

# TEILCHENPHYSIK FÜR FORTGESCHRITTENE

Einschub: Das CMS-Experiment am LHC

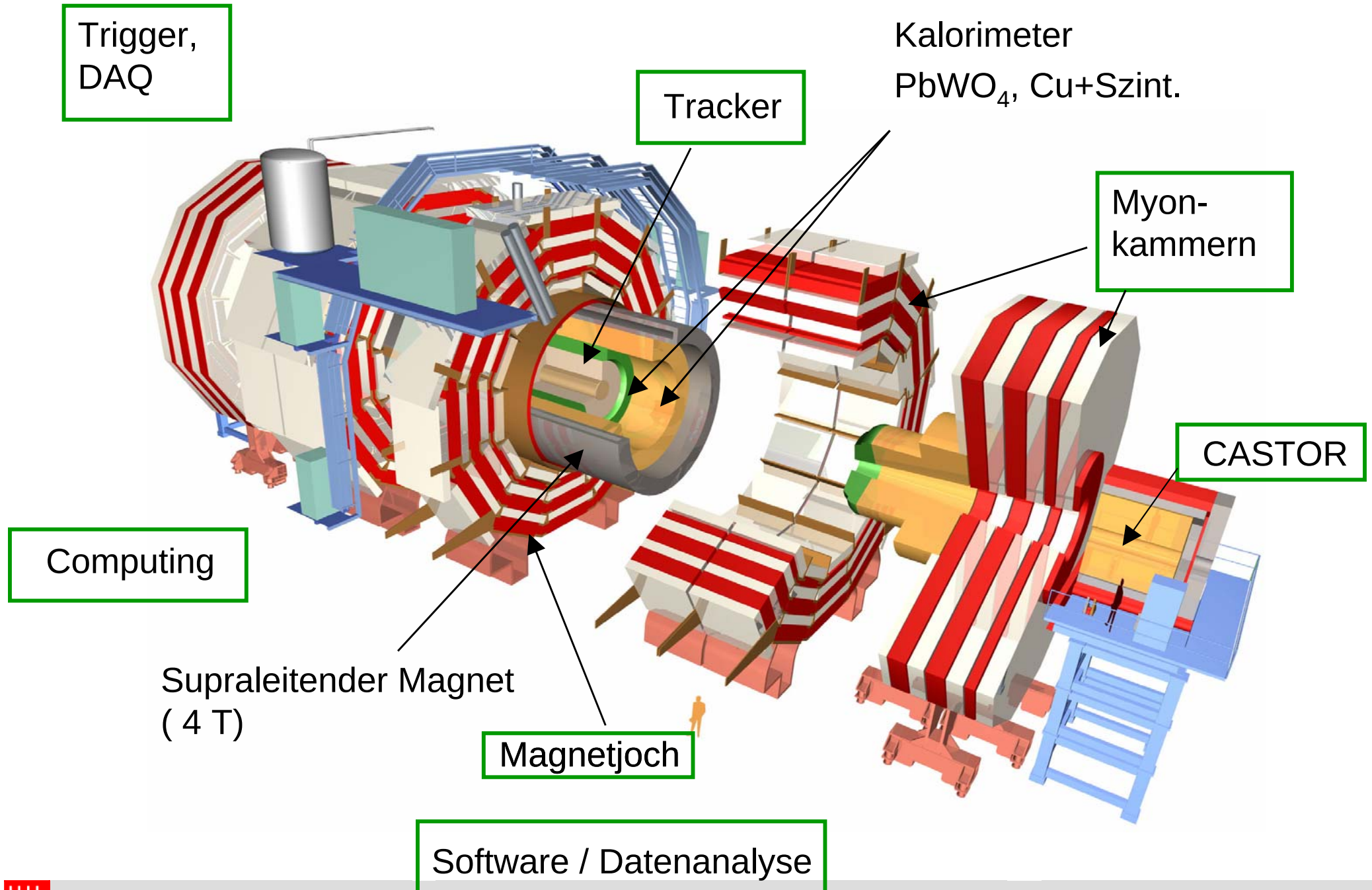
**Olaf Behnke**  
**Achim Geiser**

(in Anlehnung an Vortrag von T. Mueller)

Universität Hamburg, IExpPh  
Sommersemester 2010



# DER CMS-DETEKTOR

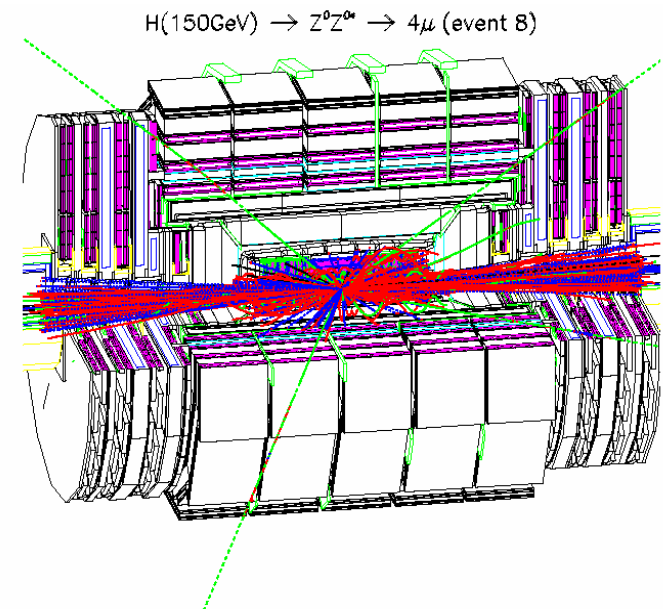
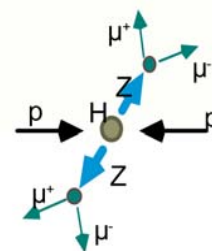
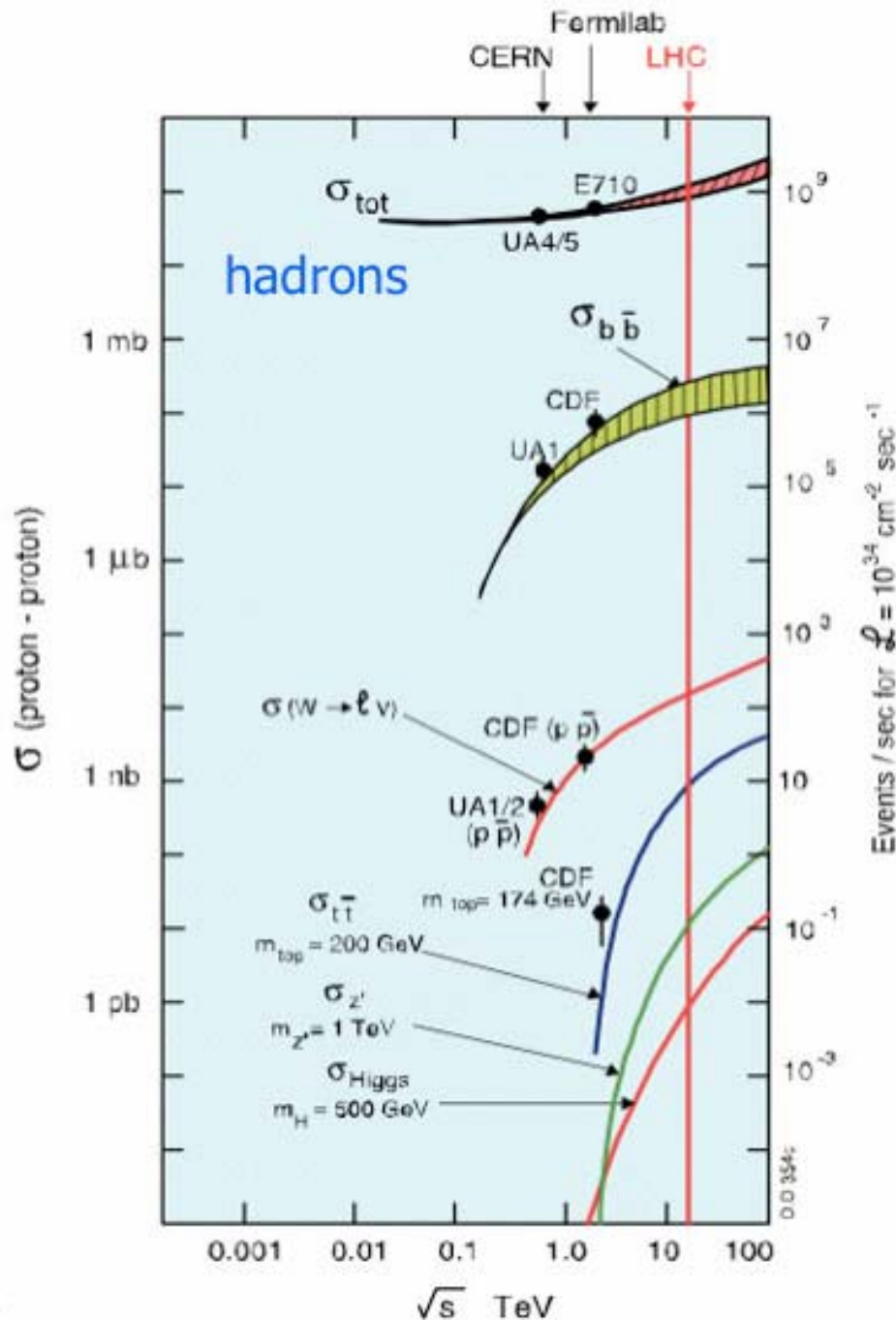


# DIE HERAUSFORDERUNG

- Ereignisraten bis zu 800 MHz
- Pro *Bunch*-Kreuzung > 1000 gel. Spuren
- Sehr hohe Strahlenbelastung
- Sehr kleine Wirkungsquerschnitte

Bs.:

Für Entdeckung des SM Higgs  
sind  **$10^{14}$**  Ereignisse nötig



# HISTORISCHES

- 1984 Workshop zu einem großen Hadron Collider im LEP-Tunnel, Lausanne
- 1987 Rubbias “Long-Range Planning Committee” empfiehlt als Antwort auf den SSC in Texas den Large Hadron Collider für den CERN
- 1988 Beginn mit konkreten Plänen für Detektoren
- 1990 Large Hadron Collider Workshop Aachen
- 1992 Konferenz zur LHC-Physik und den Detektoren, Evian les Bains
- 1993 *Letters of Intent* (ATLAS und CMS wurden ausgewählt)
- 1994 Annahme der Technischen Vorschläge
  
- 1998 Beginn der Konstruktion der Detektor- und Beschleunigerelemente
- 2004 Fertigstellung der CMS - Kaverne
- 2008 LHC / Detektoren betriebsbereit, erste Strahltests im Herbst
- 2009 Wiederaufnahme des Strahlbetriebs im Herbst. Erste Physik-Kollisionen
- Anfang 2010

# Erste Pläne für CMS

1987 Rubbia, Kienzle: „Iron Ball“

1988 Della Negra, Eggert: „CMS“

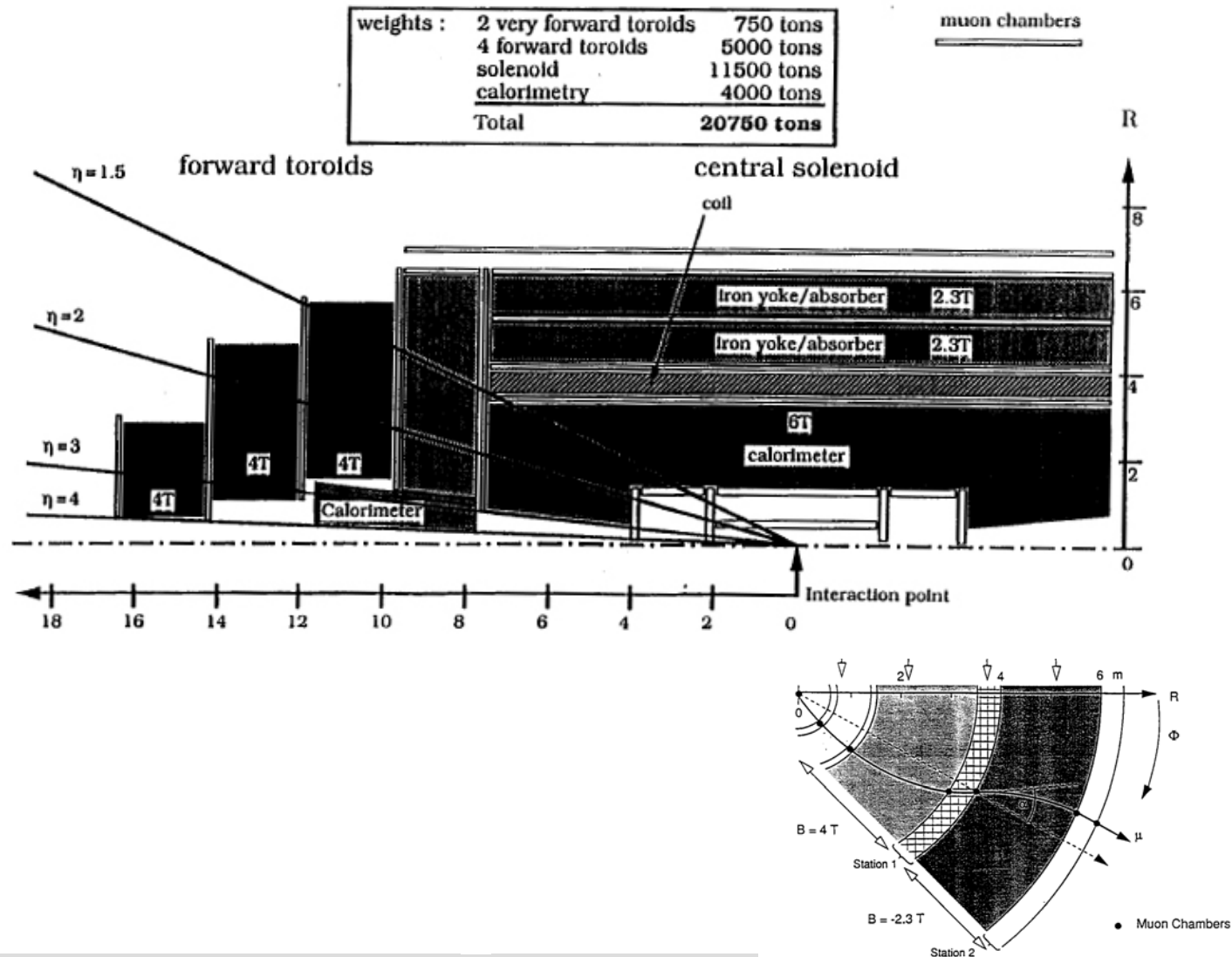
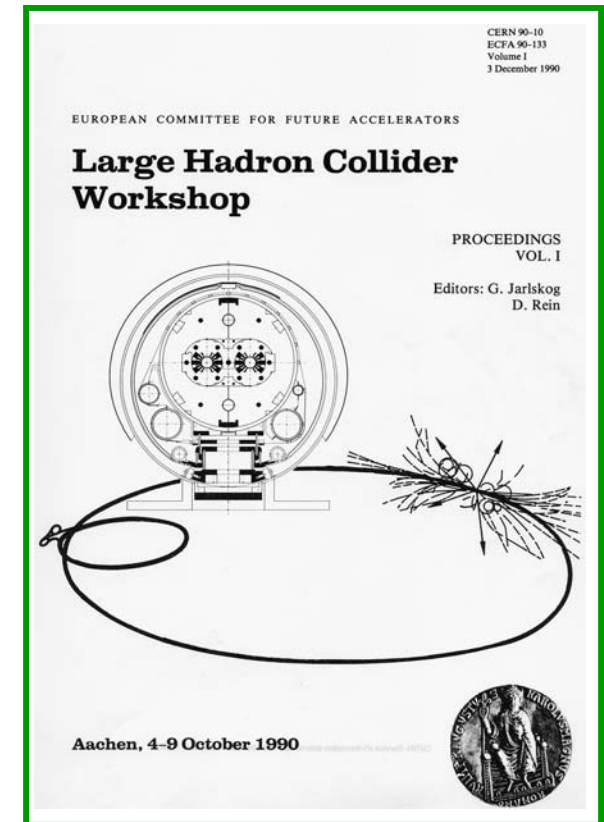
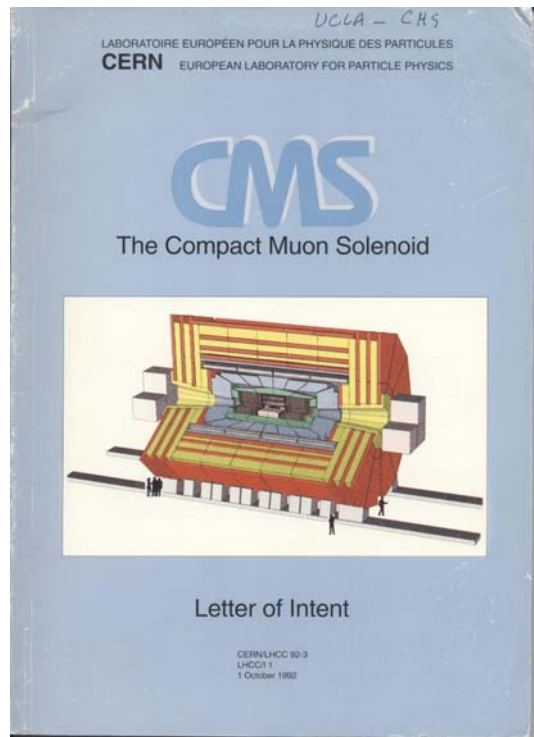


