

TAG DER  
**WELT**  
**MASCHINE**

EINE VERANSTALTUNG ZUM START DES LHC –  
DES GRÖSSTEN PHYSIK-EXPERIMENTS DER MENSCHHEIT



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Vorstoß ins Innerste der Materie

## das Large Hadron Collider Projekt

- ein Projekt der Superlative
- Teilchenphysik und Kosmologie
- von der Planung zur Realität
- Beschleuniger und Detektoren
- aktueller Status des LHC Projektes
- mini Schwarze Löcher am LHC ...?

# Urknall im Tunnel

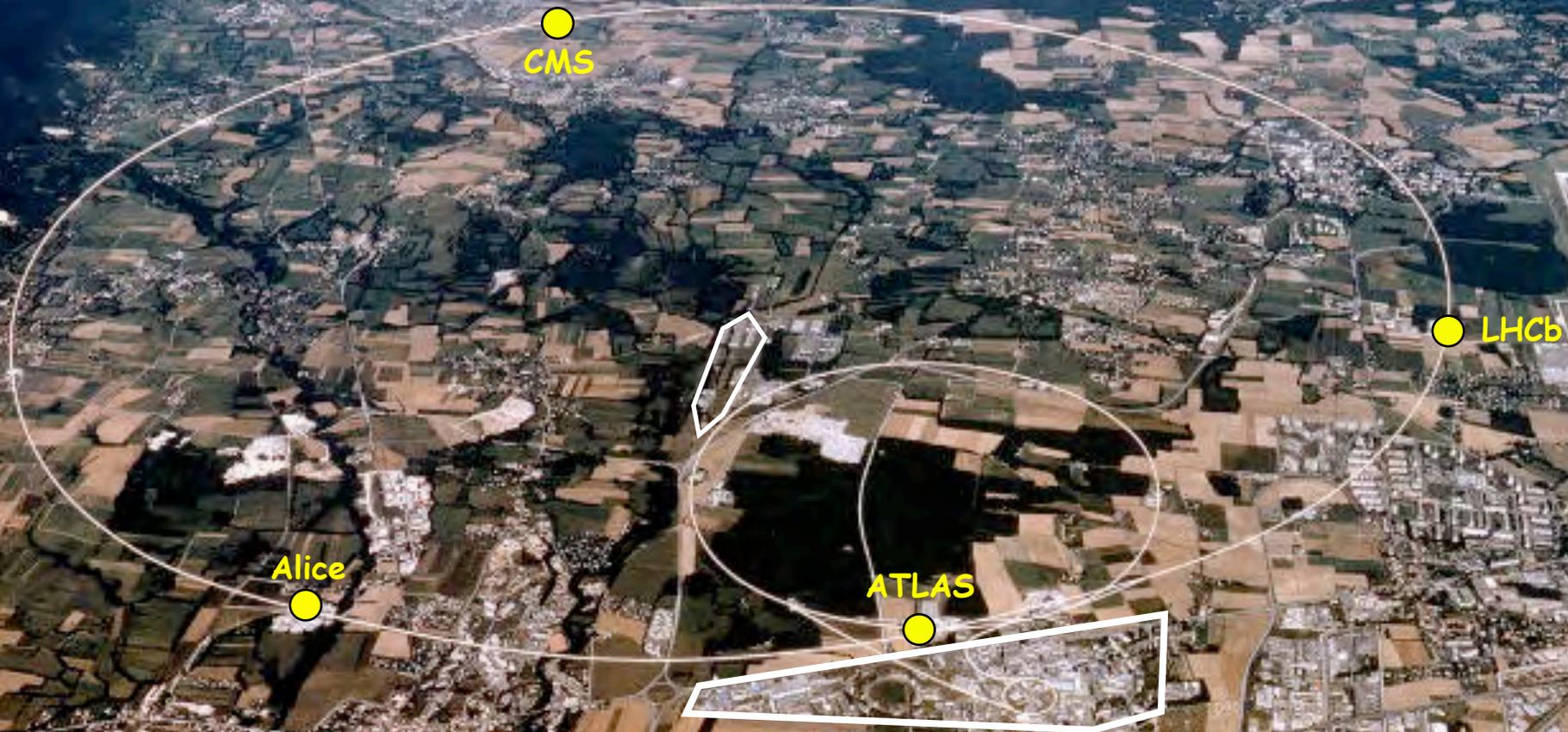
Das Large Hadron Collider Projekt

Das Large H

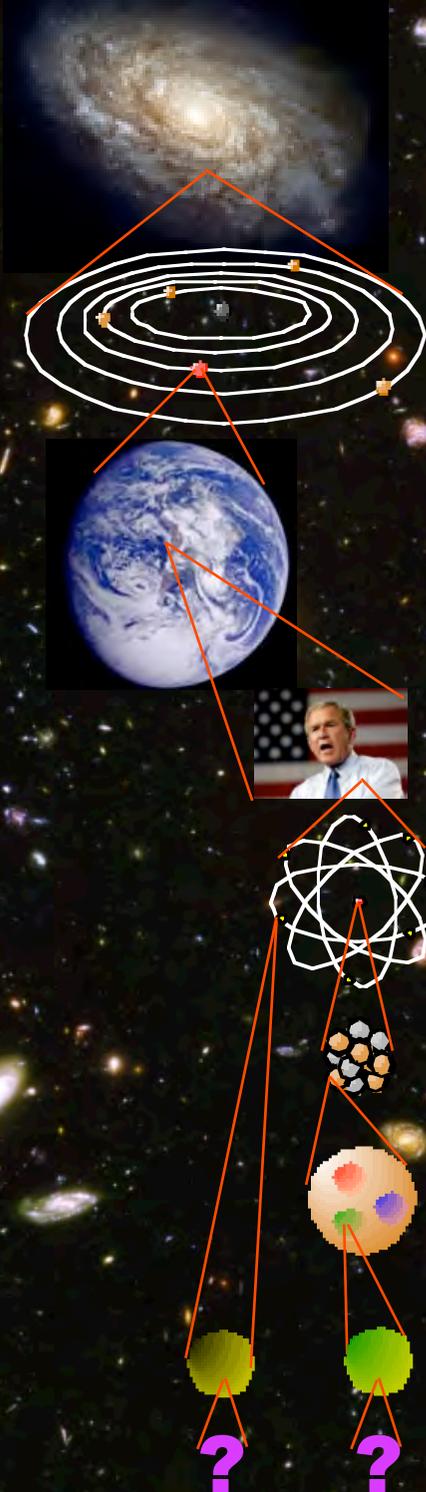
# das Large Hadron Collider Projekt ein Projekt der Superlative:

- Teilchenbeschleuniger, 27 km Umfang, 100m unter Tage
- höchste derzeit technisch mögliche Kollisionsenergien (14 TeV = 14 000 000 000 000 eV)
- das weltweit größte und komplexeste Unternehmen der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung
- „the coolest place in the universe“: mehr als 50.000 t supraleitender Magnete, mit 90 Tonnen flüssigen Heliums gekühlt auf 1.9 Kelvin (-271 °C)
- 40 MHz Kollisionsrate ->  $\sim 10^{14}$  B/s Rohdatenfluss in den Teilchendetektoren;  $\sim 1$  TB/s „on disk“, 7 PB/a „on tape“; world-wide GRID computing
- 7000 t (ATLAS) and 12.500 t (CMS) hoch-präziser Teilchen-Detektor Technologie (Boeing 747: 200 t; Eiffel Turm: 7300 t)

# Der **L**arge **H**adron **C**ollider am Europäischen Zentrum für Teilchenphysik CERN / Genf



# Dimensionen und Struktur der Materie



Universum  $10^{26}$  m

Galaxie  $10^{21}$  m

Sonnensystem  $10^{13}$  m

Erde  $10^7$  m

Mensch  $10^0$  m

Atom  $10^{-10}$  m

Atomkern  $10^{-14}$  m

Nukleon  $10^{-15}$  m

Quark; Lepton  $< 10^{-18}$  m

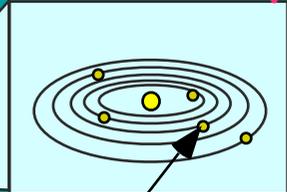
?

?

?????

???

