

TEILCHENPHYSIK FÜR FORTGESCHRITTENE

Einschub: Das CMS-Experiment am LHC

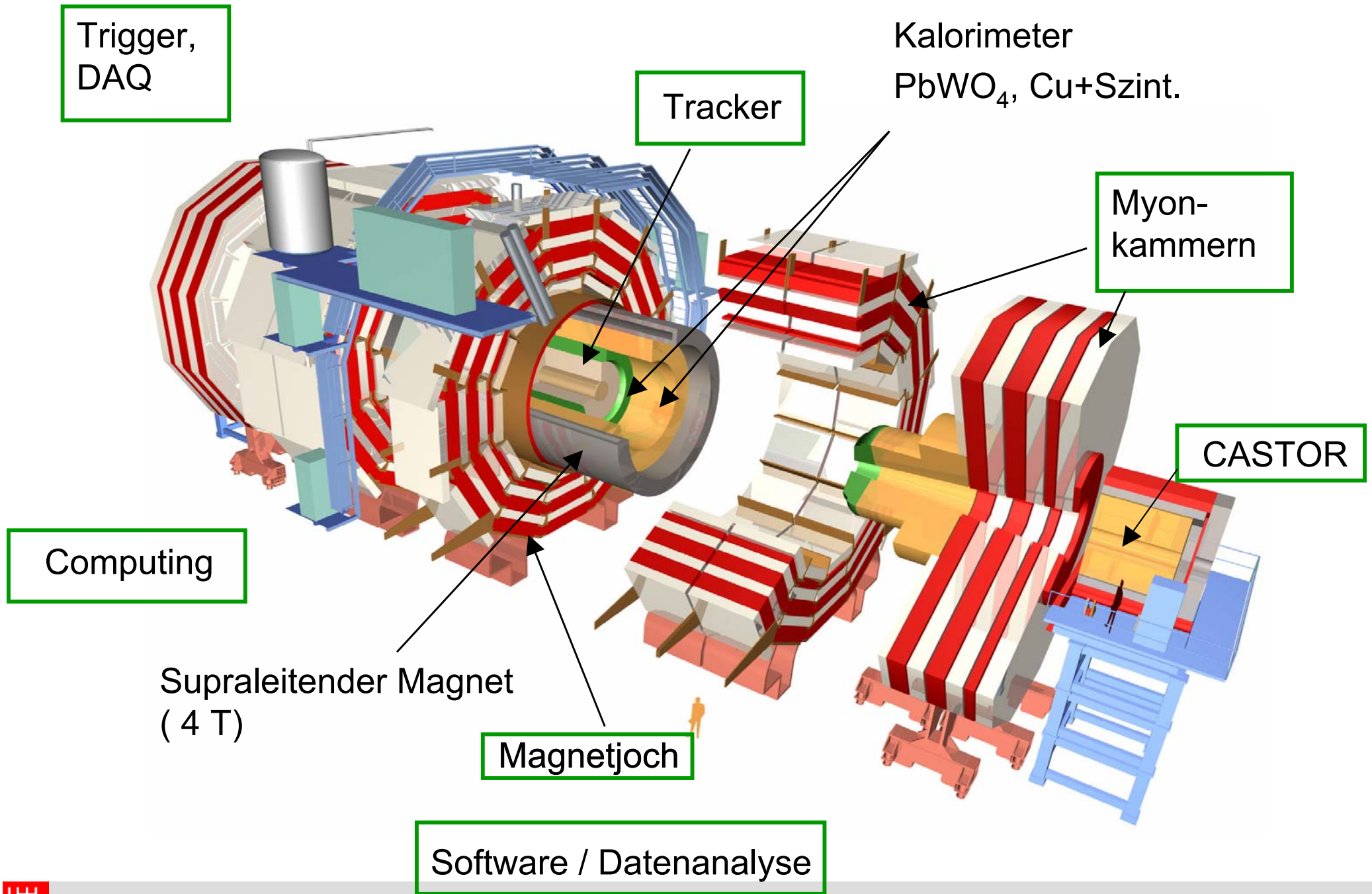
Caren Hagner
Achim Geiser

(in Anlehnung an Vortrag von T. Mueller)