Fig. 7 Transversal view of the Compact Muon Solenoid detector.



# Deutsche Beteiligung am CMS



**1992:**

III. Phys. Inst. A, RWTH Aachen, Aachen, GERMANY

H. Faissner, Th. Moers, R. Priem, B. Razen, D. Rein, H. Reithler, R. Schleichert, H. Schwarthoff, H. Tuchscherer, H. Wagner

Institut für Kernphysik, Universität Kiel, Kiel, GERMANY

H. G. Börst, W. D. Dau, G. Siegmönn

Institut für Physik, Johannes Gutenberg Universität Mainz, Mainz, GERMANY

J-P. Merlo<sup>3</sup>

Institut für Informatik, Universität Mannheim, Mannheim, GERMANY

J. Glaess, F. Klefenz, R. Maenner, A. Wurz

II

**2008:**

**RWTH Aachen : Institut Ib, IIIa, IIIb**

**DESY**

**Universität Hamburg : Institut für Physik**

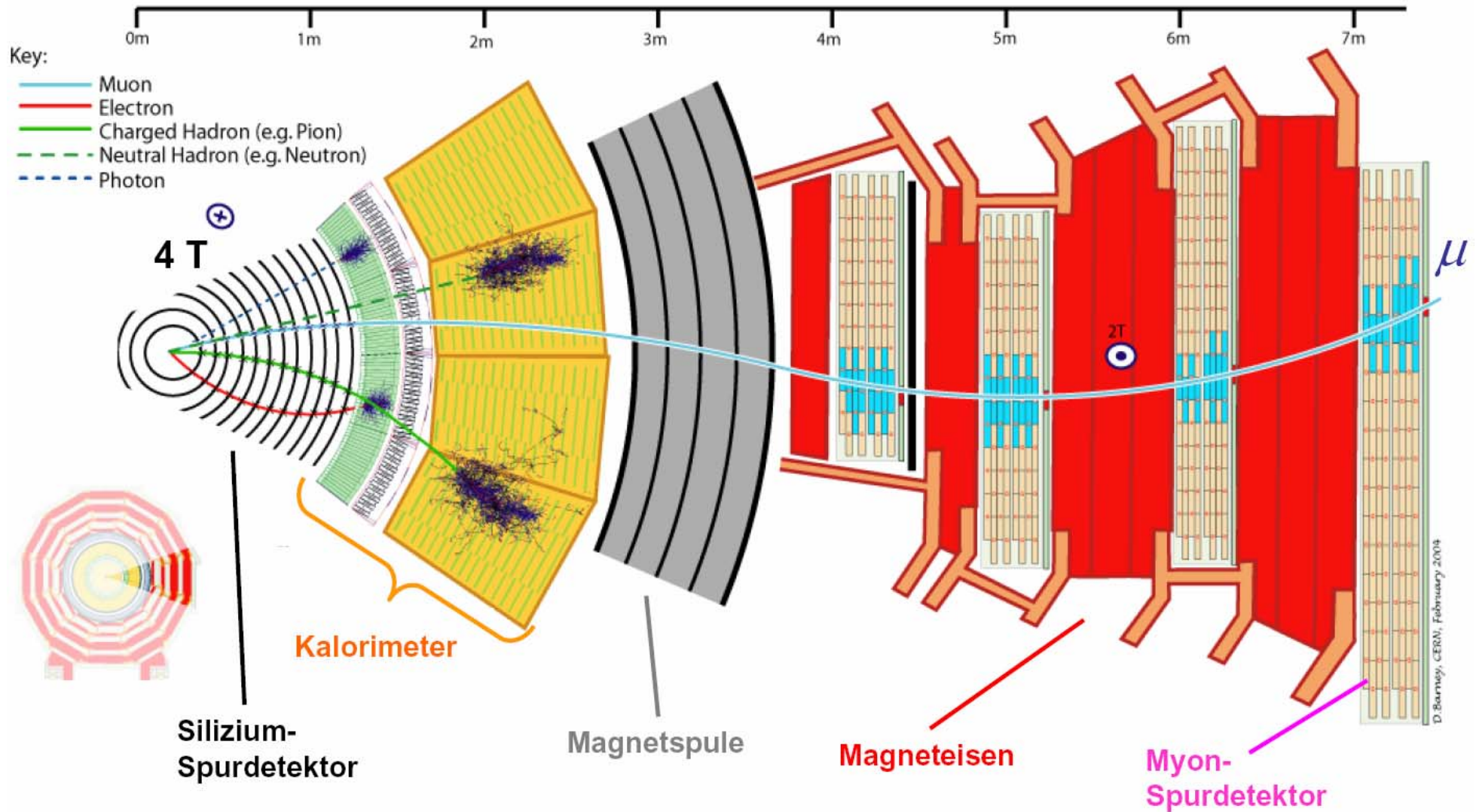
**Universität Karlsruhe (TH) : Inst. Für Exp. Kernphysik**

- Si-Tracker (TEC)
- Myonkammern (Barrel)
- Higher Level Trigger, DAQ
- CASTOR; BCM2

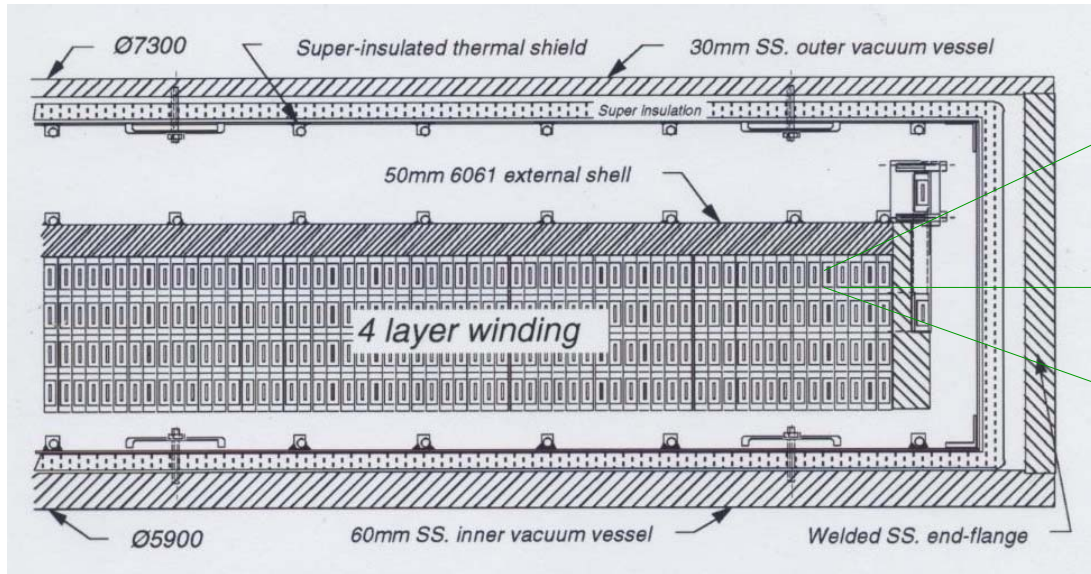
**DCMS – Mitglieder: 210**

**Davon promoviert: 70**

# KONSTRUKTION DER DETEKTORELEMENTE



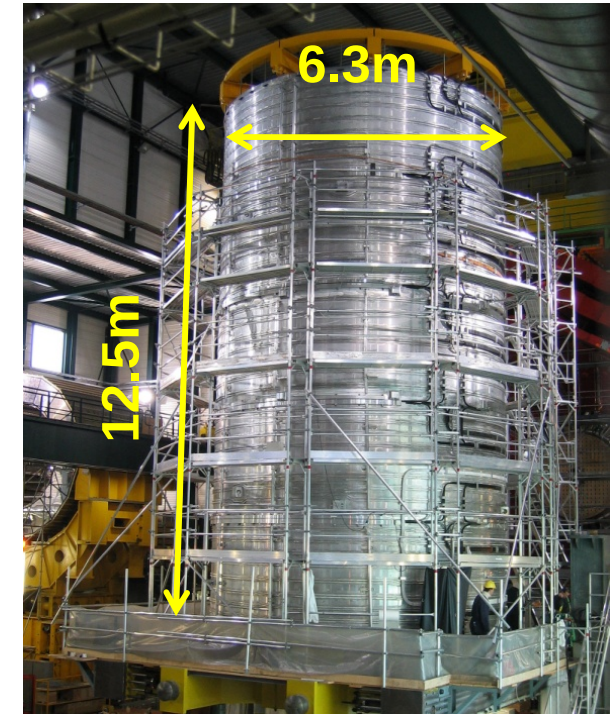
# 1. Der Supraleitende Magnet



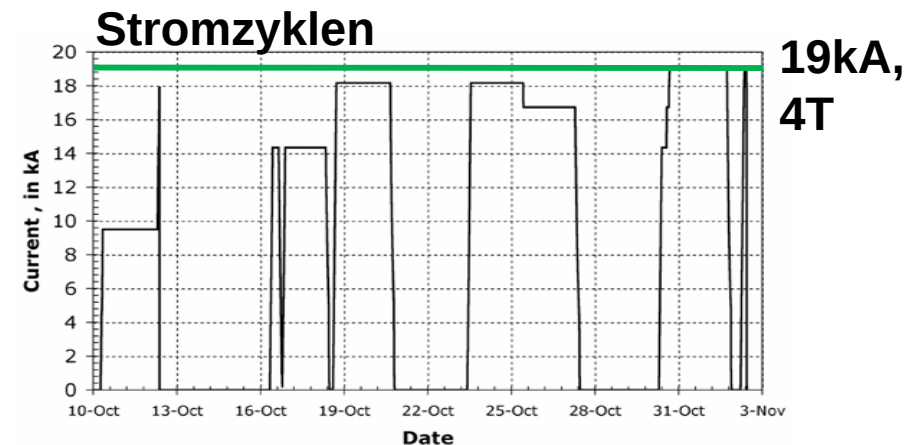
NbTi-Leiter  
32 Adern

Aluminium-  
legierung

Aluminium

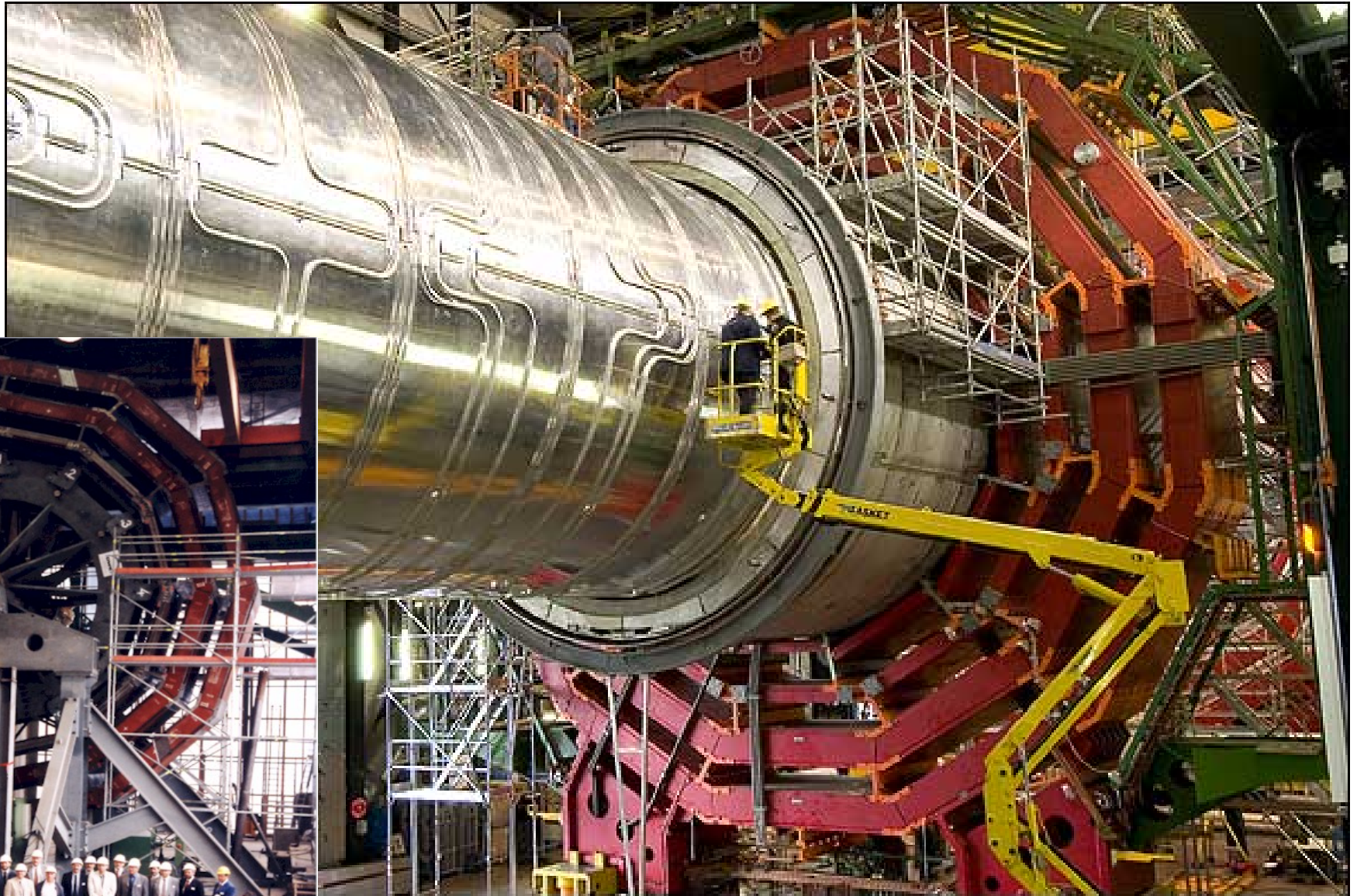


- 2112 Windungen in 4 Lagen
- Supraleitender Al-verstärkter NbTi-Leiter
- 19 kA Betriebsstrom
- 220 t Kaltmasse bei 4.5K (Helium)
- Feldenergie 2.5 GJ
- Rückflussjoch aus 10 000t Eisen
- Axiale Kraft auf Joch: 120 MN
- LHC-Operation bei 3.8 T
- Materialdicke 70 cm ( $1.1 \lambda$ )