# Teilchenphysik und Kosmologie

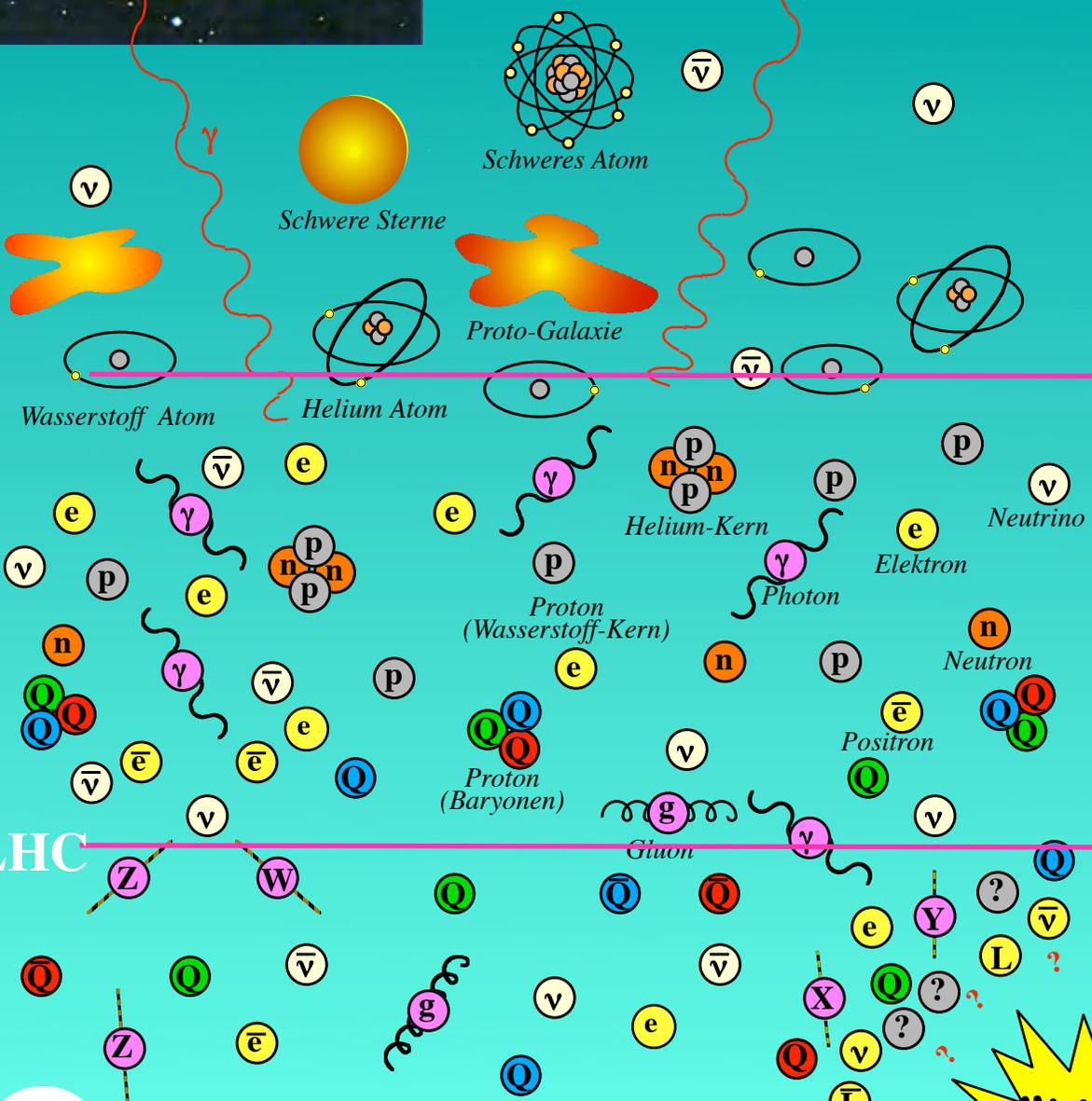


Wir sind hier

Zeit

GEGENWART

Temperatur	Alter
2.7 K	13.7 Milliarden Jahre



erste Supernovae

Entstehung von Sternen und Galaxien

11 K	1 Milliarde Jahre
------	-------------------

UNIVERSUM WIRD TRANSPARENT

Bildung von Atomen. Entkopplung von Strahlung und Materie.

1.000 K	300 000 Jahre
---------	---------------

Nukleosynthese von Helium

Positronen verschwinden

$10^{10} K$	1 sec.
-------------	--------

Formation von Protonen und Neutronen

Antiquarks verschwinden

$10^{15} K$	$10^{-10} sec$
-------------	----------------

Asymmetry  $Q - Q^- L - L^-$

Inflation

$10^{27} K$	$10^{-34} sec$
-------------	----------------

GROSSE VEREINHEITLICHUNG

QUANTEN-GRAVITATION

$10^{31} K$	$10^{-43} sec$
-------------	----------------

Teilchenbeschleuniger

LHC



# Sonden zur Auflösung kleinster Strukturen

Sonde, Instrument	typ. Energie	Auflösung bis ca.	auflösbare Objekte
sichtbares Licht	1 ... 3 eV	$10^{-6}$ m	Viren
Röntgenstrahlung; Elektronenmikroskop	10 keV	$10^{-10}$ m	Atome, Kristallstrukt.
niederenergetische Teilchenbeschleuniger	100 MeV	$10^{-14}$ m	Atomkern
Moderne Teilchenbe- schleuniger (LEP, HERA)	100 GeV	$10^{-17}$ m	Quarks & Co.
Large Hadron Collider	14 TeV	$10^{-19}$ m	????

# Das Standardmodell der Teilchenphysik...

- ... beschreibt erfolgreich und präzise alle bekannten Teilchen und Kräfte

Elementare Teilchen				Elementare Kräfte		relative Stärke
	Generation			Austauschboson		
	1	2	3			
Quarks	u	c	t	Stark	g	1
	d	s	b			
Leptonen	$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$	El.-magn.	$\gamma$	1/137
	e	$\mu$	$\tau$			
				Schwach	$W^\pm, Z^0$	$10^{-14}$
				Gravitation	G	$10^{-39}$

... kann jedoch nicht die ultimative Theorie sein!

es lässt viele fundamentale Fragen offen:

- Erzeugung der Teilchenmassen (Higgs-Boson?)
- bisher noch keine Quantenfeldtheorie der Gravitation
- Vereinheitlichung aller Kräfte (GUT; TOE) ?
- wo ist die Antimaterie geblieben ? („warum gibt es uns?“)
- was sind die „Dunkle“ Materie und Energie, die 95% unseres Universums ausmachen?

# Visionen (1980'er)

- Bau eines Teilchenbeschleunigers mit den höchsten technisch realisierbaren Kollisionsenergien, mit dem Ziel:
  - das **Standard Modell** jenseits von Energien von 1 TeV zu testen
  - die fehlenden Teile des SM zu finden: **das top-Quark ...**
  - den Mechanismus der **elektroschwachen Symmetrie-Brechung** zu erforschen (d.h., das **Higgs Boson** zu finden)
  - nach einer **neuen Physik** jenseits des Standard Modells zu suchen (**SUperSYmmetrie**; höhere Raumdimensionen; ...)
  - das **Unerwartete** zu finden ....

# Herausforderungen:

- "schnell" und „billig“ → benutze den existierenden LEP-Tunnel und die Vorbeschleuniger am CERN
- höchste Energien bei gegebenem Tunnelradius → beschleunige Protonen (statt Elektronen bei LEP)
- Kollisionsenergie der Konstituenten von  $\sim \text{TeV}$  → Protonen-Energien von mindestens 5 TeV
- Protonen-Energien von mindestens 5 TeV → supraleitende Magnete mit  $\sim 8$  Tesla
- produziere Objekte sehr hoher Massen → benötige hohe Strahlstärken ( $L \sim 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
- $L \sim 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  → hohe Datenraten; Strahlsch.

# Das LHC-Projekt:

## 3 Hauptkomponenten

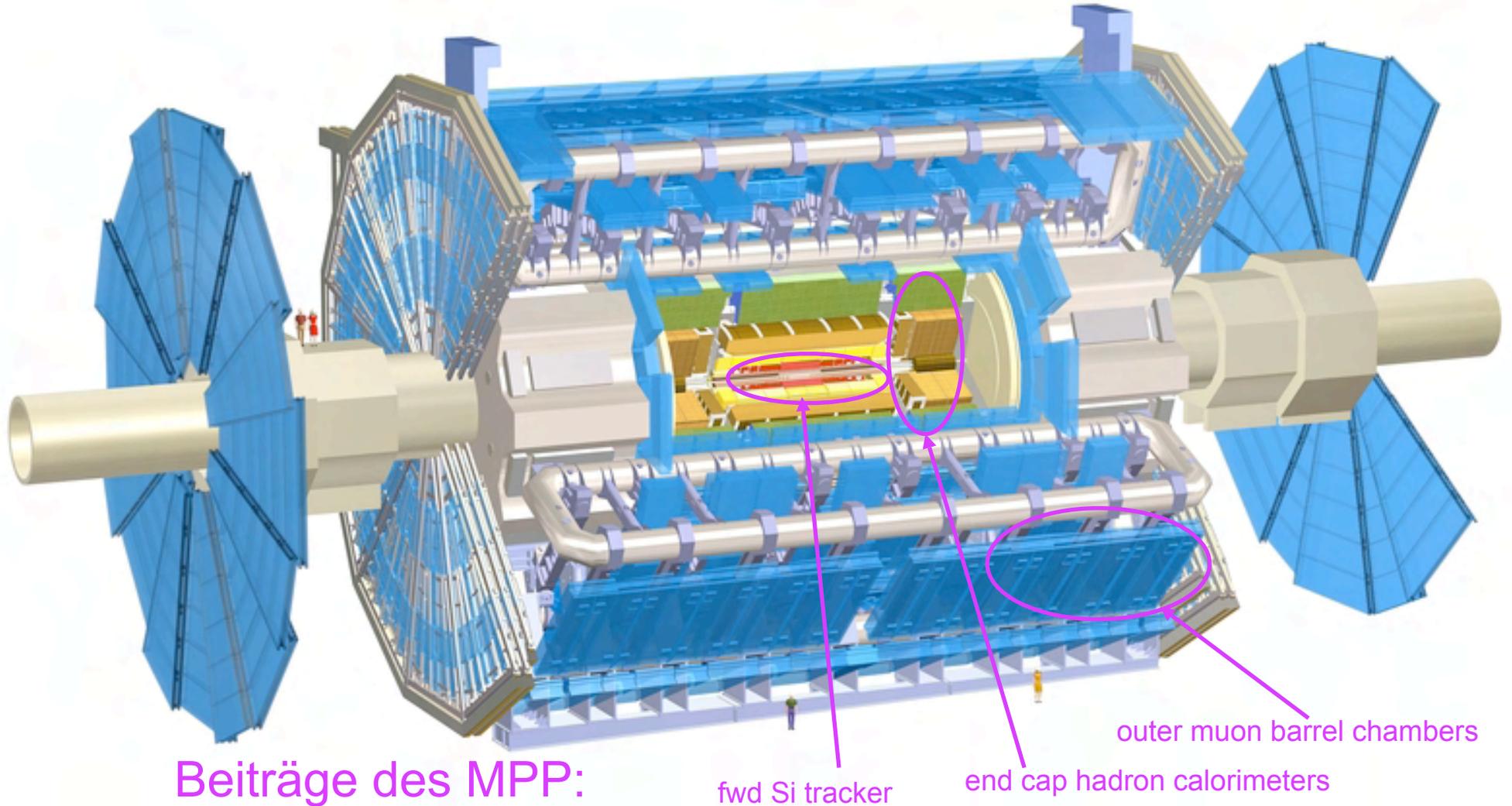
- der Beschleuniger („die Maschine“)
- Detektoren (ATLAS, CMS, ALICE, LHCb)
- World Wide LHC Computing Grid

# Der ATLAS Detektor am Large Hadron Collider

Länge: 44 m  
Höhe: 22 m  
Gewicht: 7000 t

1800 Physiker & Ingenieure  
150 Institute  
35 Nationen

$150 \cdot 10^6$  elektron. Auslese-Kanäle  
40 MHz Kollisionsrate  
 $10^{14}$  B/s Rohdatenfluss



