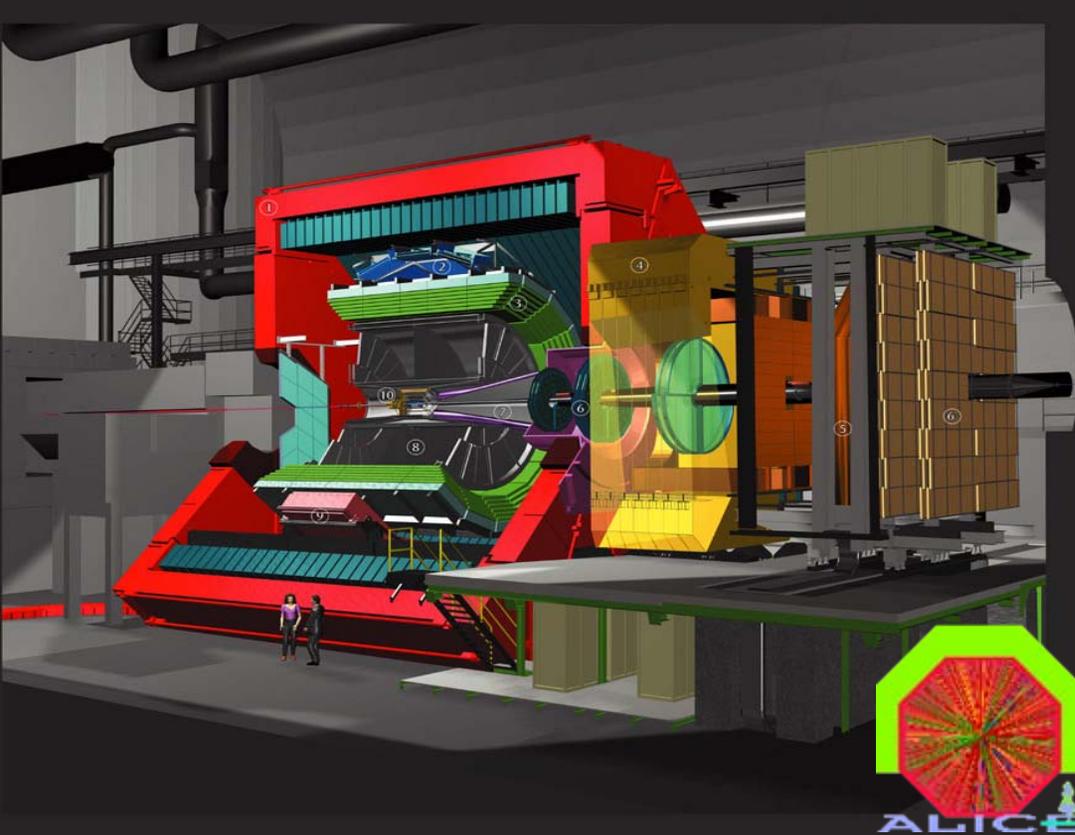


- Protonstrahlen konnten erstmals durch den gesamten 27 km langen Ring geführt werden