# Bau des Magneten

Einschub der  
inneren  
Kryostatwand



Bau des Eisenjochs in der DWE-Werft

## 2. Der Spurdetektor

206 m<sup>2</sup> (Streifen) + 1 m<sup>2</sup> (Pixel)

25.000 Siliziumsensoren

10Mio Streifen

75.376 Auslesechips

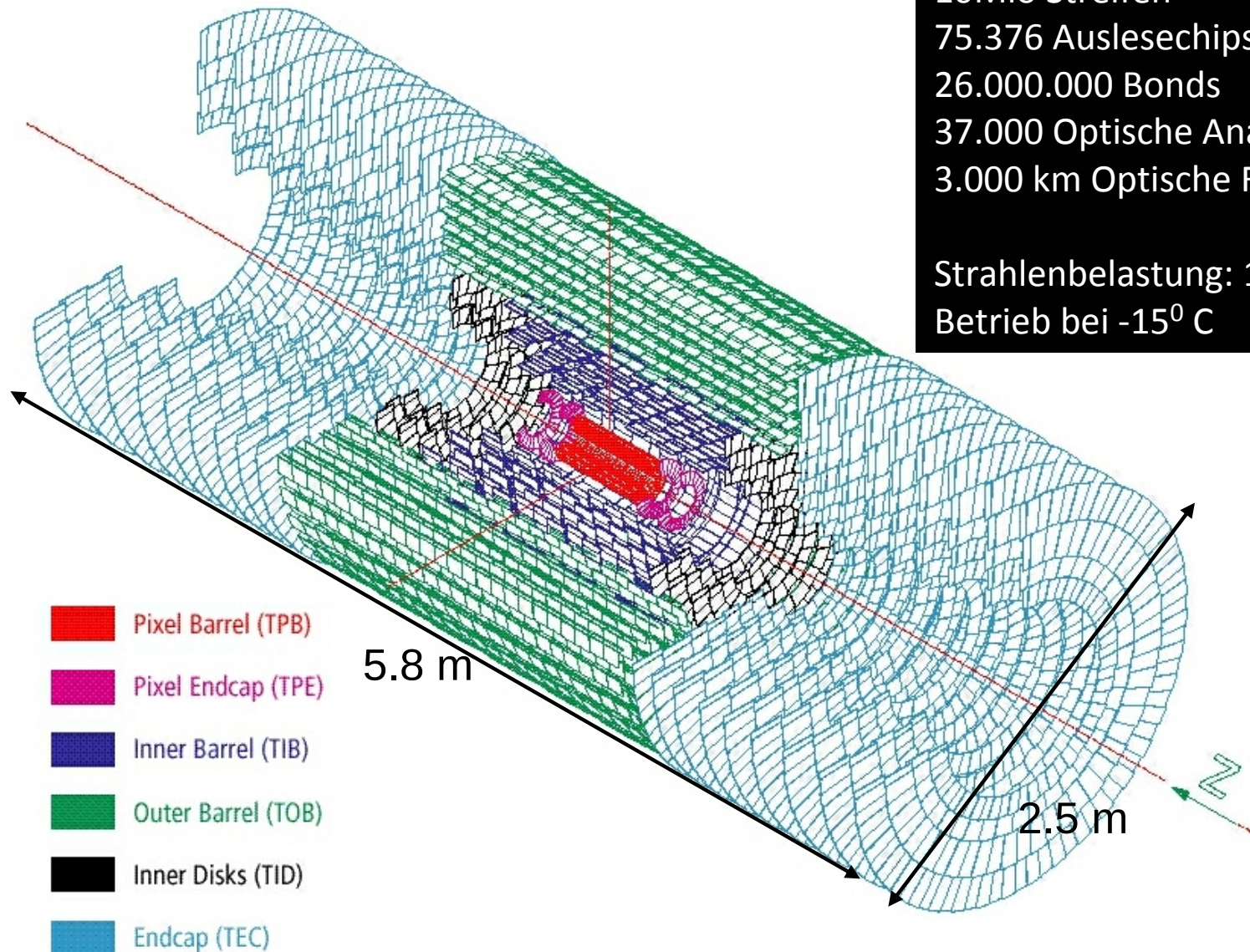
26.000.000 Bonds

37.000 Optische Analogverbindungen

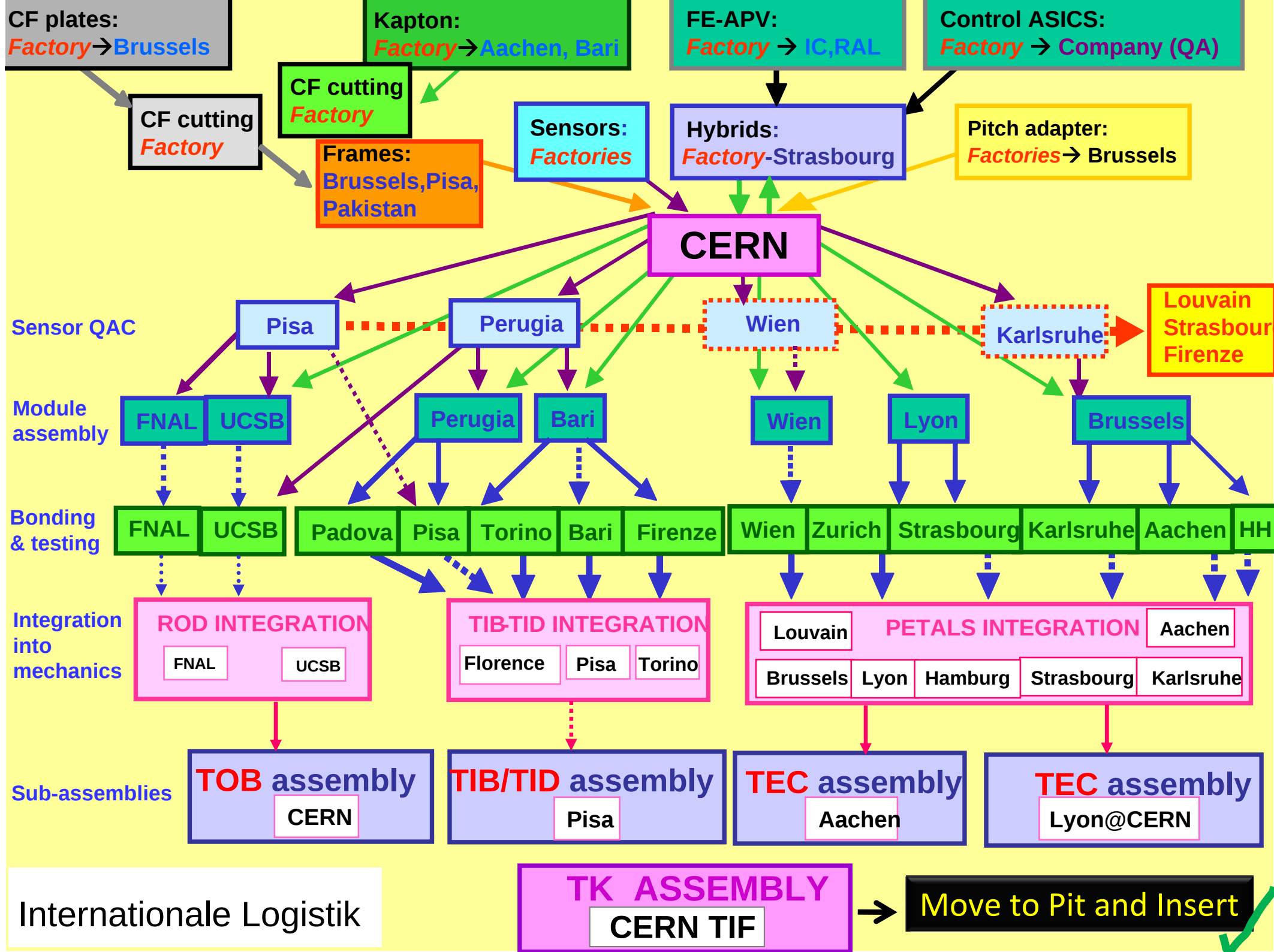
3.000 km Optische Fibern

Strahlenbelastung:  $10^{13} - 10^{15} n_{eq}/cm^2$

Betrieb bei -15<sup>0</sup> C



30-mal größer als der CDF-Si-Detektor



### 3. Das Elektromagnetische Kalorimeter

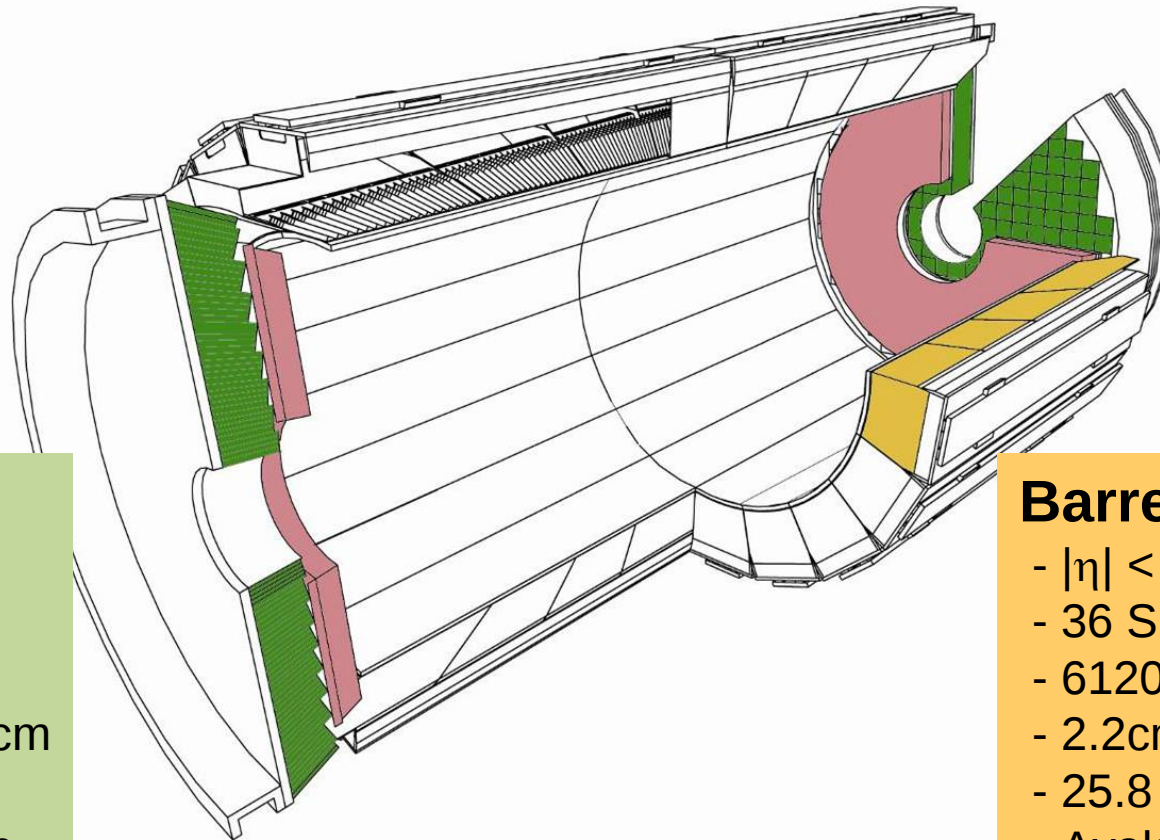
- Benchmark-Kanal:  $H \rightarrow \gamma\gamma$

- **Anforderungen:**

- Exzellente Energieauflösung
- Hohe Granularität
- Strahlenresistenz
- Schnelligkeit

#### Preshower zur $\pi^0$ -Unterdrückung

- $1.6 < |\eta| < 2.6$
- Bleiabsorber/Siliziumstreifendetektoren
- 2 Lagen  $\hat{=} 2 X_0$



#### Endkappen (EE)

- $1.479 < |\eta| < 3.0$
- 2 x 2 „Dees“
- 2 x 7324 Kristalle
- 2.9cm x 2.9cm x 22cm
- $24.7 X_0$
- Vakuumphototrioden

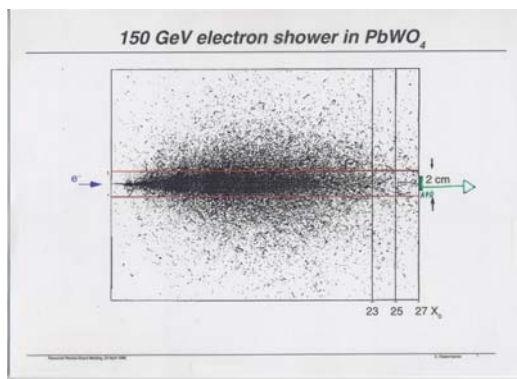
#### Barrel (EB)

- $|\eta| < 1.479$
- 36 Supermodule
- 61200 Kristalle
- 2.2cm x 2.2cm x 23cm
- $25.8 X_0$
- Avalanche Photodioden

## Bleiwolfamat-Kristalle:

- Hohe Dichte:  $8.28 \text{ g/cm}^3$
- Kurze Strahlungslänge:  $0.89 \text{ cm}$
- Kleiner Moliereradius:  $2.2 \text{ cm}$
- Schnell: 80% des Lichts wird in  $25 \text{ ns}$  emittiert
- Geringe Lichtausbeute:  $4.5 \text{ e}^- / \text{MeV}$  bei  $+18^\circ\text{C}$
- Lichtausbeute stark temperaturabhängig:  
–  $2.1\% / ^\circ\text{C}$  bei  $+18^\circ\text{C}$   
–> T-Stabilisierung auf  $0.05^\circ\text{C}$  nötig!

$$\left(\frac{\sigma}{E}\right)^2 = \left(\frac{2.8\%}{\sqrt{E (\text{GeV})}}\right)^2 + \left(\frac{0.12 \text{ GeV}}{E (\text{GeV})}\right)^2 + (0.3\%)^2$$