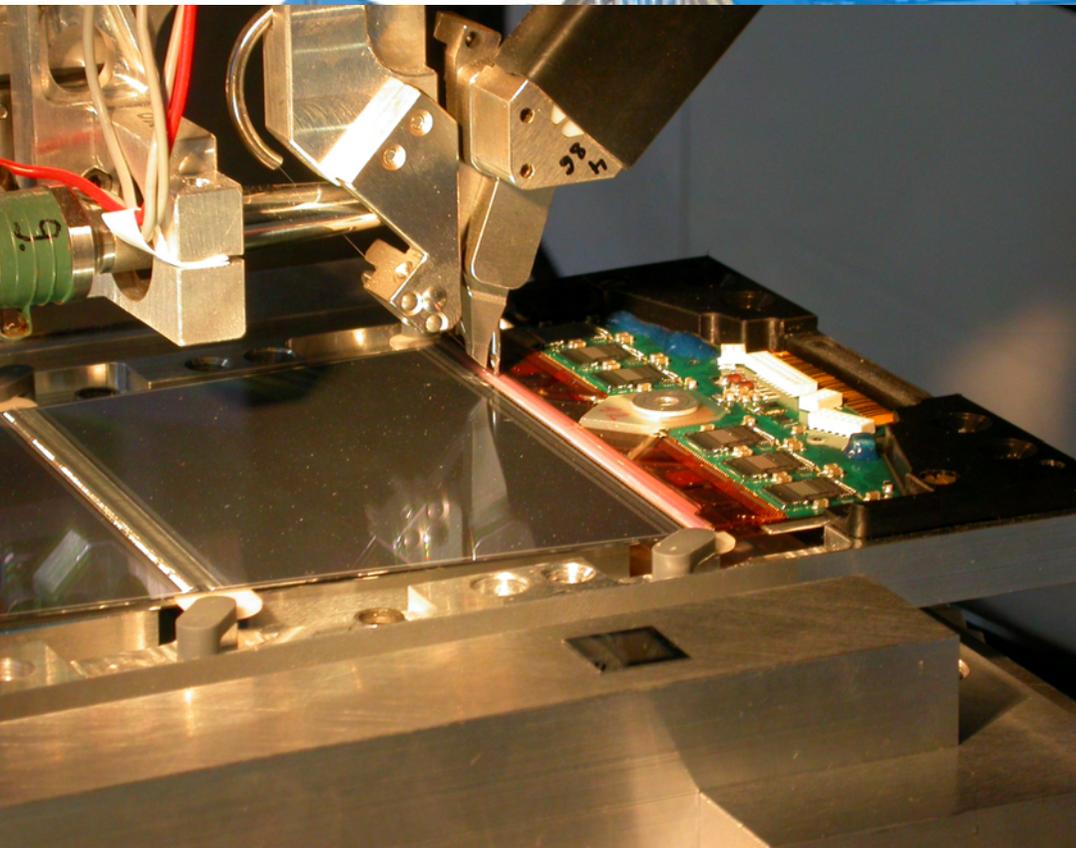
Planung & Aufbau von 1990 bis 2007, Betrieb ab 2008, für ~ 15-20 Jahre

# Der ATLAS Detektor am Large Hadron Collider

Länge: 44 m  
Höhe: 22 m  
Gewicht: 7000 t

1800 Physiker & Ingenieure  
150 Institute  
35 Nationen

$150 \cdot 10^6$  elektron. Auslese-Kanäle  
40 MHz Kollisionsrate  
 $10^{14}$  B/s Rohdatenfluss



Beiträge des MIT



fwd Si tracker

end cap hadron calorimeters

Planung & Aufbau von 1990 bis 2007, Betrieb ab 2008, für ~ 15-20 Jahre

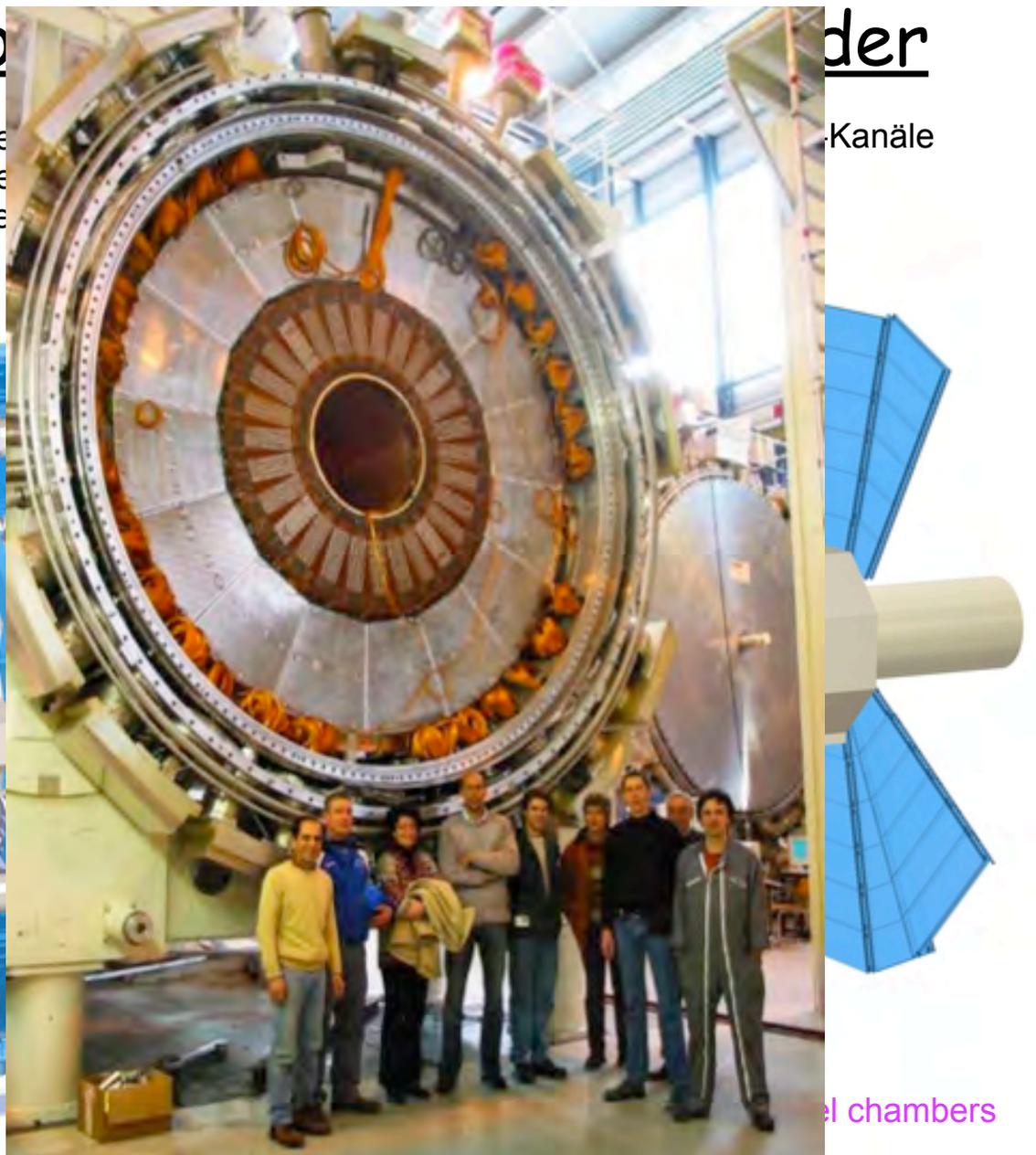
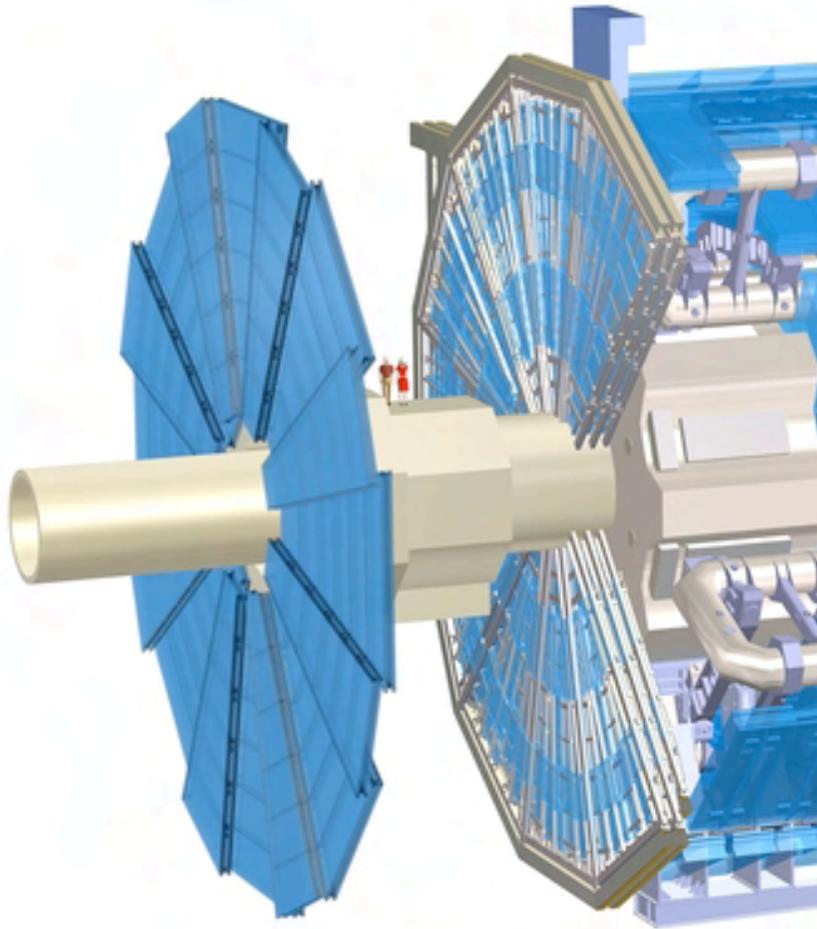
# Der ATLAS Detektor