8,6 km

LHC



## ALICE collaboration

- 1000 Wissenschaftler
- 94 Institutionen
- 29 Länder

main focus: Pb-Pb at  $\sqrt{s_{NN}} = 5.5$  TeV



LHC

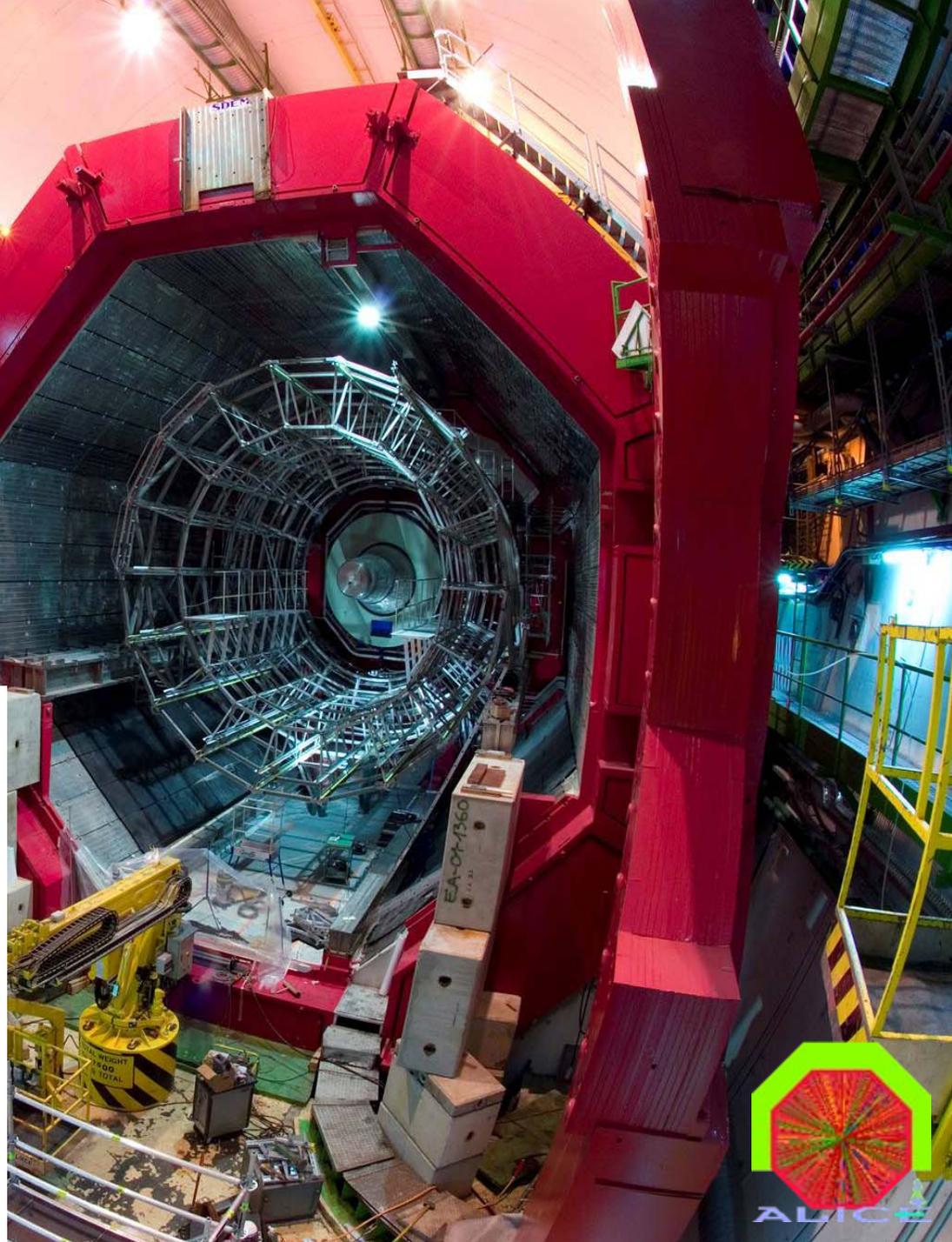
# ALICE Magnet

Gewicht: 7800 t  
Magnetfeld: 0.5 T

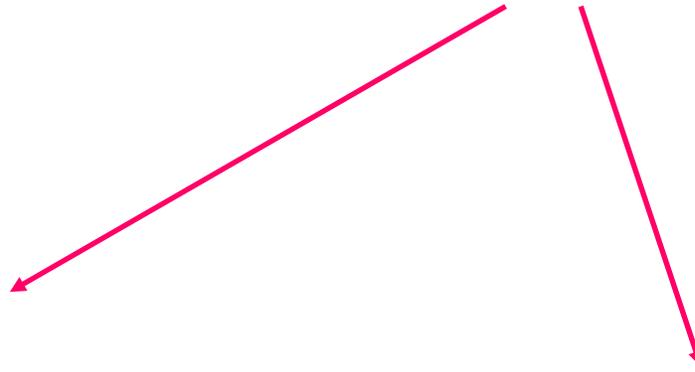
Ablenkung geladener Teilchen im  
Magnetfeld aufgrund der **Lorentzkraft**