Universität Hamburg, IExpPh
Sommersemester 2009



DER CMS-DETEKTOR

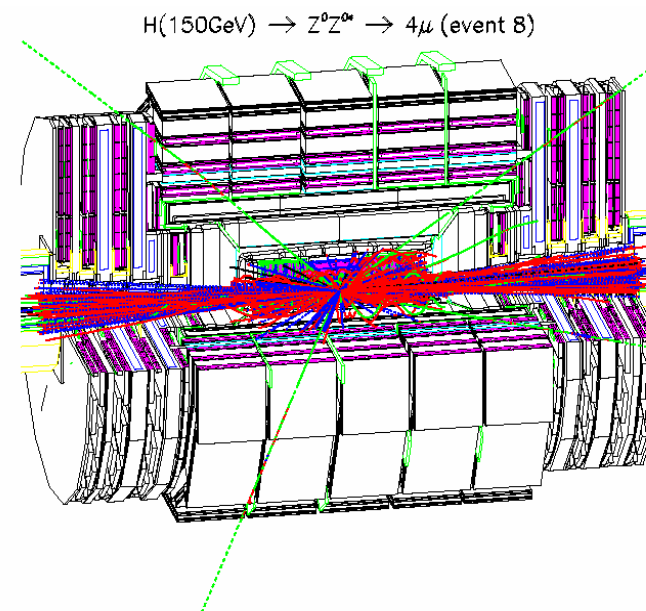
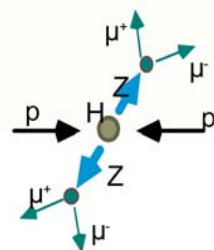
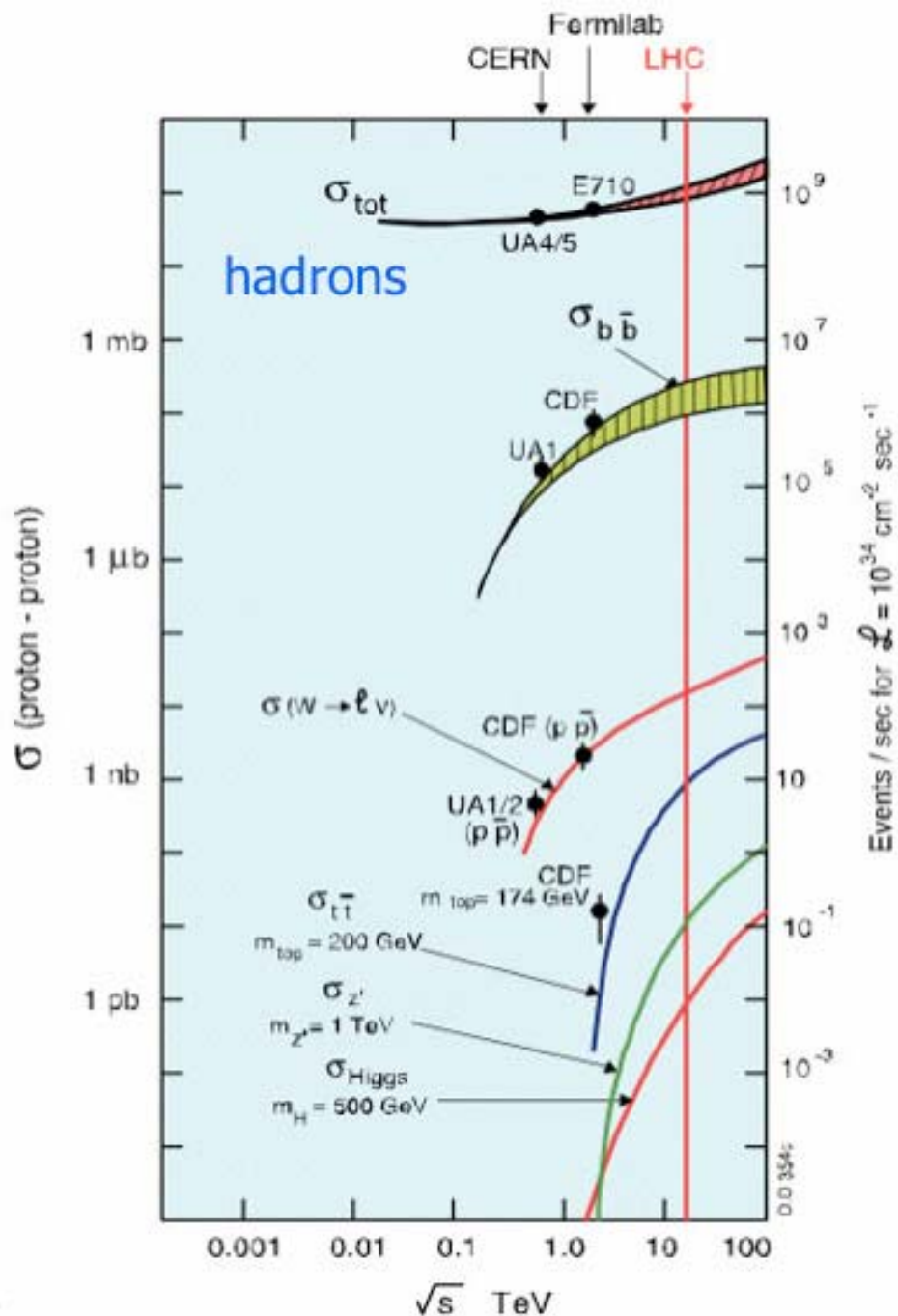