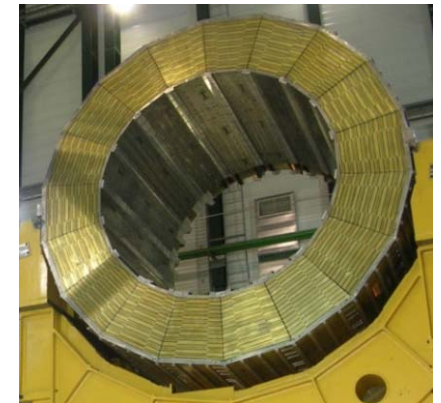
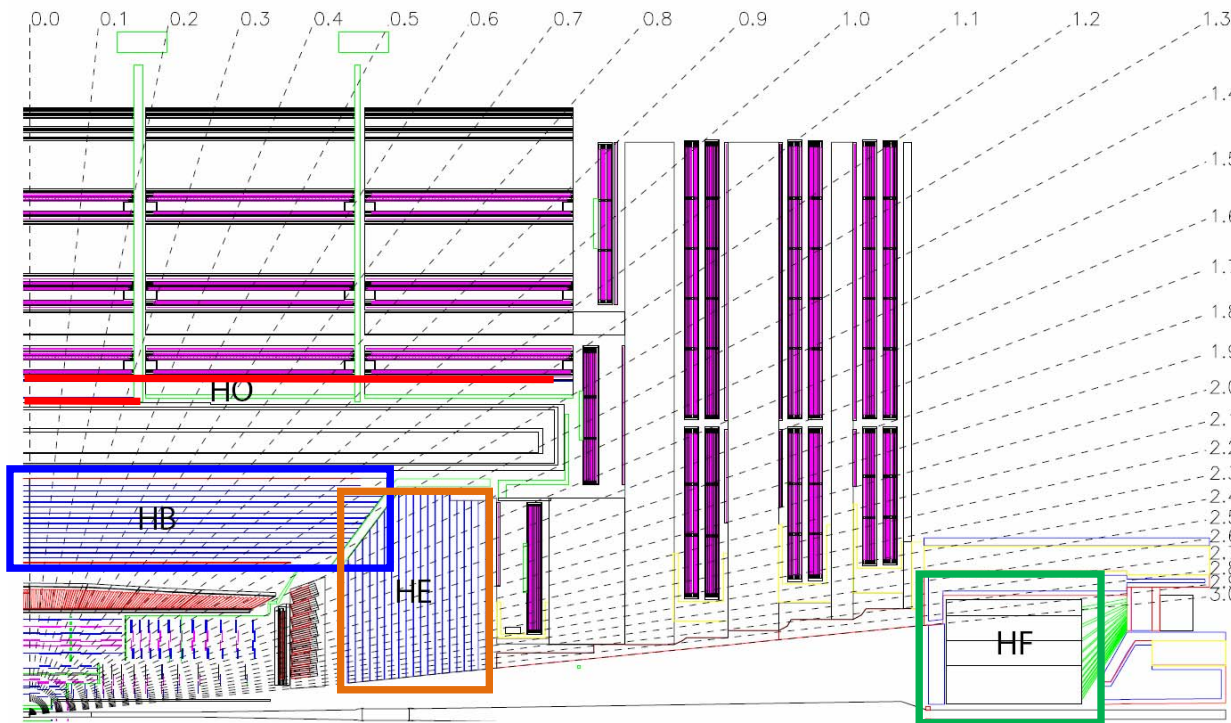


## 4. Das Hadron-Kalorimeter

- Hauptabsorber: **Messing** (70% Cu, 30% Zn) wegen Verfügbarkeit
- Detektor: 70 000 Kacheln aus **Plastikszintillator** (Strahlenhärte, Langzeitstabilität)
- Erwartete rohe **Energieauflösung** für Pionen (Teststrahl):  $\sigma/E = 120\%/\sqrt{E} + 6.9\%$

### Hadron Outer (HO) Calorimeter als „Tail Catcher“

- Spule und Joch als Absorber
- 1-2 Lagen Szintillator



### Hadron Barrel (HB)

- 16 Lagen Szintillator
- $5.8 \lambda / \sin\theta$

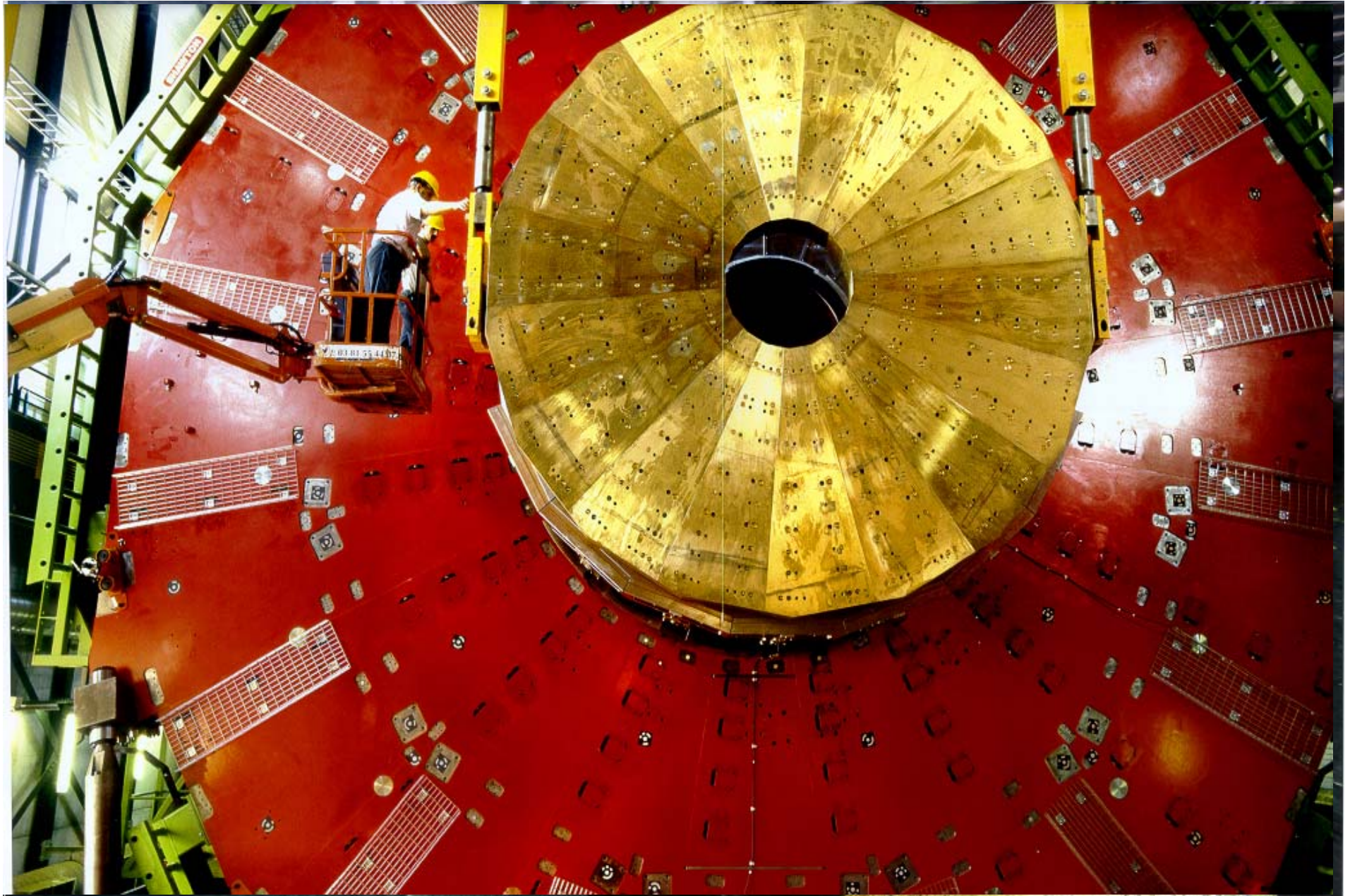
### Hadron Endkappe (HE)

- 19 Lagen Szintillator
- $10 \lambda$

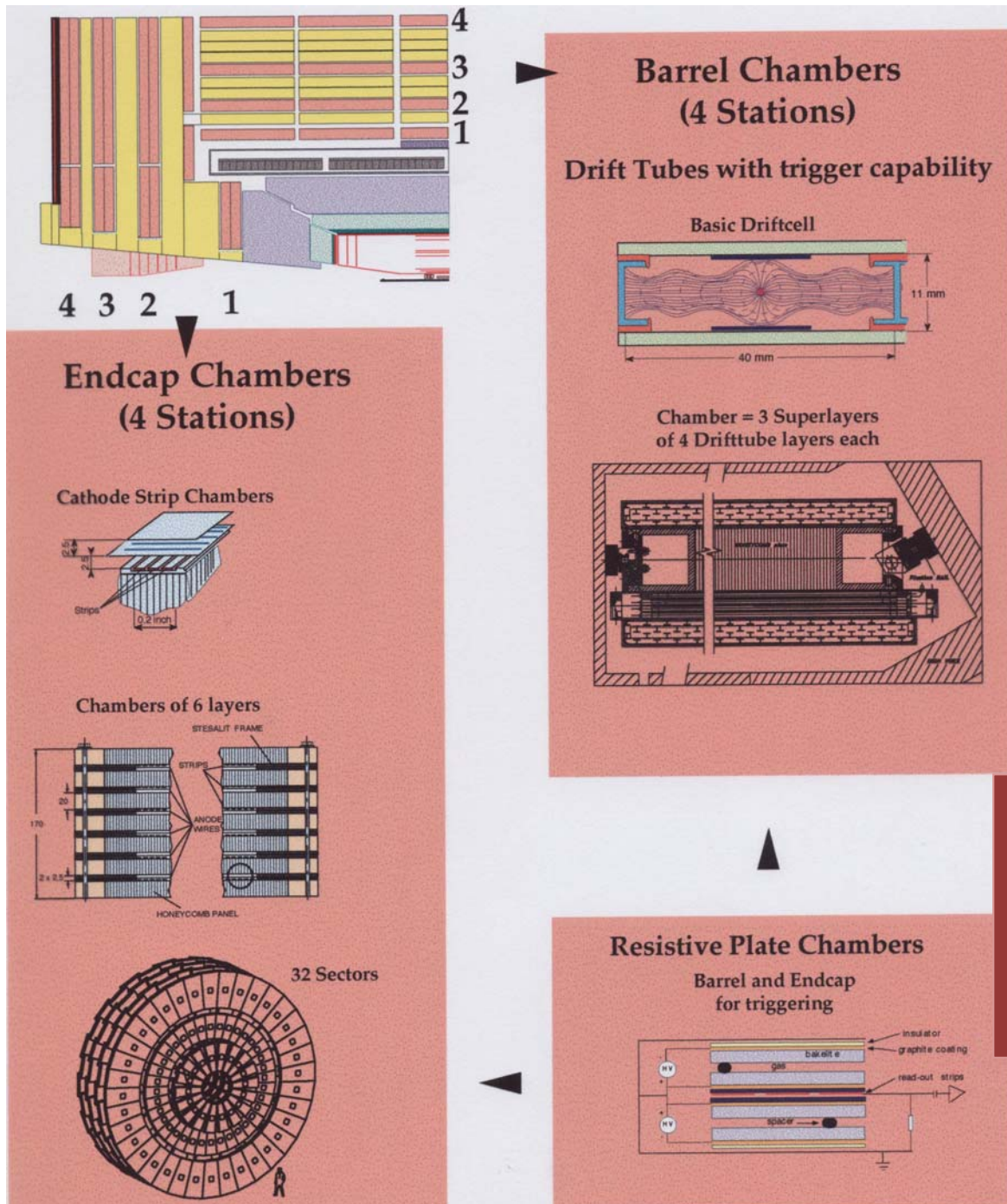
### Hadron Forward (HF)

- Dosis: 5 MGy bei  $|\eta| = 5$
- Stahlabsorber
- Quartzfibern

## Messing-Endkappe: „Schwerter zu Pflugscharen“



# 5. Das Myonsystem



## Barrel ( $|\eta| < 1.2$ ) :

- Niedrige Myon- & Untergrundrate
- B-Feld klein und im Joch verlaufend

### Driftröhren

4 Lagen, 250 Kammern, 18000 m<sup>2</sup>

Gas: 85% CO<sub>2</sub>, 15% Argon

Driftzeit: 380 ns

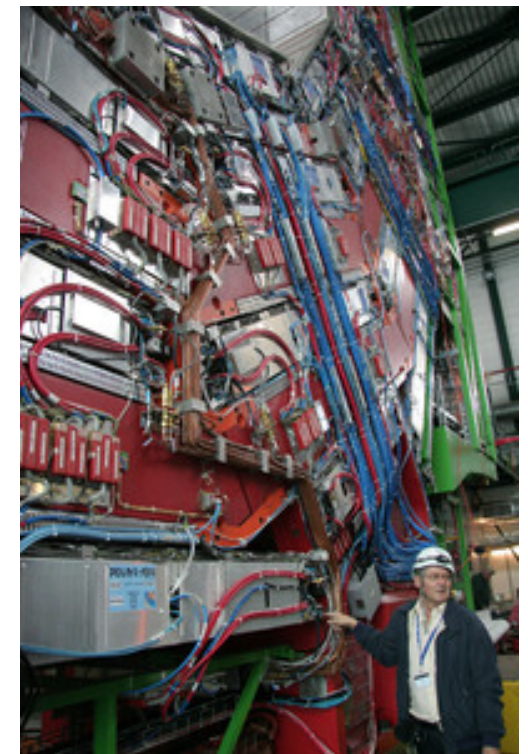
## Endkappe ( $0.9 < |\eta| < 2.4$ ) :

- Hohe Myon- & Untergrundrate:  $\leq 1\text{kHz/cm}^2$
- B-Feld groß und nicht uniform