$$F = qvB = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow mv = qBr$$

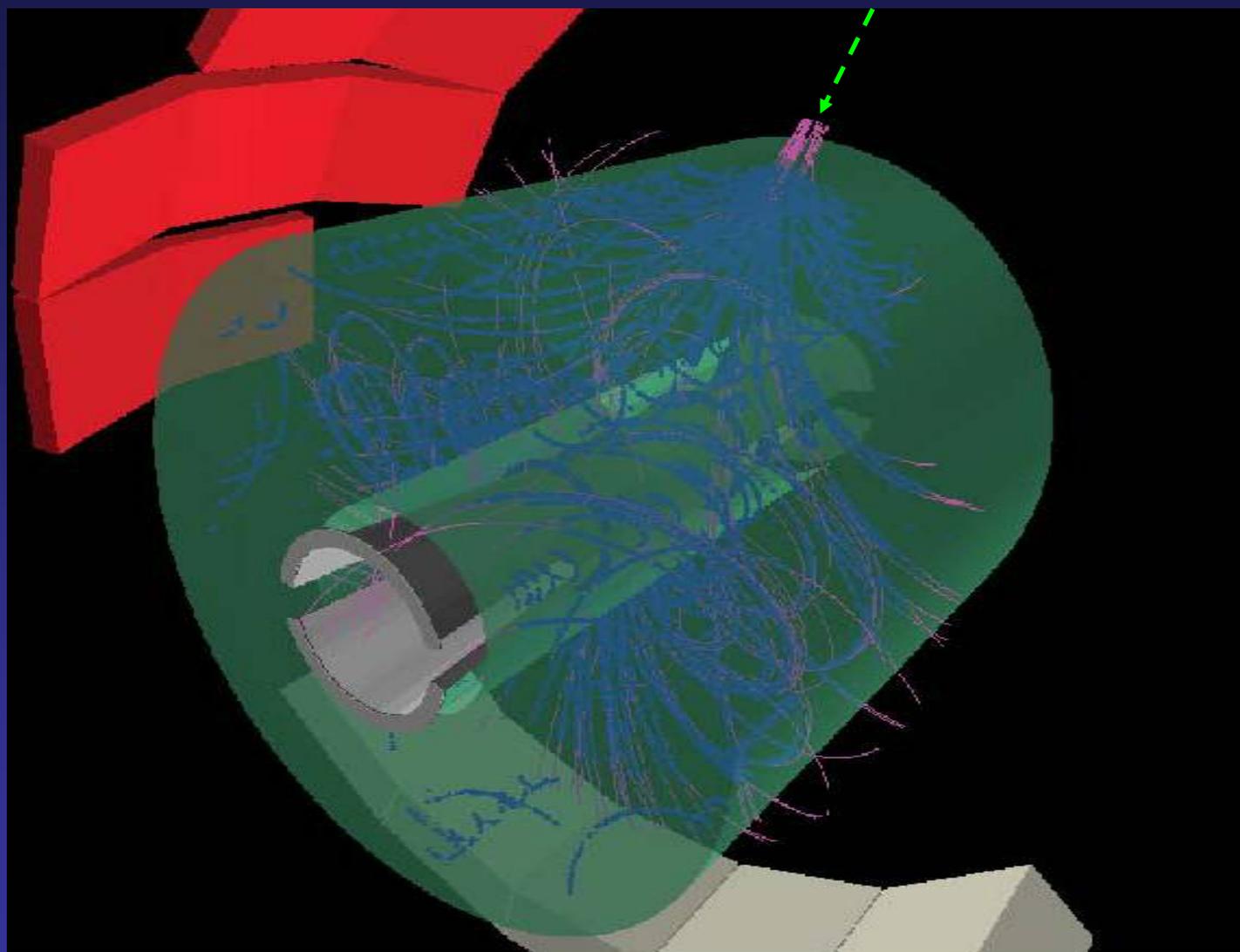