DIE HERAUSFORDERUNG

- 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“

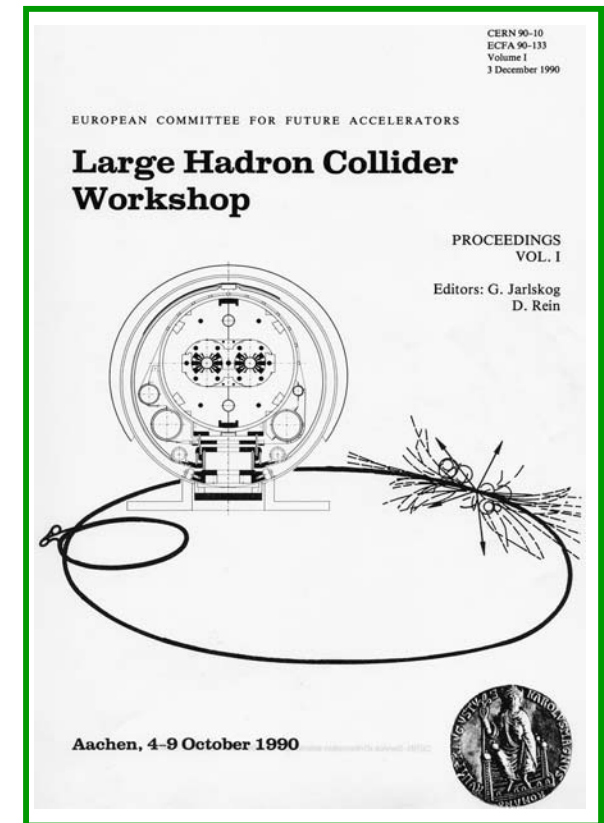