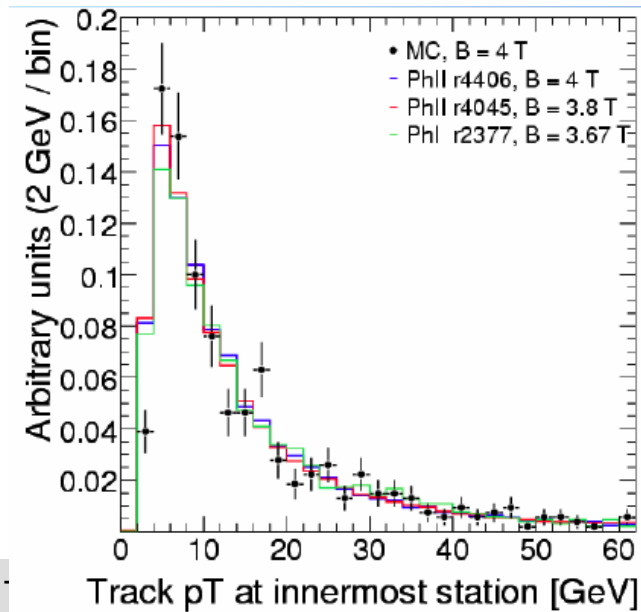
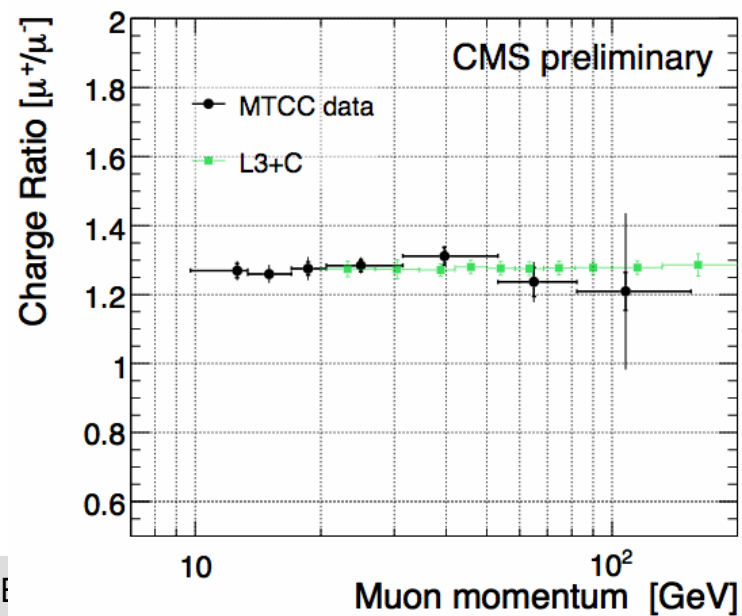
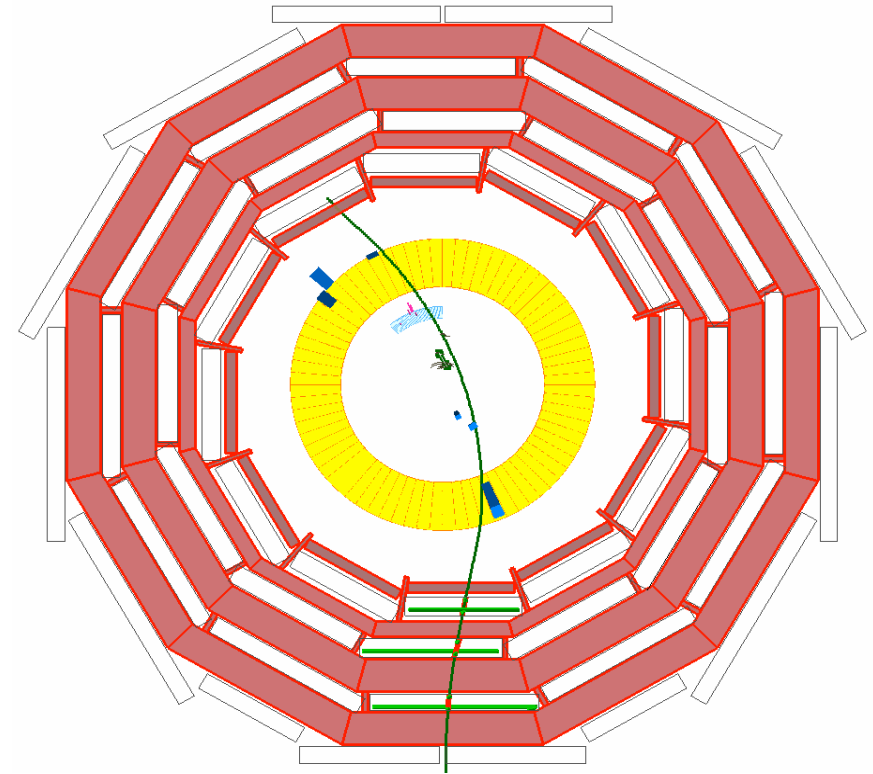
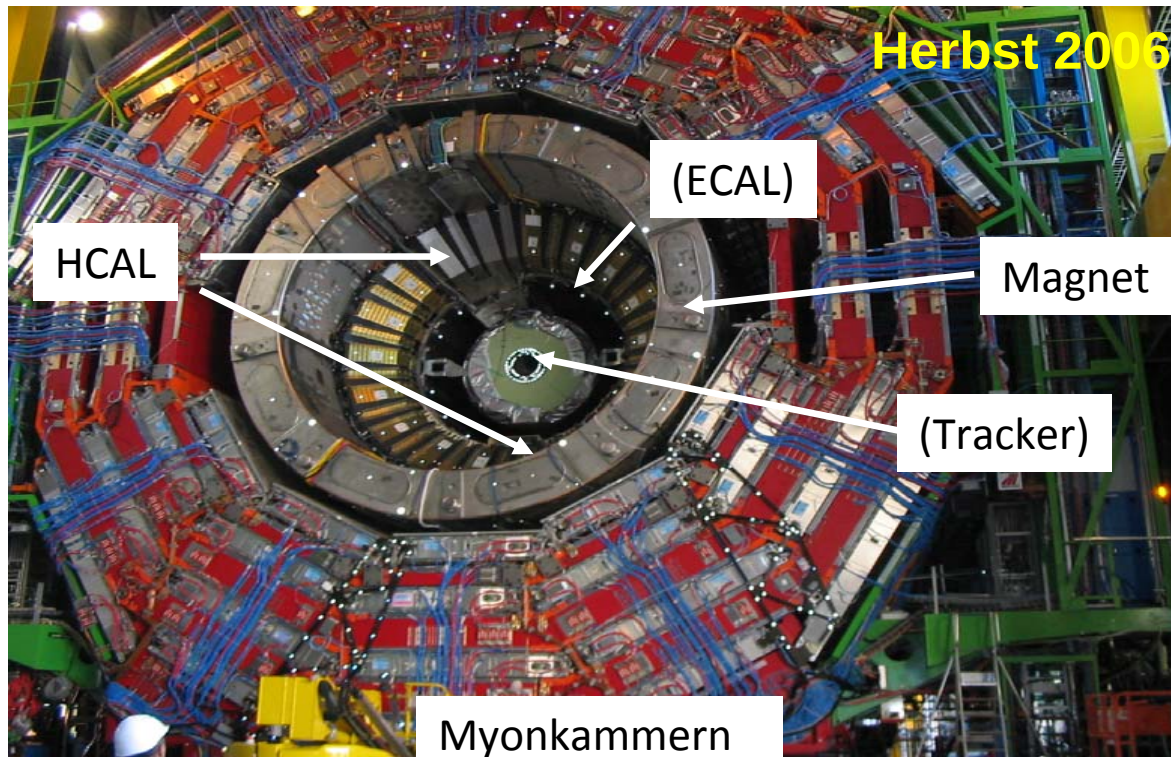
### Kathodenstreifenkammern

3 - 4 Lagen, 468 Kammern, 5000m<sup>2</sup>

# Produktion in Aachen

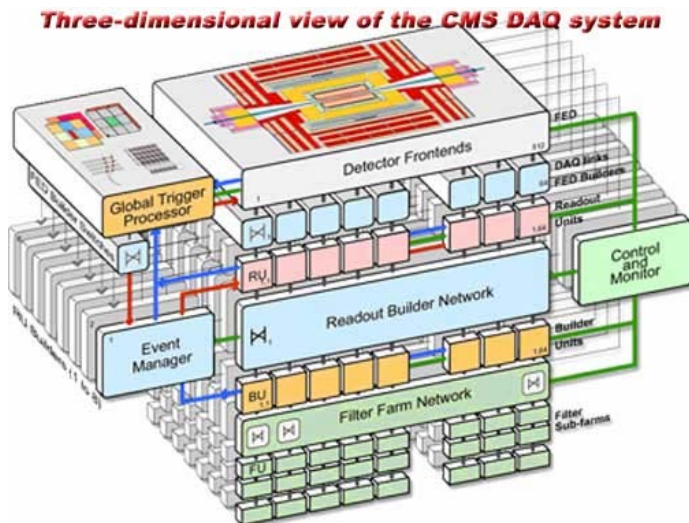


# Erste Höhenstrahltests

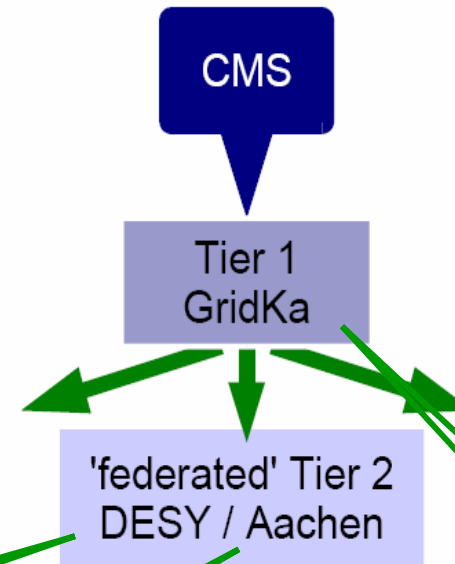


## 6. Trigger/DAQ und Computing

### Trigger und DAQ

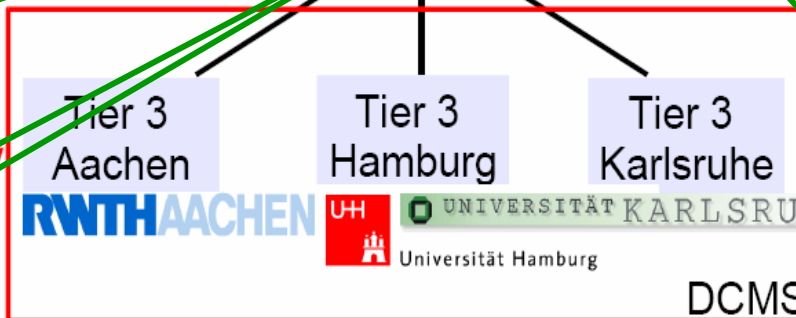


LHC-Grid  
LCG



CMS  
350 cores  
127 TB disk

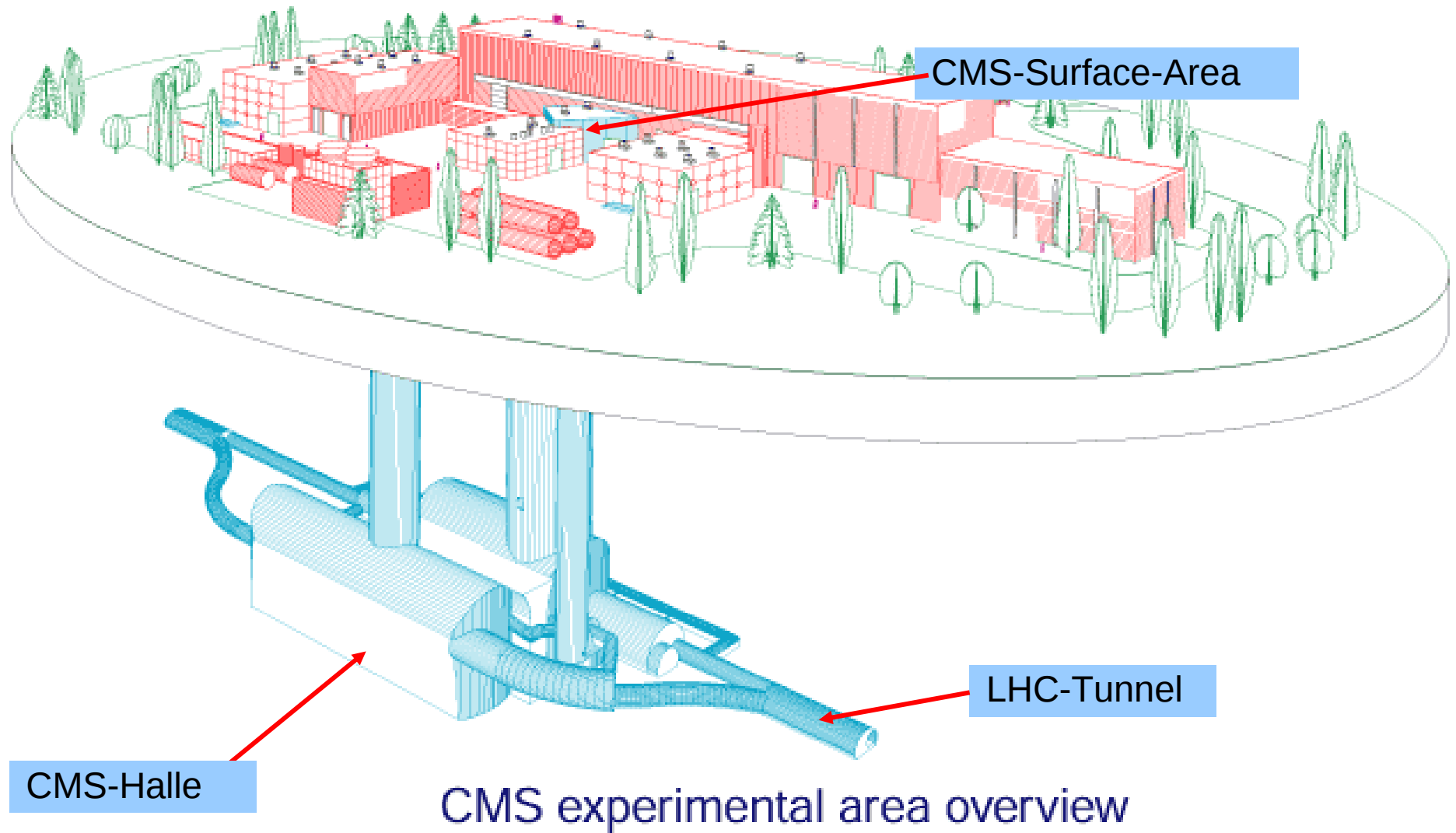
CMS  
360 cores  
100 TB disk



CMS  
1000 cores  
650 TB disk

# Die CMS-Experimentierzone

... auf dem Papier:



# CMS – Zone in Cessy

...im Bau:

Jan 1999



2002



# Die CMS-Kaverne

2003



2004

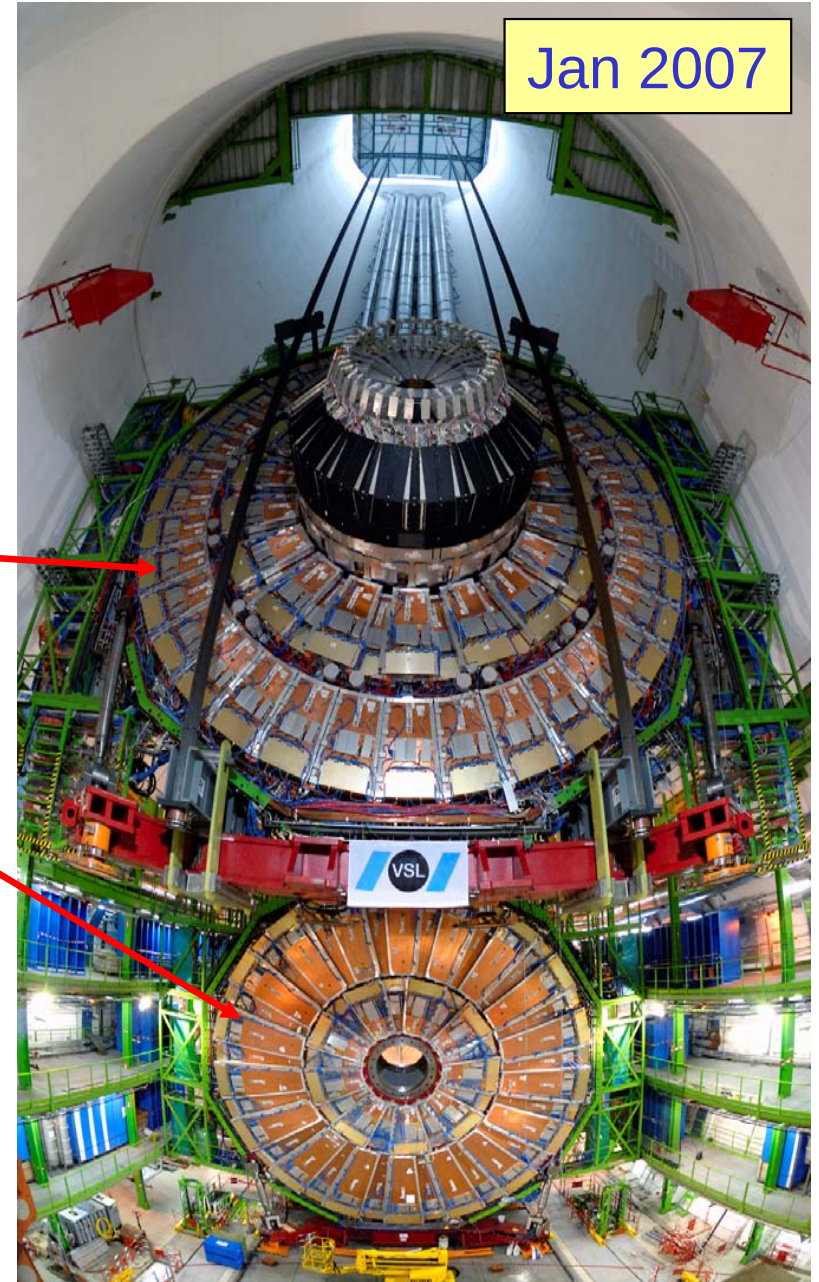
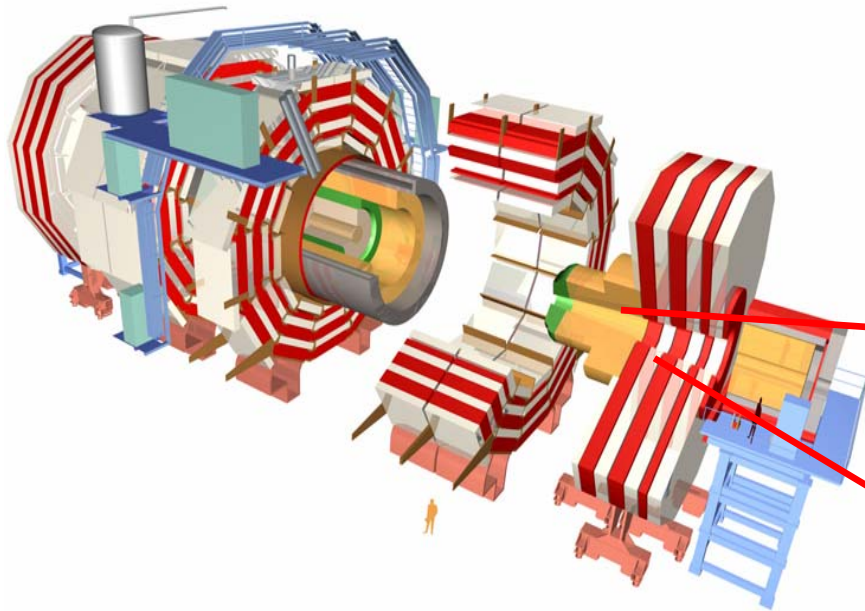


# Feuerlöscher-Test in der Kaverne

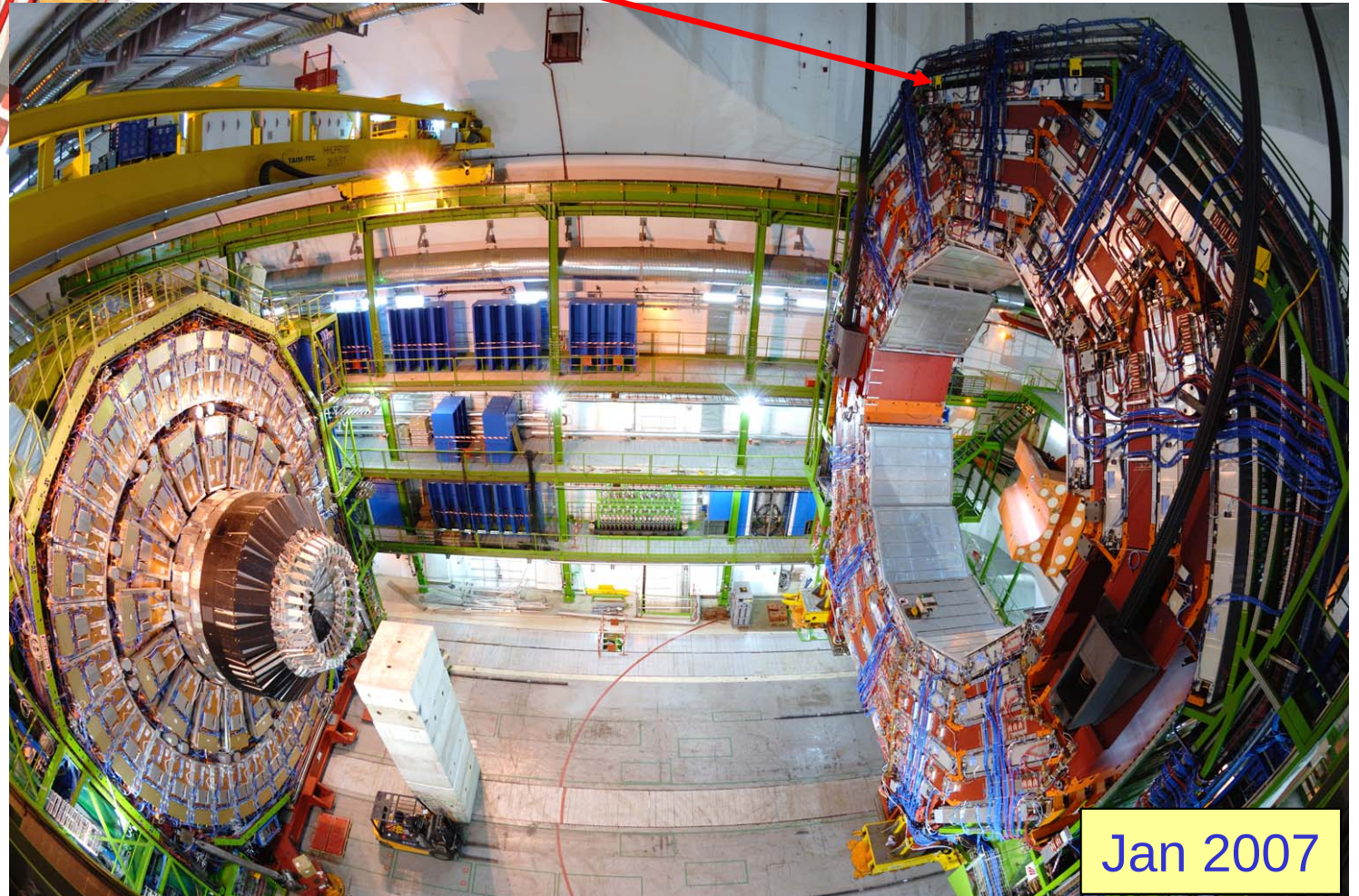
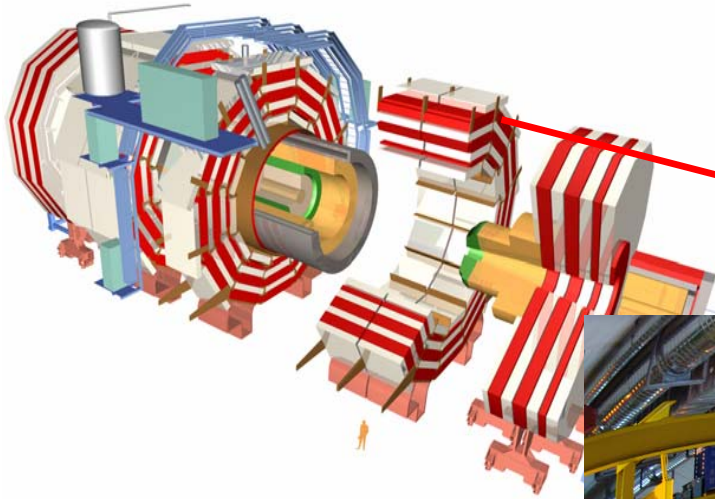