→ Impulsbestimmung



# TPC (Impulsbestimmung)



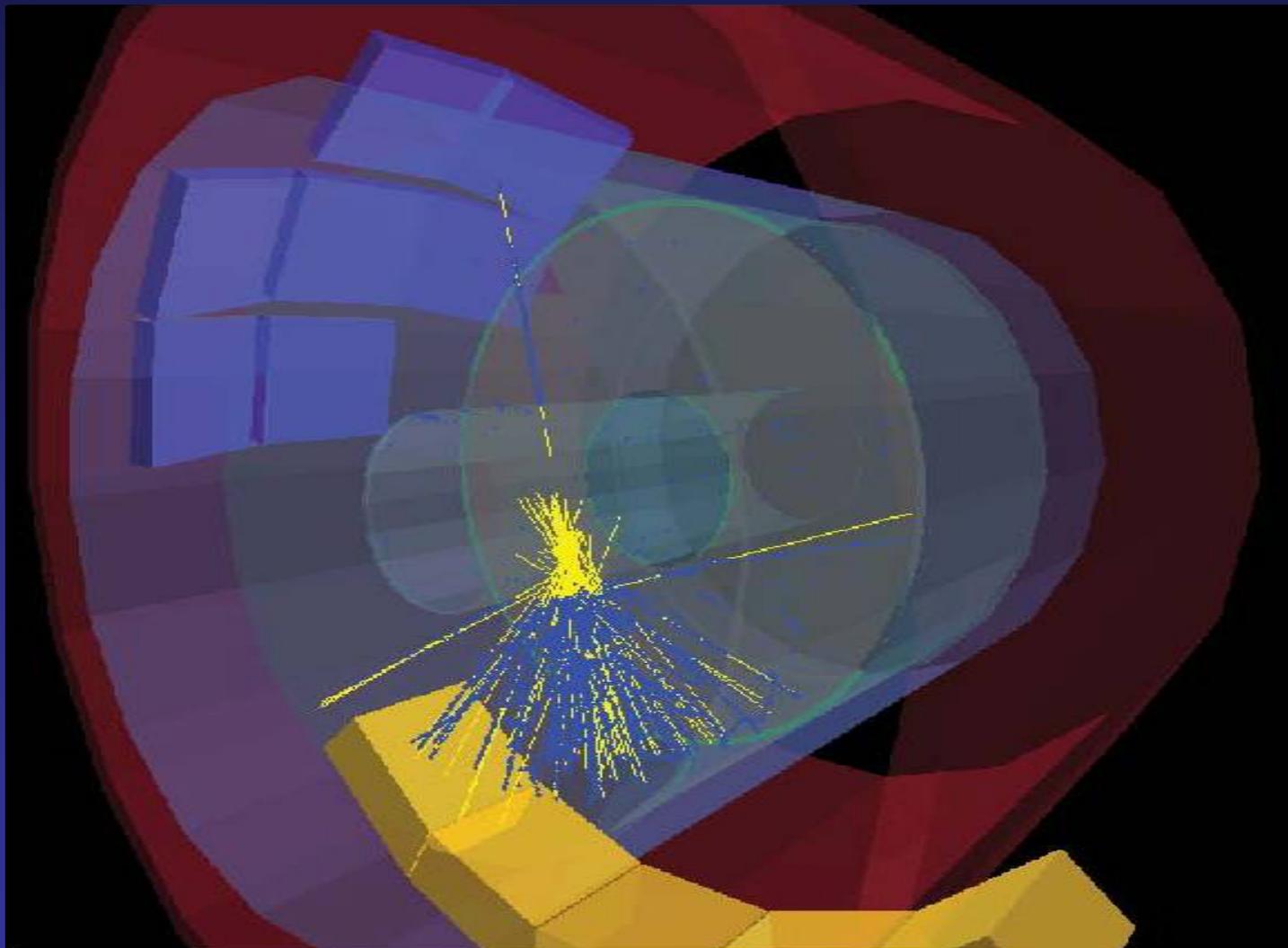