# der

Länge: 44 m  
Höhe: 22 m  
Gewicht: 7000 t

1800 Physiker  
150 Institute  
35 Nationen

Kanäle



Beiträge des MPP:

fwd Si tracker

end cap hadron calorimeters

cal chambers

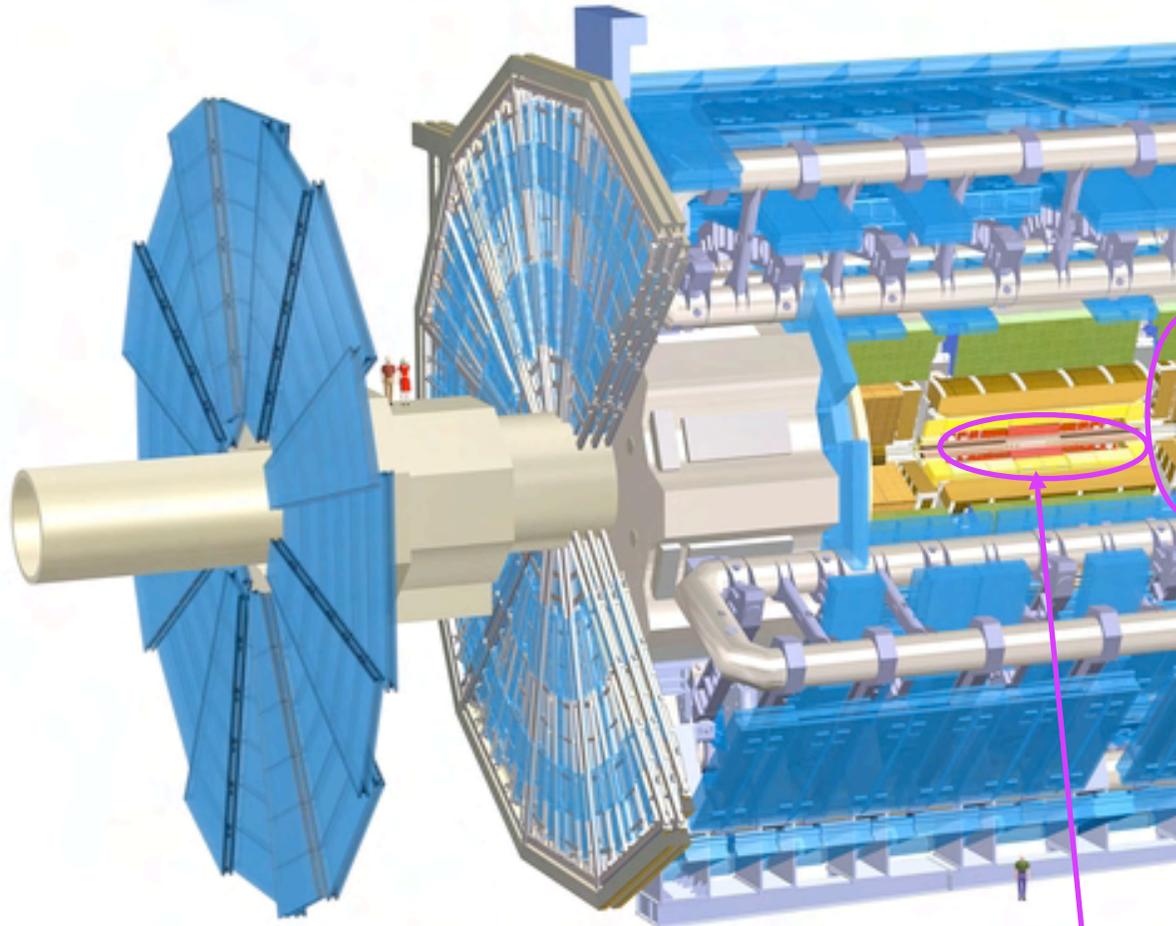
Planung & Aufbau von 1990 bis 2007, Betrieb ab 2008, für ~ 15-20 Jahre

# Der ATLAS Detektor am Large Hadron Collider

Länge: 44 m  
Höhe: 22 m  
Gewicht: 7000 t

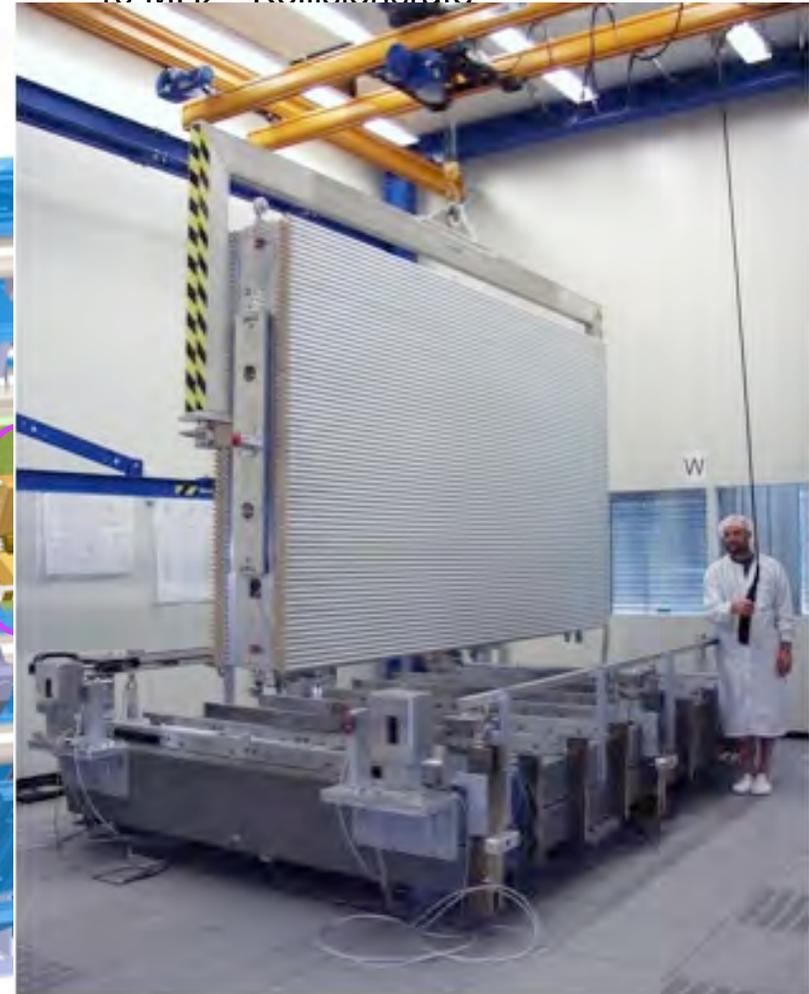
1800 Physiker & Ingenieure  
150 Institute  
35 Nationen

$150 \cdot 10^6$  elektron. Auslese-Kanäle  
40 MHz Kollisionsrate



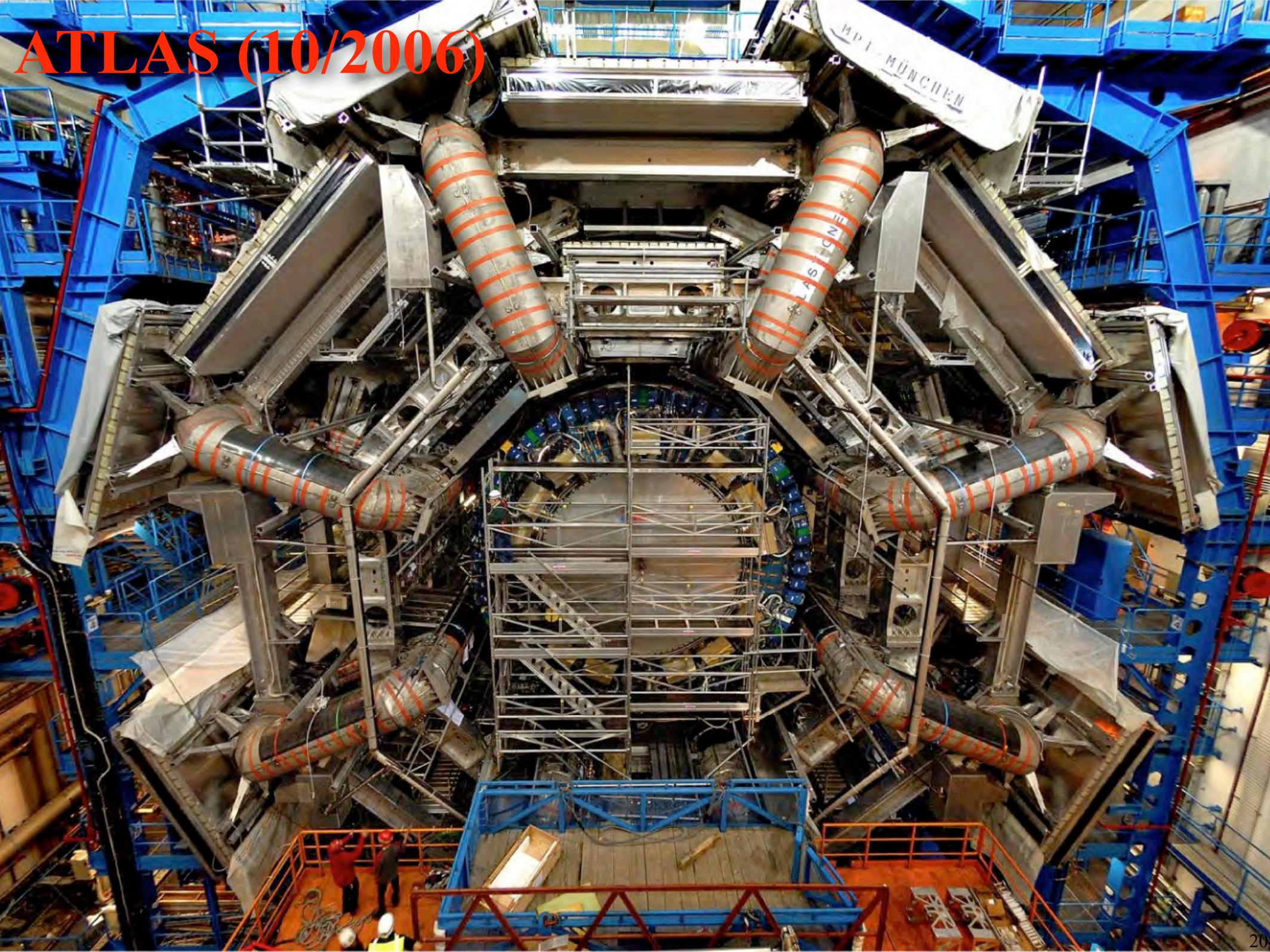
Beiträge des MPP:

fwd Si tracker



outer muon barrel chambers  
end cap hadron calorimeters

Planung & Aufbau von 1990 bis 2007, Betrieb ab 2008, für ~ 15-20 Jahre

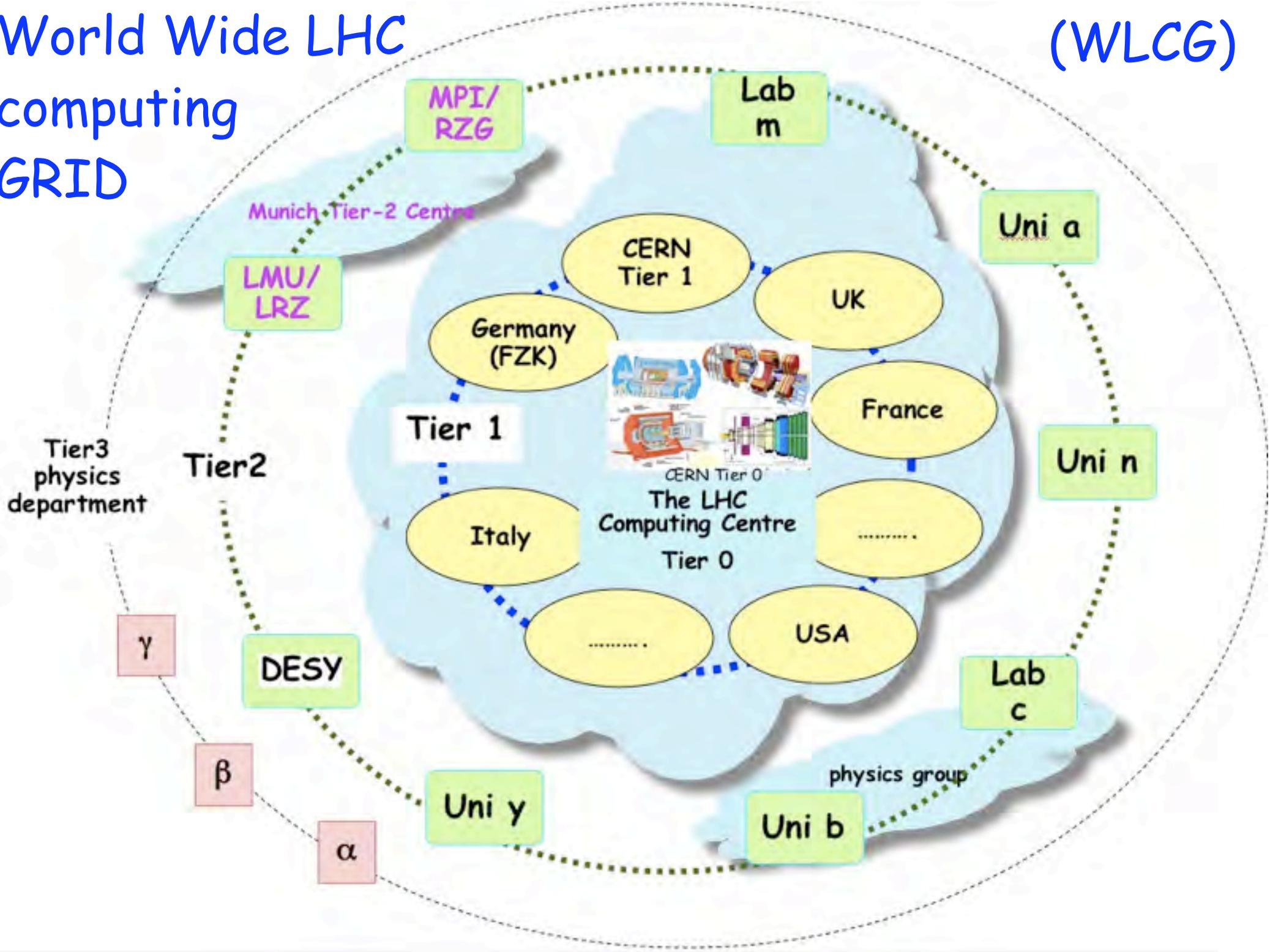


# ATLAS (10/2006)

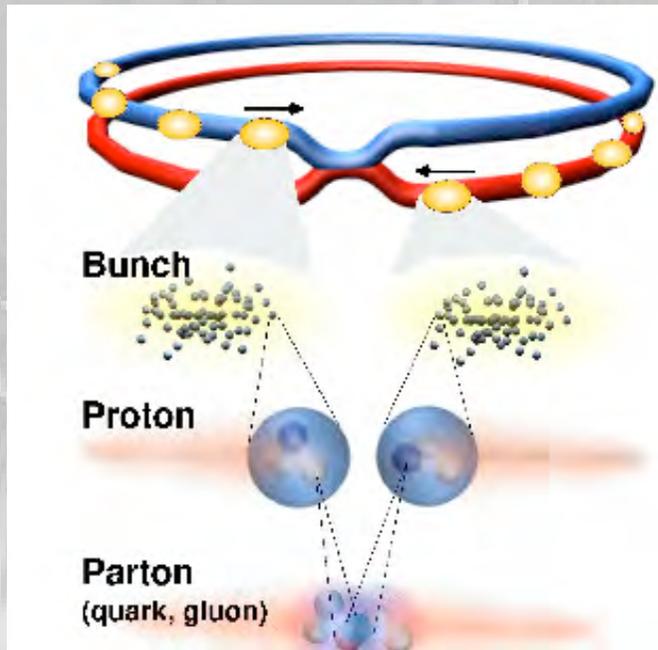
MPI MÜNCHEN

# World Wide LHC computing GRID

(WLCG)



# Der Large Hadron Collider (LHC)



## Proton - Proton Kollisionen

Energie: 7 TeV ( 7 000 000 000 000 eV) + 7 TeV

2835 x 2835 Pakete (bunches)

Abstand: 7.5 m ( 25 ns)

$10^{11}$  Protonen / bunch

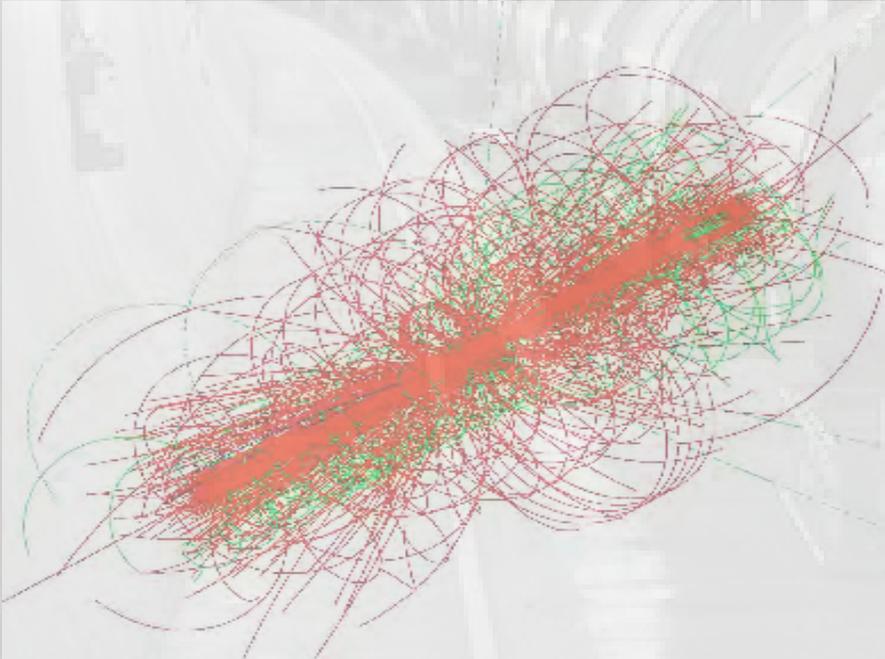
Kreuzungsrate der p-Pakete: 40 Mio. mal / sec.

Luminosität:  $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$

Proton-Proton Kollisionen:  $\sim 10^9 / \text{sec}$   
(Überlagerung von 23 pp-Wechselwirkungen  
während einer Strahlkreuzung)

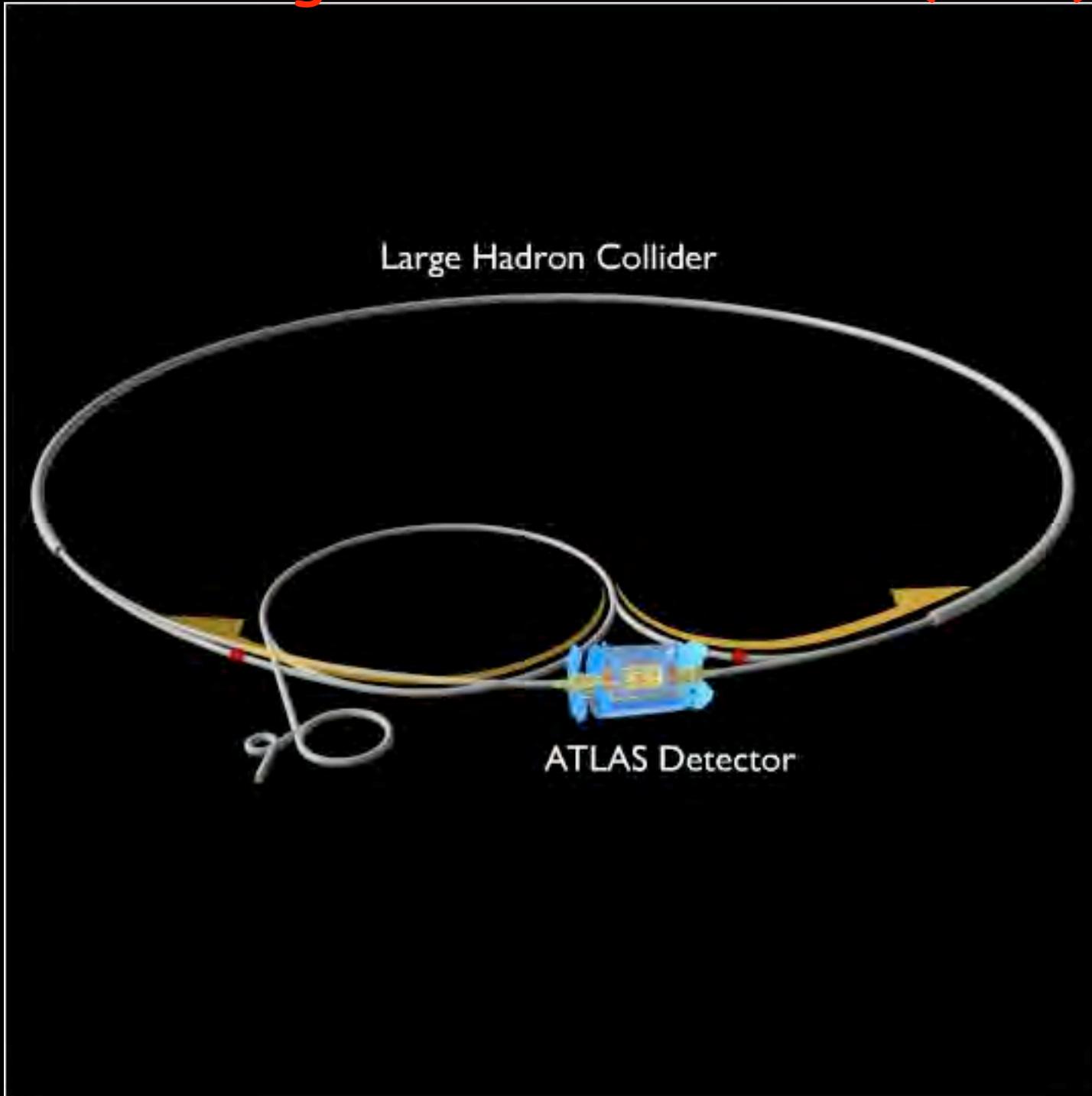
$\sim 1600$  geladene Teilchen im Detektor