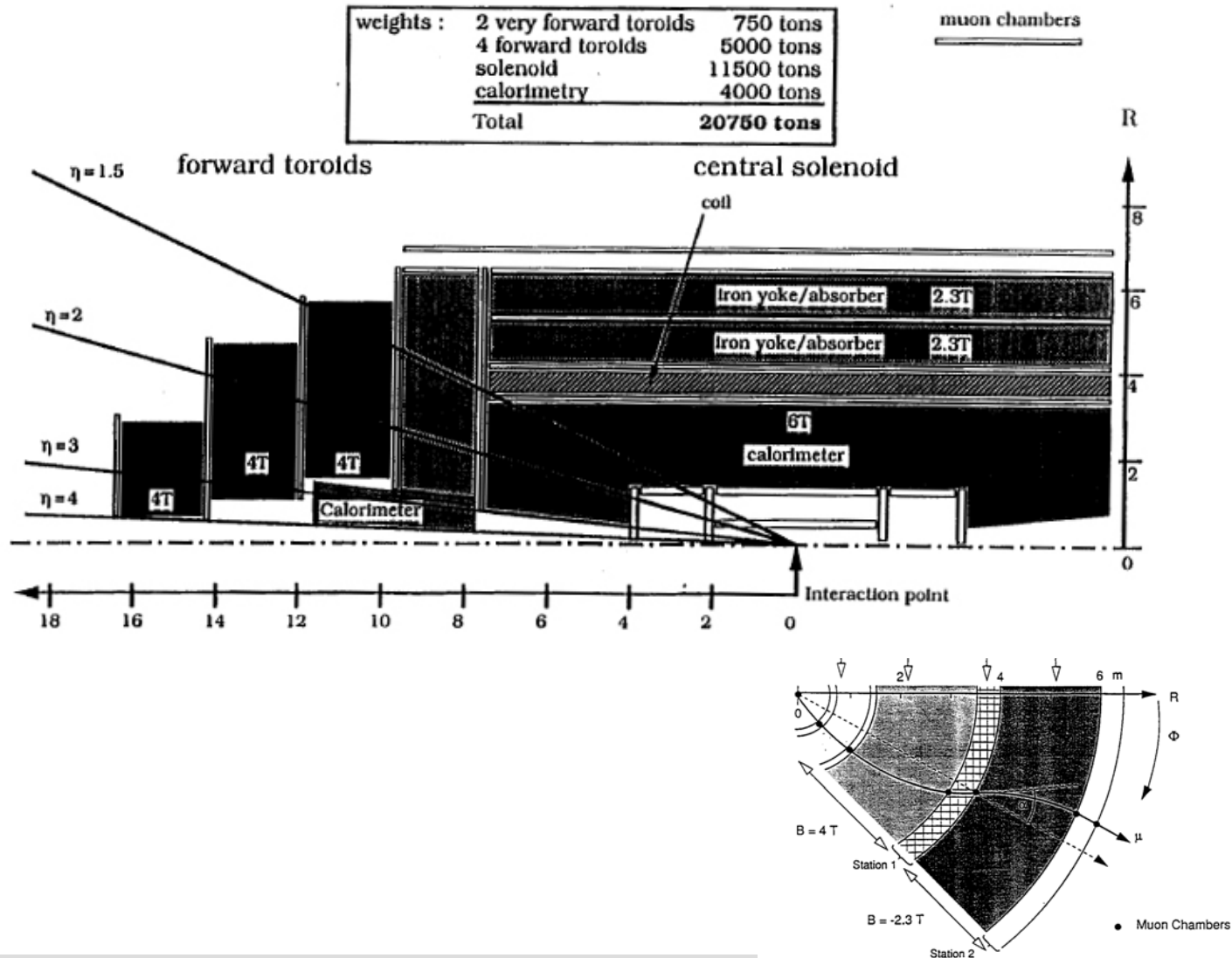
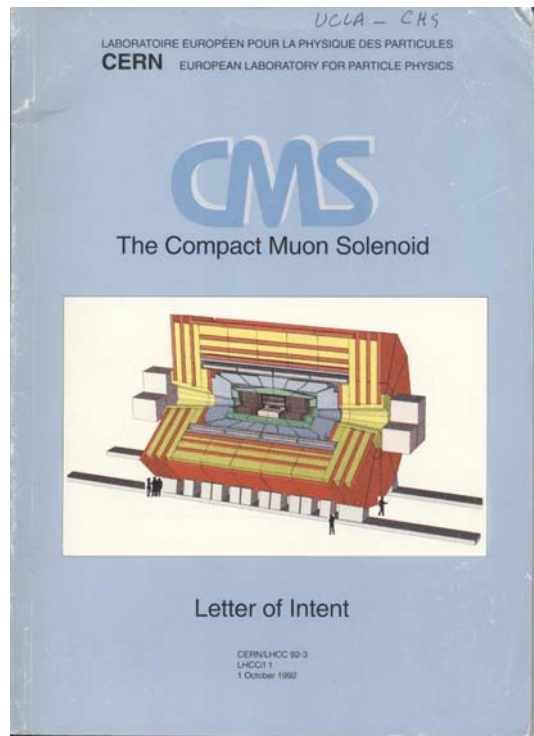