# Kosmische Strahlung



Sommer 2008

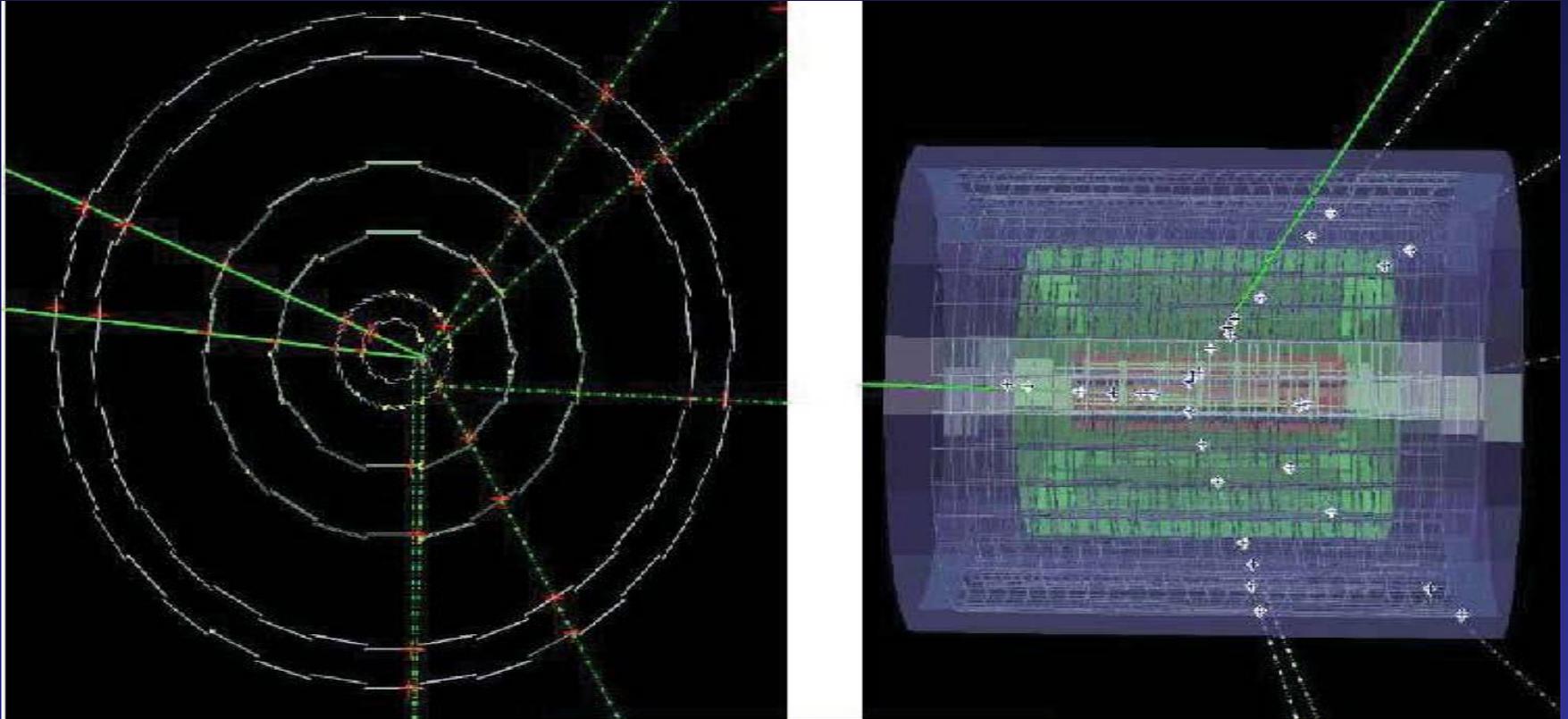


# Kosmische