$\Rightarrow$  hohe Anforderungen an die Detektoren  
(Präzision; Strahlenschäden; Datenvolumen)



# Der Large Hadron Collider (LHC)

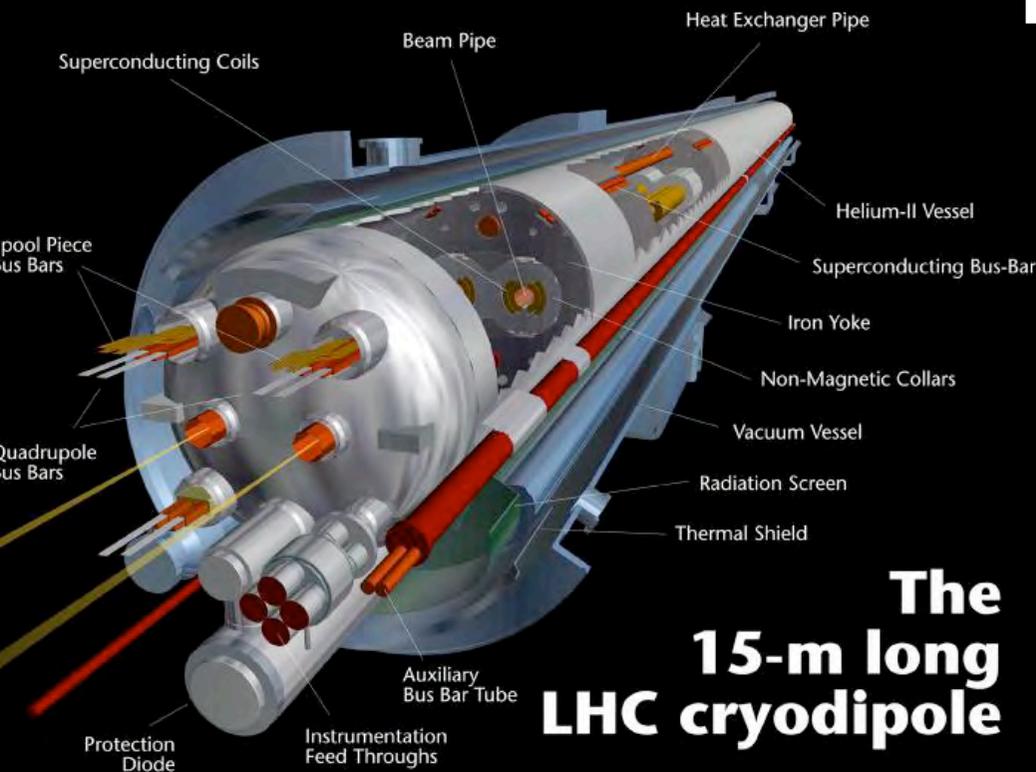
so funktioniert's:



# LHC Tunnel



# Die LHC Dipol-Magnete

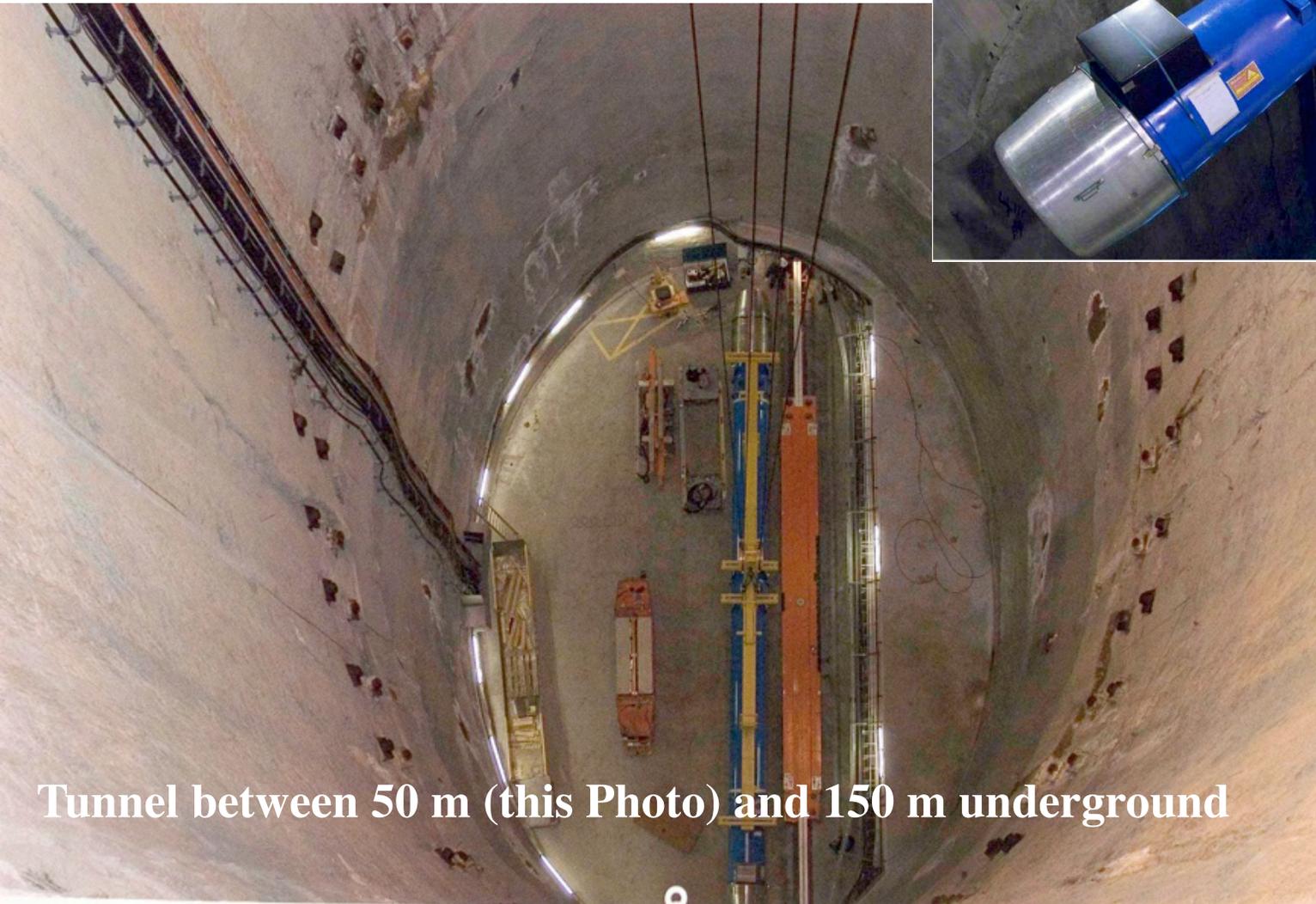
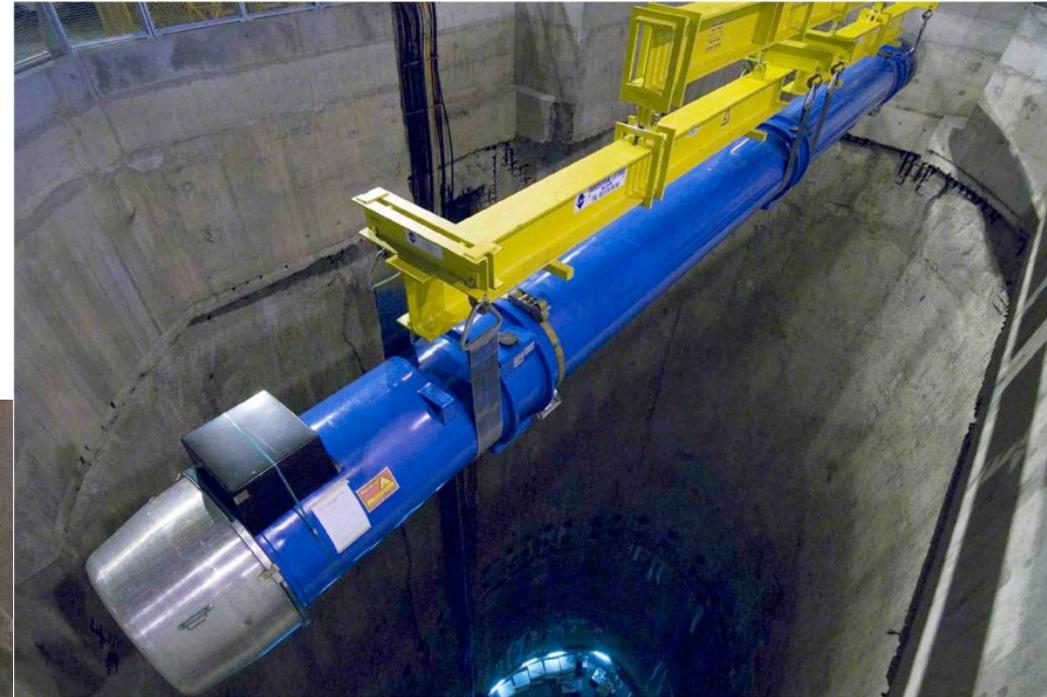