# Beginn der Endmontage

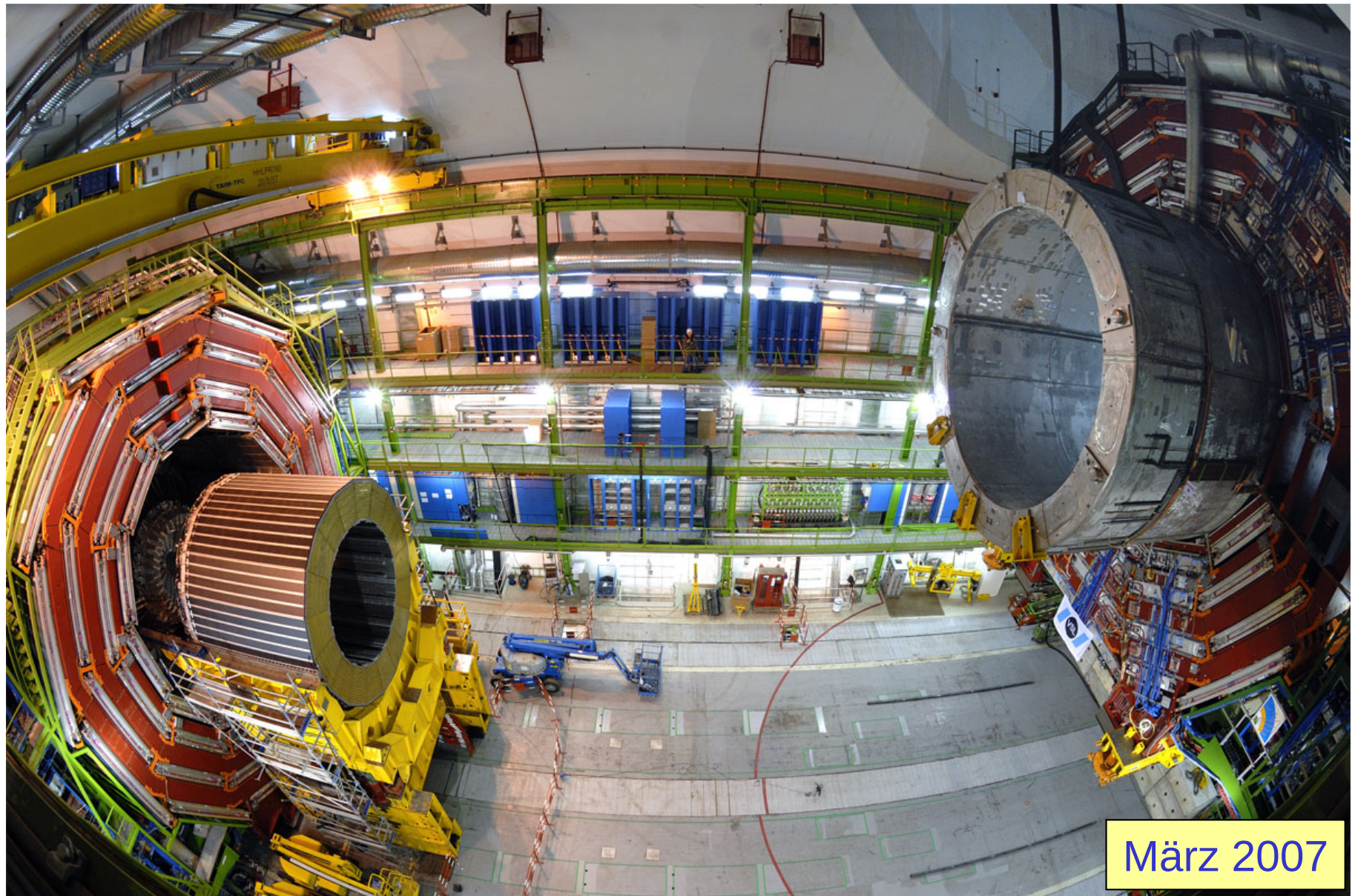
Absenken einer Endkappe



# Absenken eines Barrel-Rings

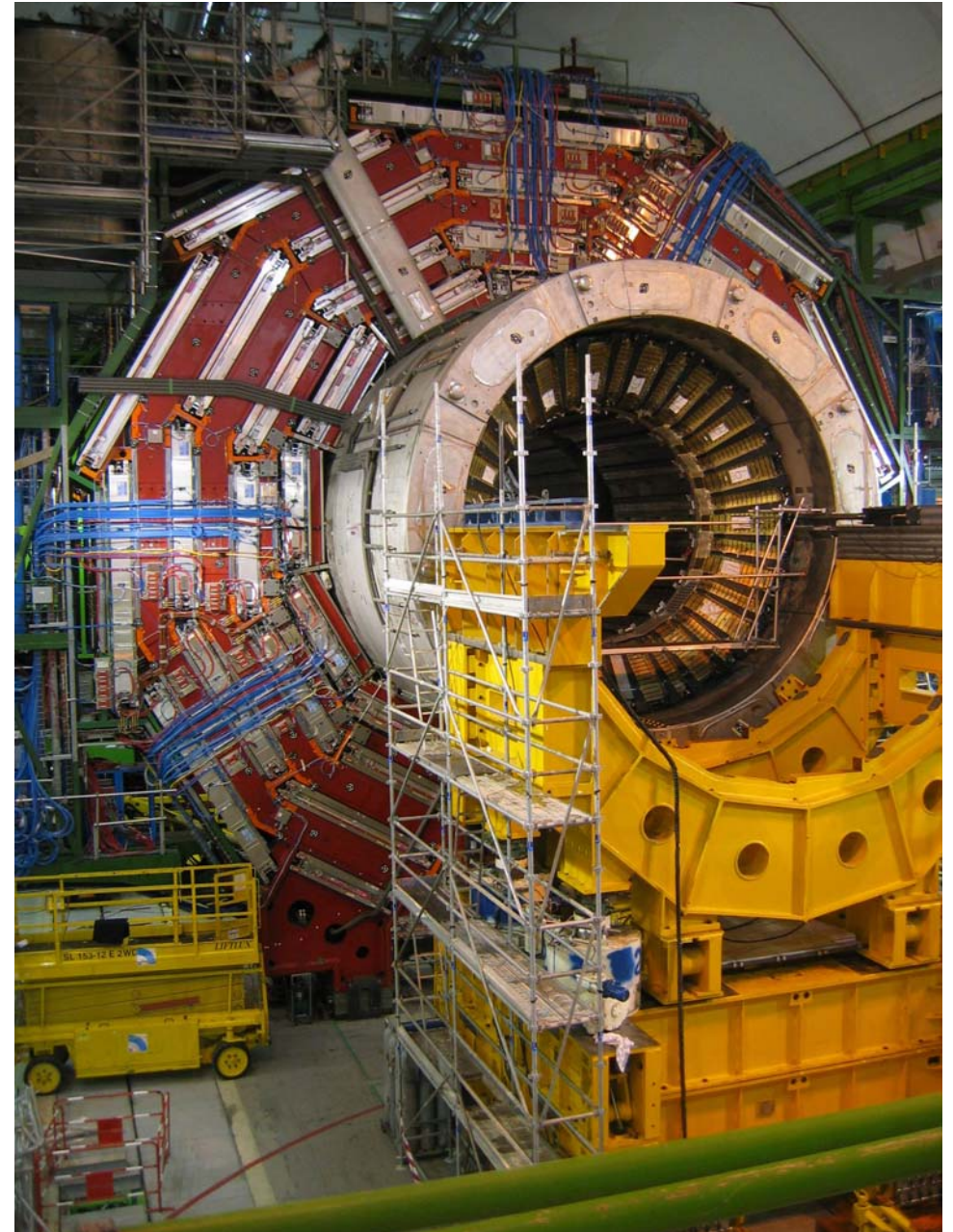
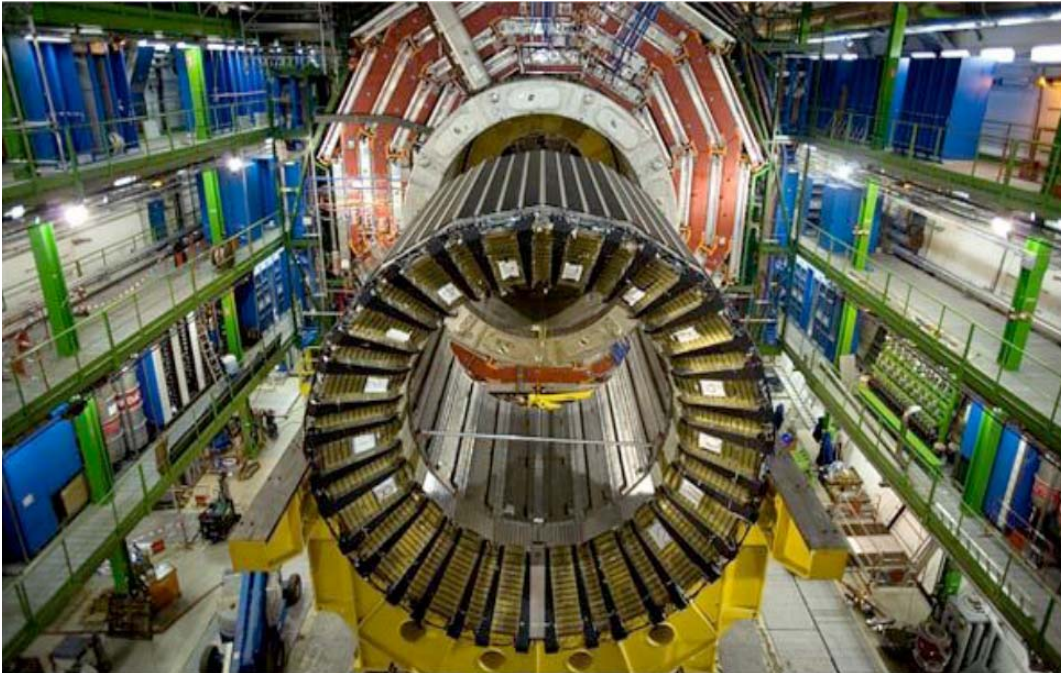


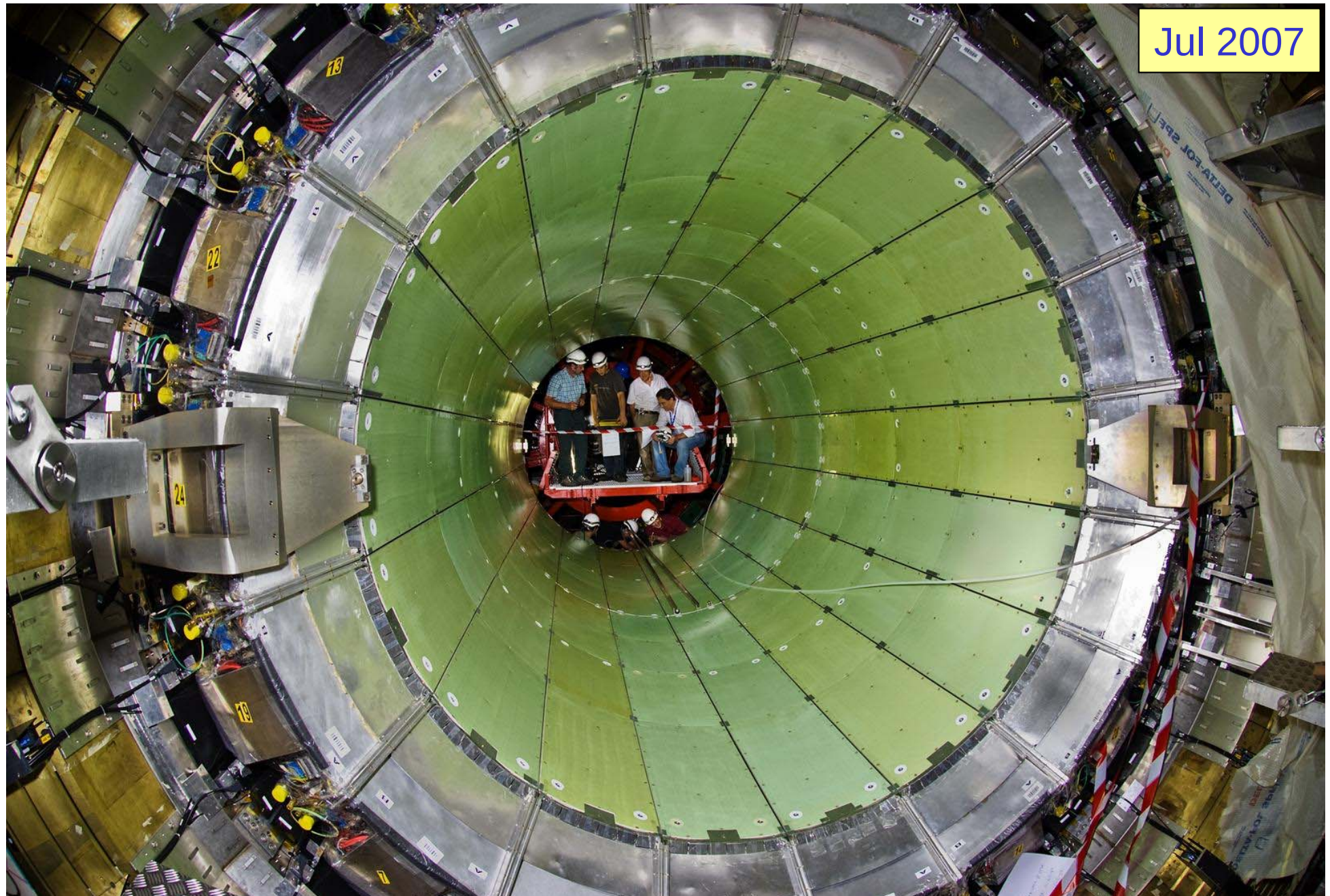
# Absenken des 1500t schweren Zentralteils