Strahlung



Sommer 2008

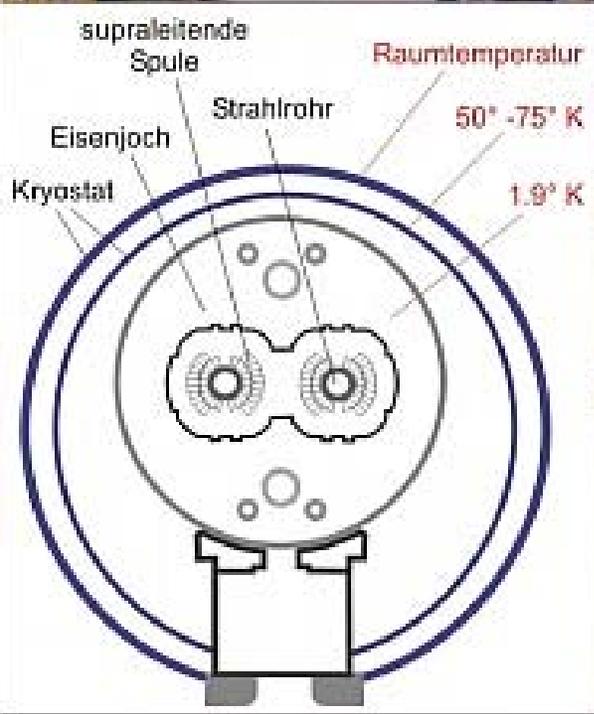
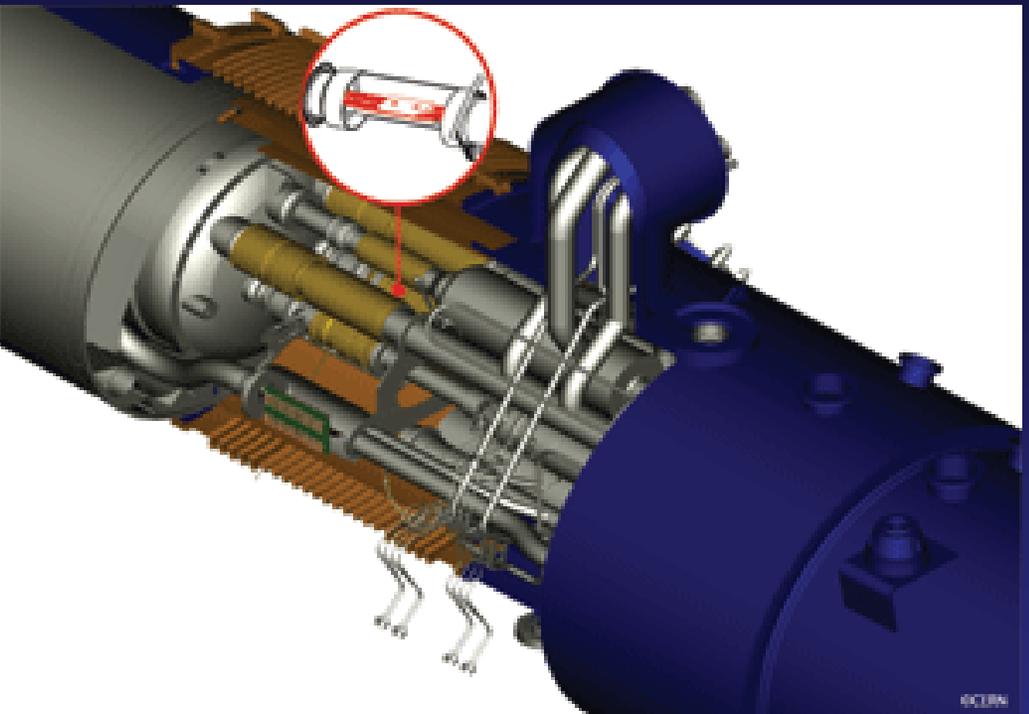