# Dipole lowered to LHC tunnel level

**First Dipole #1 : 7 March 2005**

**Last Dipole #1232 : 26 April 2007**

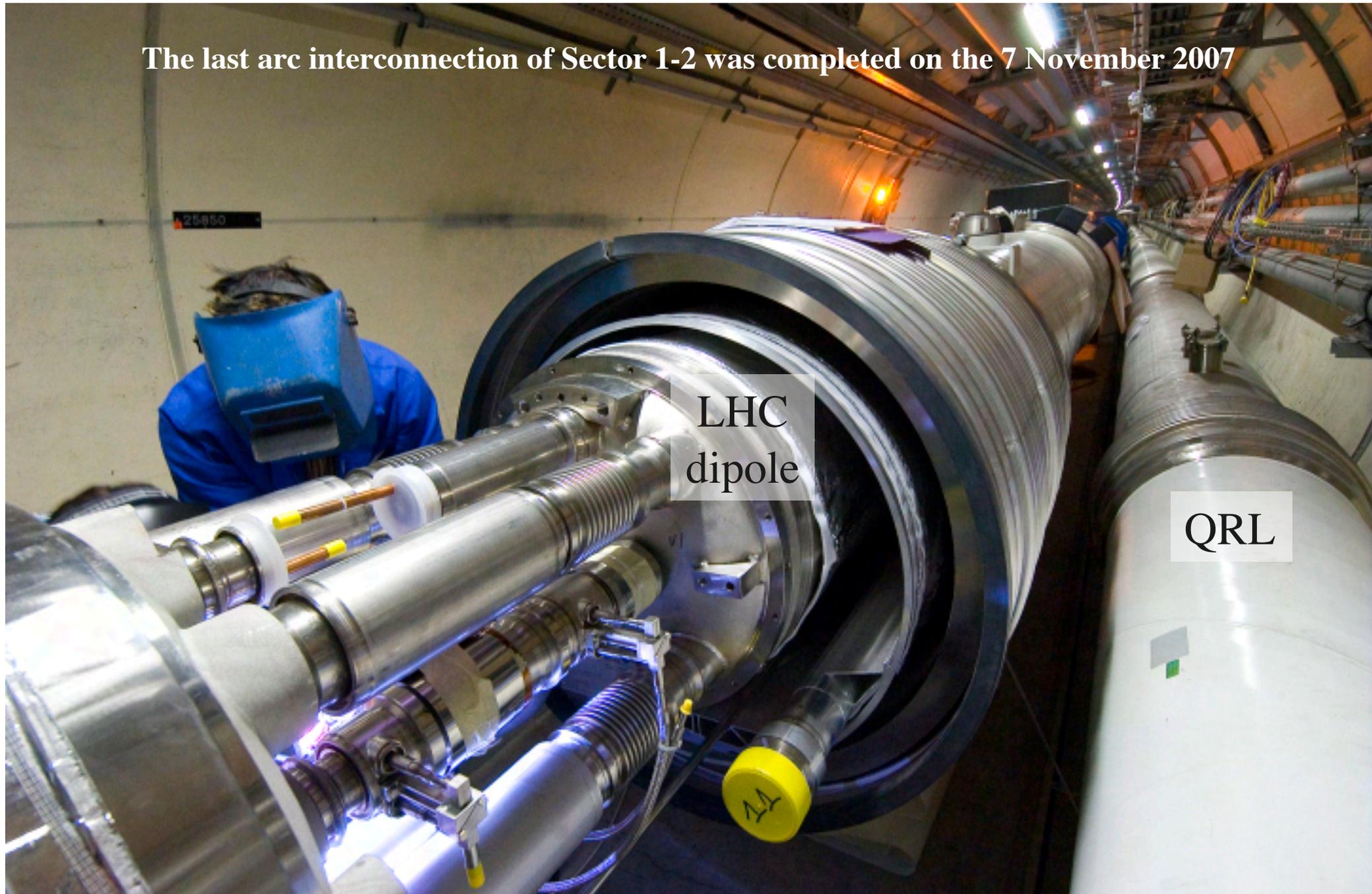
**all magnets there, 474 SC quads..**



**Tunnel between 50 m (this Photo) and 150 m underground**

# LHC magnet interconnect in the tunnel

The last arc interconnection of Sector 1-2 was completed on the 7 November 2007



LHC  
dipole

QRL

# Looking at the LHC machine



**29 April 2008**

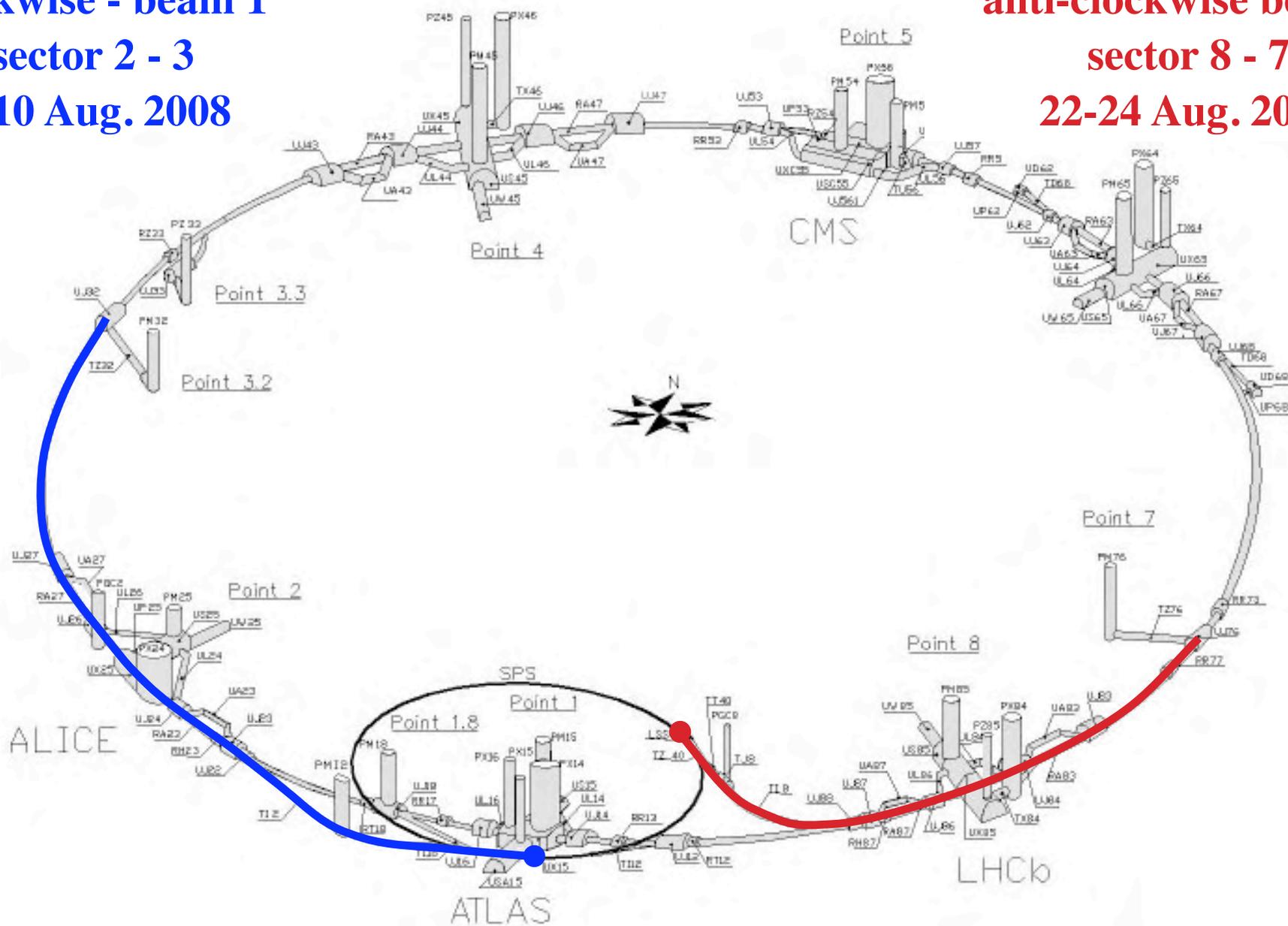
# The LHC Project - from **visions to reality**:

- ~1981: first ideas; basic design of machine
- 1984: ECFA meeting at Lausanne ("Start of LHC")
- 1990: Aachen workshop: physics, detectors, machine  
C. Rubbia: - LHC in competition to SSC, but cheaper and earlier (~1998)!  
- factor 10 in luminosity is worth factor 2 in energy  
(LHC:  $\sqrt{s} = 16$  TeV SSC:  $\sqrt{s} = 40$  TeV)
- 1992: Letters of intent for LHC program
- 1994: ATLAS & CMS technical proposals
- 1994: CERN Council approval of (stage 1) LHC
- 1995: approval of full (single stage) LHC (start in 2005)
- 2000: shutdown and dismantling of LEP
- 2005: start of installation of LHC dipoles;
- **2008** **colliding beams (November)**

# LHC commissioning with beam

**1st Injection**  
**clockwise - beam 1**  
**sector 2 - 3**  
**8-10 Aug. 2008**

**2nd Injection**  
**anti-clockwise beam 2**  
**sector 8 - 7**  
**22-24 Aug. 2008**



# BEAM SETUP: INJECT AND DUMP

TED T12 position:

BEAM

TED T18 position:

DUMP

TDI P2 gaps/mm

upstream: 29.82

downstream: 30.14

TDI P8 gaps/mm

upstream: 3.32

downstream: 3.28

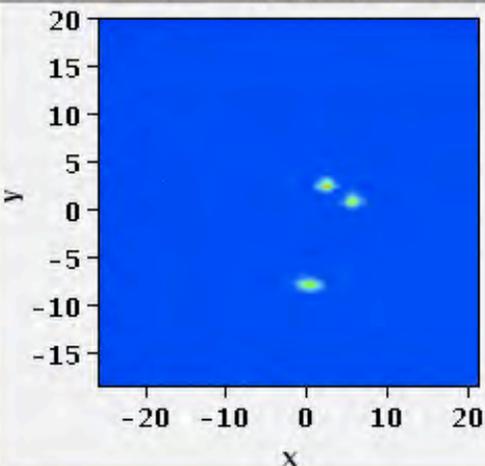
BCT T12:

0.00e+00

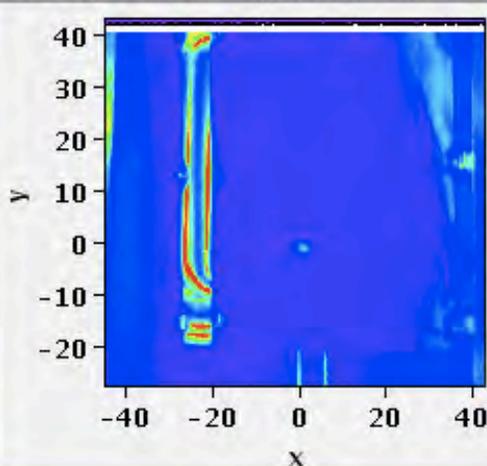
BCT T18:

0.00e+00

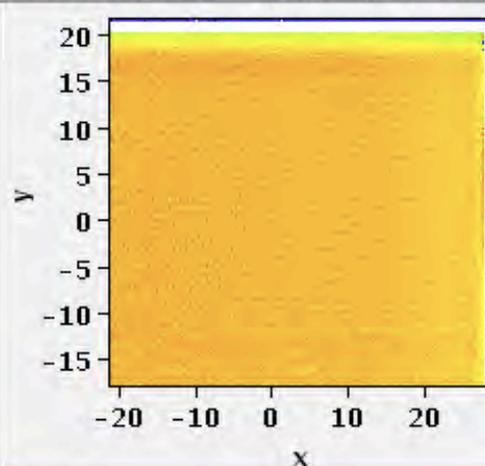
BTVSI.C5L2.B1 Updated: 10:31:46



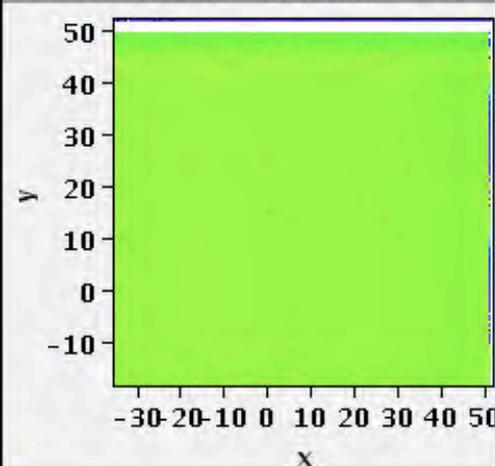
BTVST.A4L2.B1 Updated: 10:31:46



BTVSI.C5R8.B2 Updated: 10:31:46



BTVST.A4R8.B2 Updated: 10:31:46



Comments 10-09-2008 10:31:29 :

B1 extraction only

Beam1: correcting the orbit.

We did three turns!



Freitag, 19. September 2008:

Während der Inbetriebnahme für den Betrieb bei 5 TeV führte vermutlich eine fehlerhafte elektrische Verbindung von zwei Magneten zu einer lokalen Erwärmung und dem Schmelzen wegen des hohen Stroms. Dadurch wurden mechanische Schäden erzeugt und Helium freigesetzt. Wegen strikter Sicherheitsauflagen kam es zu keinen Gefahren für Personen.

Genauere Untersuchungen folgen. Die Reparatur erfordert das Aufwärmen und anschließende Abkühlen des betroffenen Sektors, was zwei Monate beanspruchen wird.

In normal-leitenden Beschleunigern würde eine solche Reparatur nur Tage dauern.

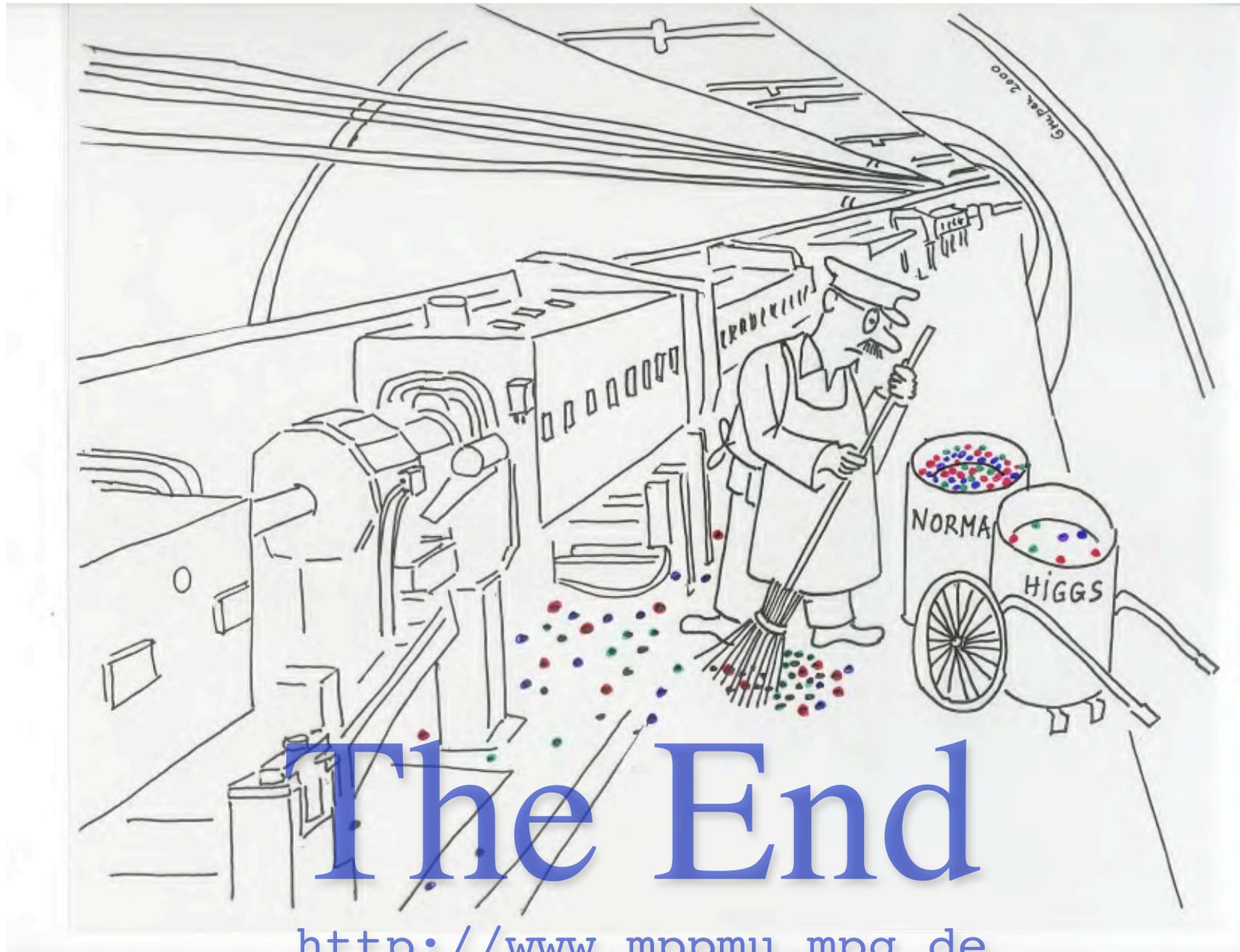
# mini Schwarze Löcher am LHC ?..

1. Nach unseren derzeit **gültigen Theorien** (QM & RT im 4-dimensionalen Raum-Zeit-Kontinuum) ist die Erzeugung von mini Schwarzen Löchern am LHC **absolut unmöglich** ! (man bräuchte eine Million Milliarden mal soviel Energie)
2. es gibt jedoch darüber hinausgehende, **spekulative Theorien**, die solche Objekte am LHC ermöglichen würden; dies setzt die Existenz „**höherer**“ **Raumdimensionen** voraus!
3. selbst wenn es genügend „höhere“ Raumdimensionen gäbe, wären diese „mini-black-holes“ **weder „black“ noch wären sie „holes“**:
  - a) sie wären extrem **heiss**, so dass sie nach Sekundenbruchteilen **zerstrahlen** würden
  - b) sie hätten so **geringe Massen**, dass sie - im Gegensatz zu kosmischen black holes - gravitativ keine andere Materie anziehen und „auffressen“ könnten
4. auch wenn man 3a) spekulativ negiert (es gibt aber keine Theorie dazu!), und man stabile black holes postuliert, benötigte ein solches sich langsam in der Erde bewegendes Objekt Jahrmilliarden, um durch Stöße genügend Materie aufzusammeln, bis es ein makroskopisches Objekt würde.
5. solche stabilen Objekte hätten kosmologische Konsequenzen, die man schon beobachtet hätte, wenn sie denn existierten.

**... wären sehr aufregend, aber ungefährlich !**

LHC Inbetriebnahme: Herbst 2008

Laufzeit: 15-20 Jahre



The End

<http://www.mppmu.mpg.de>

# WELT MASCHINE

DIE KLEINSTEN TEILCHEN UND GRÖSSTEN RÄTSEL  
DES UNIVERSUMS

AUSSTELLUNG IM U-BAHNHOF BUNDESTAG, BERLIN

15.10. – 16.11.2008 • MO – SO 10 – 19 UHR • DO 10 – 22 UHR • [WWW.DIEWELTMASCHINE.DE](http://WWW.DIEWELTMASCHINE.DE)



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



# Begleitprogramm zur Ausstellung

## **Die Suche nach dem Ursprung der Welt** (Themenabend)

22. Oktober 2008, 20 Uhr

Mit: Prof. Dr. M. von Brück, Professor für Religionswissenschaft, München, Dr. R. Landua, CERN, Genf und Dr. H.-J. Simm, Programmleiter edition unseld, Frankfurt a. M.

## **Berlin trifft CERN** (Vortragsabend)

28. Oktober 2008, 19 Uhr

Mit: Prof. Dr. G. Quast, Karlsruher Institut für Technologie, Dr. R. Schmidt, CERN, R. Lublow, Babcock-Noell GmbH, Dr. S. Zimmermann, Universität Freiburg und O. Ehrmann, Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration Berlin

Moderation: F. Grotelüschen, Wissenschaftsjournalist, Hamburg