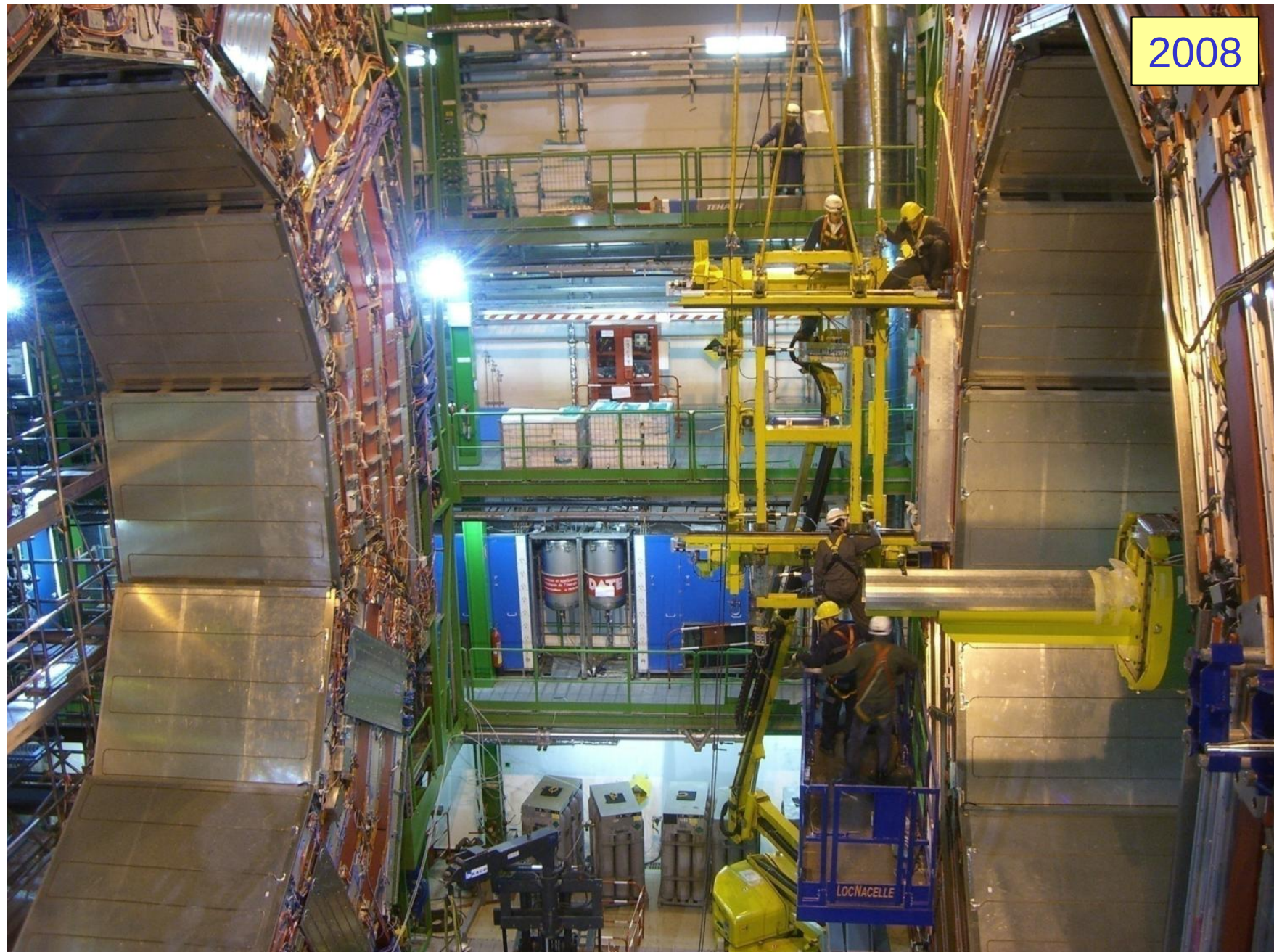
# Einführung des Hadronkalorimeters

Ap. 2007

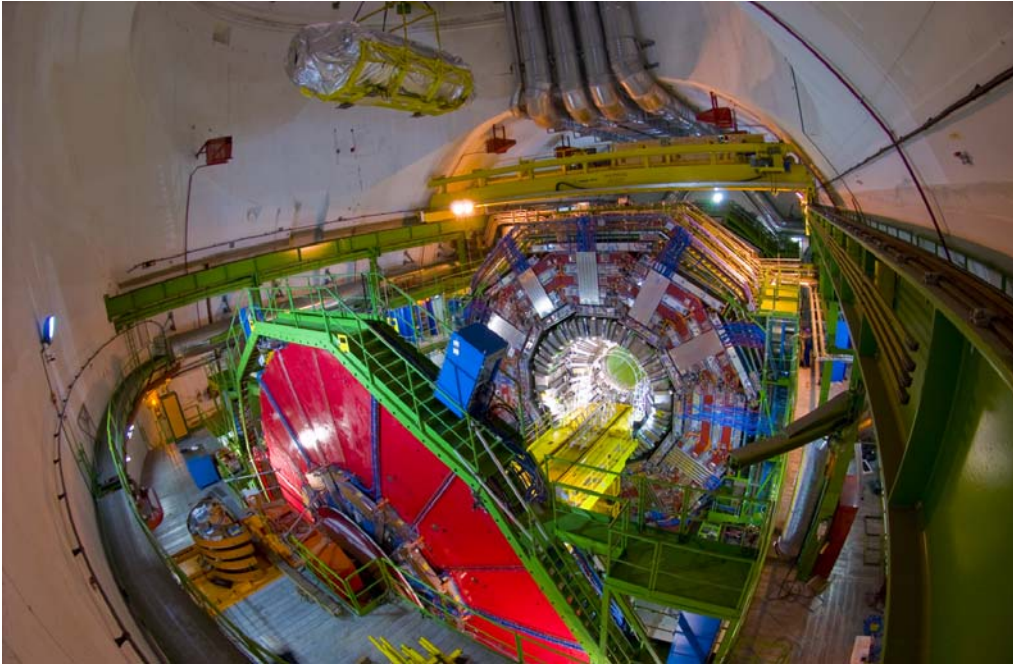




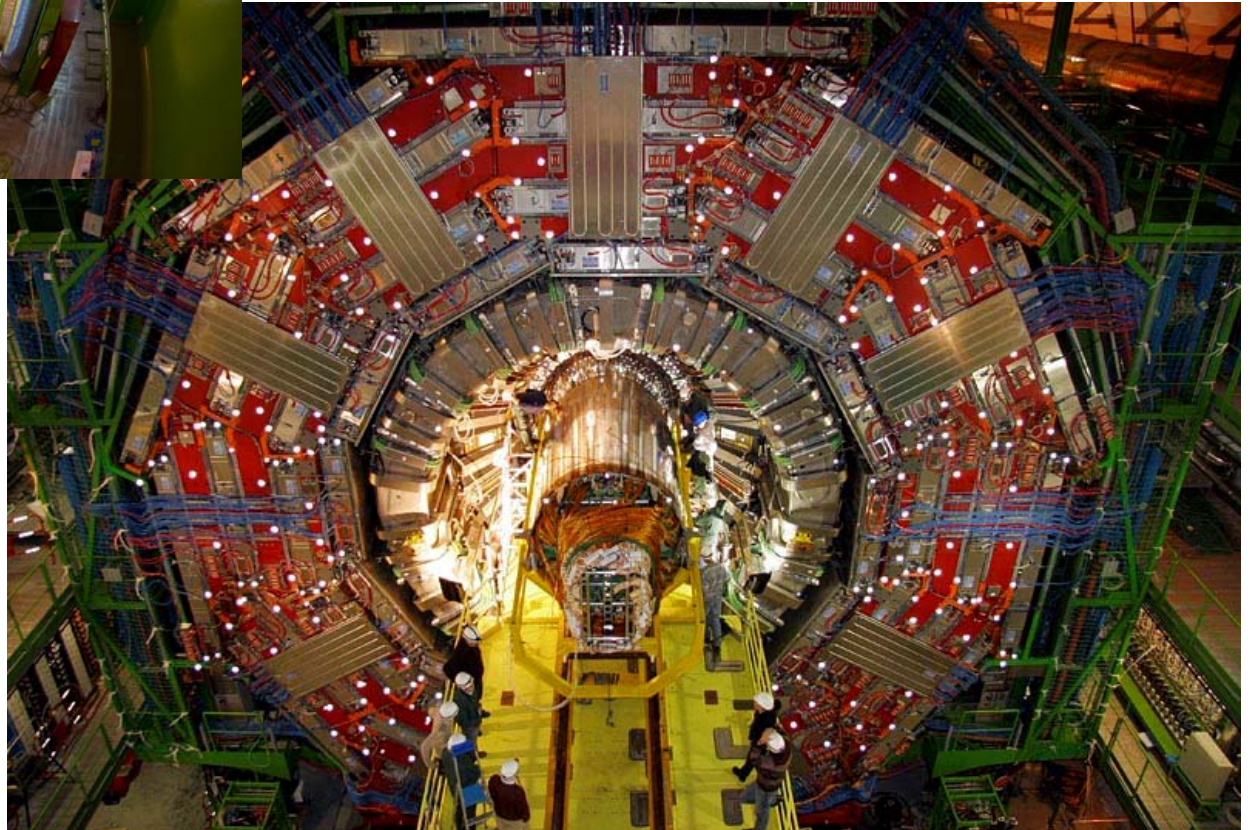
# Letzte Arbeiten am Myonsystem



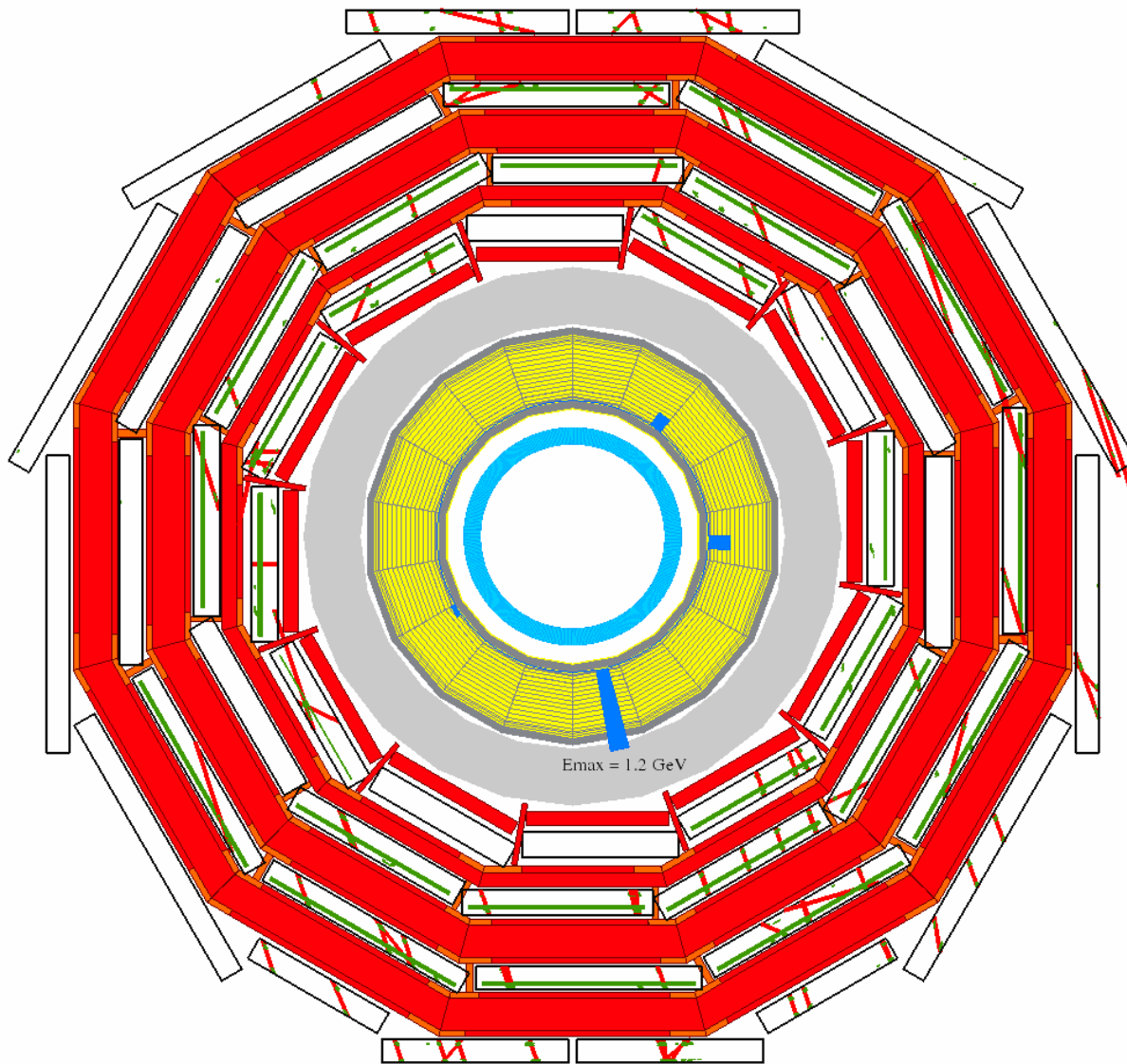
# Einbau des Spurdetektors in CMS



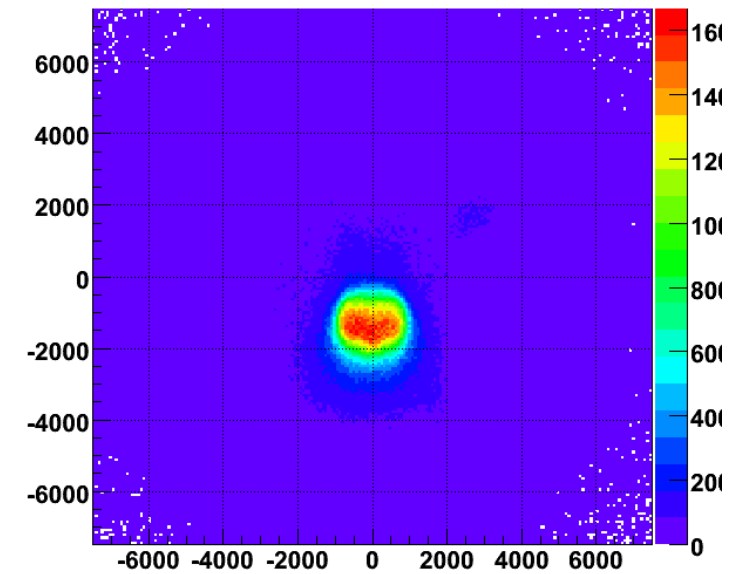
Dez. 2007



# Myonen in der Kaverne

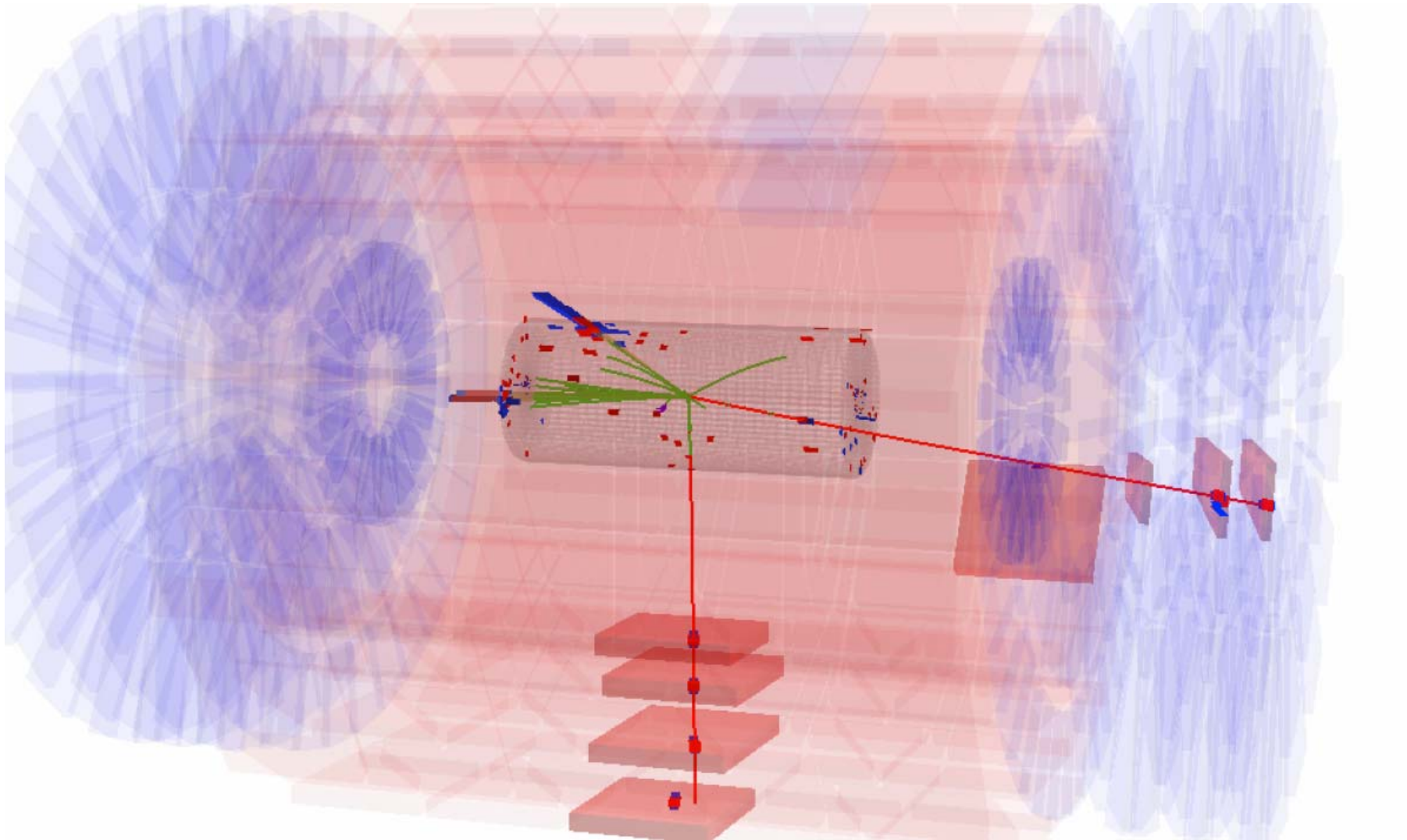


Myonspuren extrapoliert zum  
Herkunftsort an der Erdoberfläche

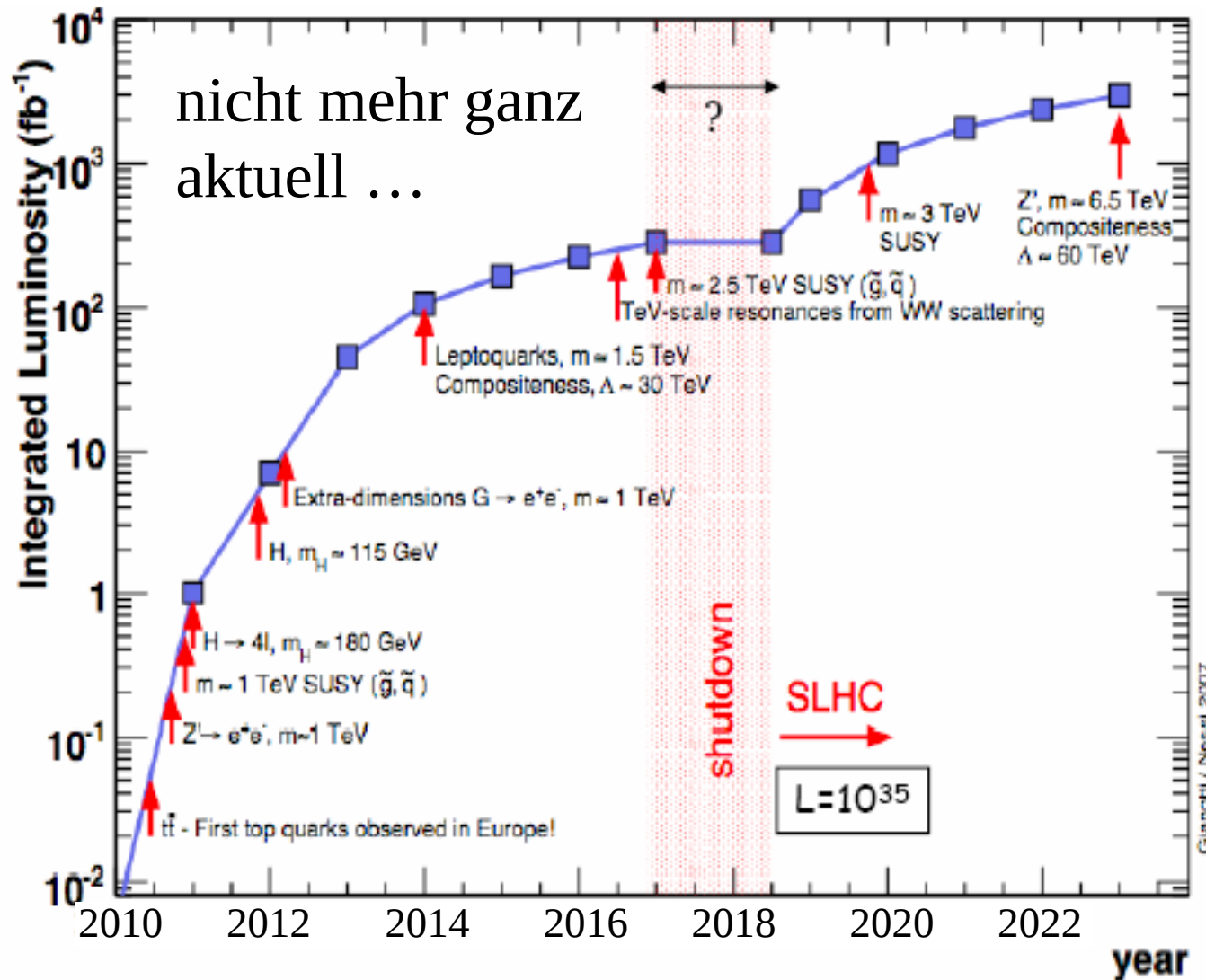


Tomographie des Erdreichs !

# April 2010: der erste CMS $Z \rightarrow \mu\mu$ - Kandidat

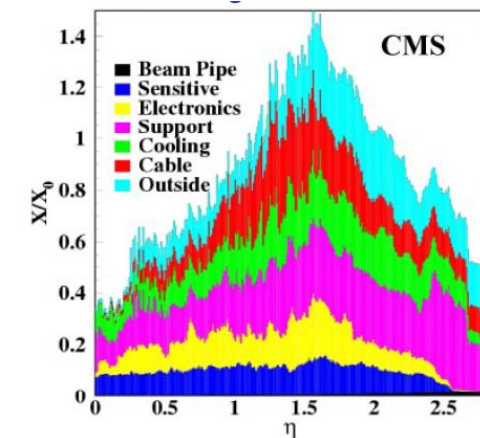


# PLANUNG FÜR DIE ZUKUNFT



## Begonnene Aktivitäten / Planung der deutschen CMS-Gruppen:

- Sensoren
- Kühlung
- Stromversorgung für neuen Tracker (ACIb, HH, KA)



- schnelle Detektoren für Myon-Trigger (AC III)

**Wir freuen uns auf Jahrzehnte spannender Forschung!**