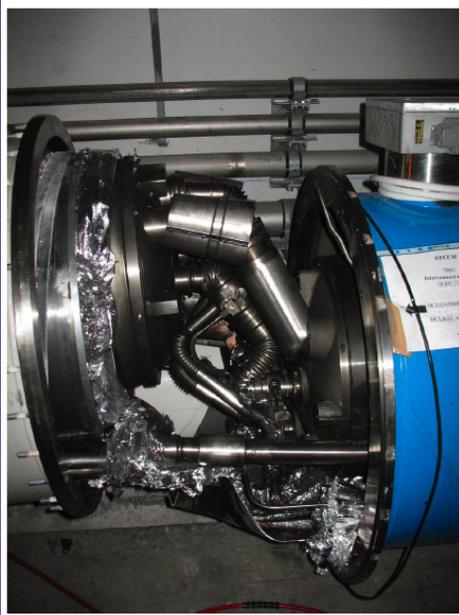


12. September 2008:  
Interaktion eines Strahlteilchens mit dem Detektor

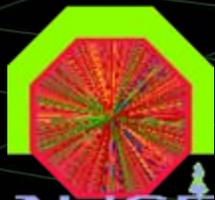
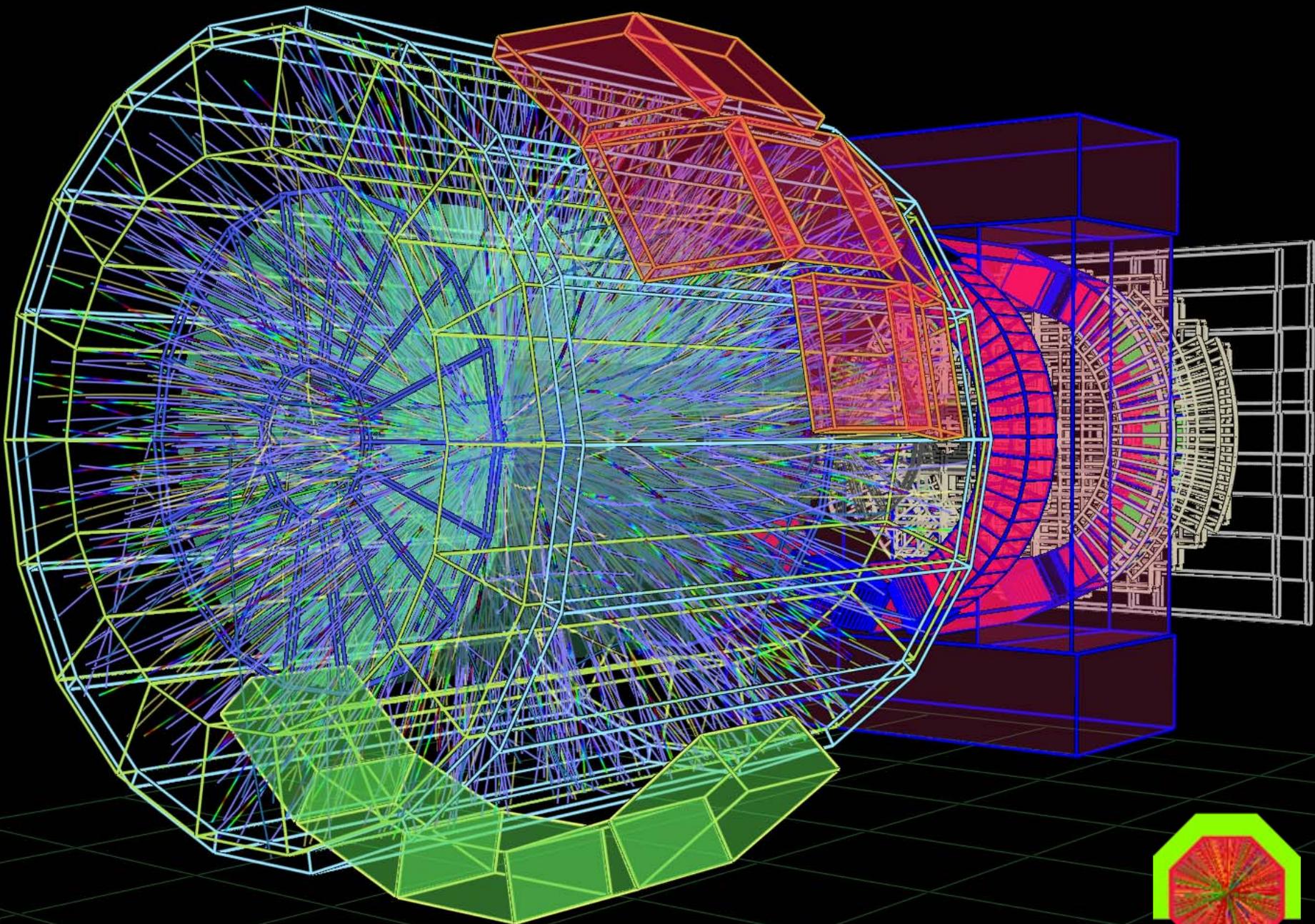








- 53 Magnete beschädigt und ausgebaut (39 Dipole und 14 Quadrupole)
- Reparatur, Reinigung und Einbau bis Mitte 2009
- Strahl im Spätsommer 2009
- **Higgs-Suche um ein weiteres Jahr verzögert**



ALICE