Fig. 7 Transversal view of the Compact Muon Solenoid detector.

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. Siegmund

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

J-P. Merlo³

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

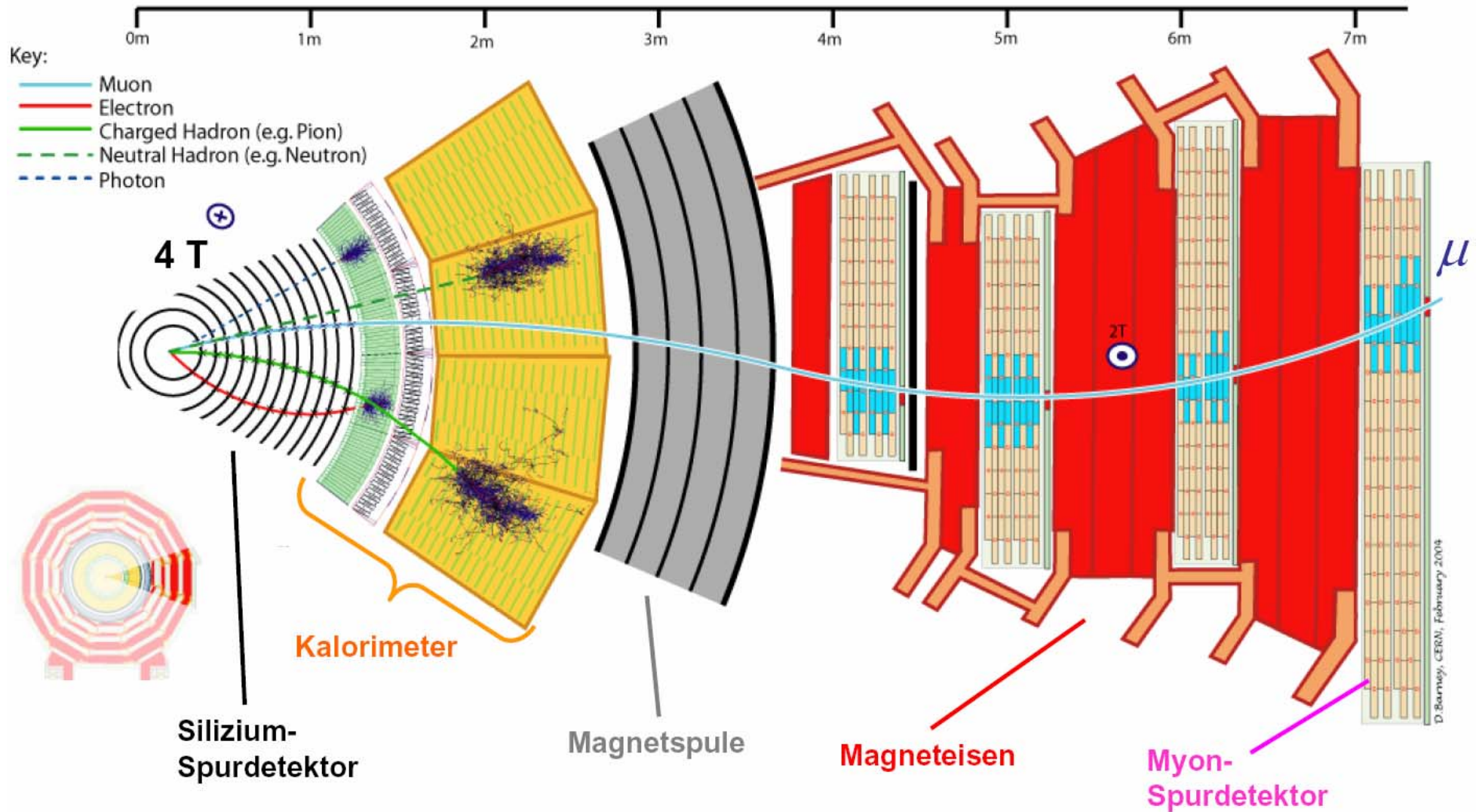
Universität Karlsruhe (TH) : Inst. Für Exp. Kernphysik

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

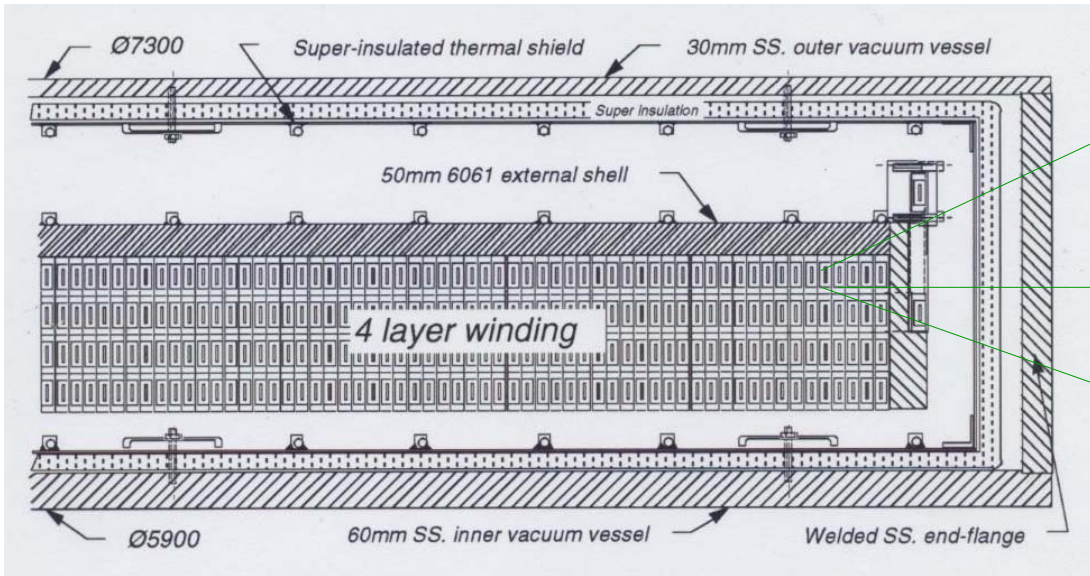
DCMS – Mitglieder: 210

Davon promoviert: 70

KONSTRUKTION DER DETEKTORELEMENTE



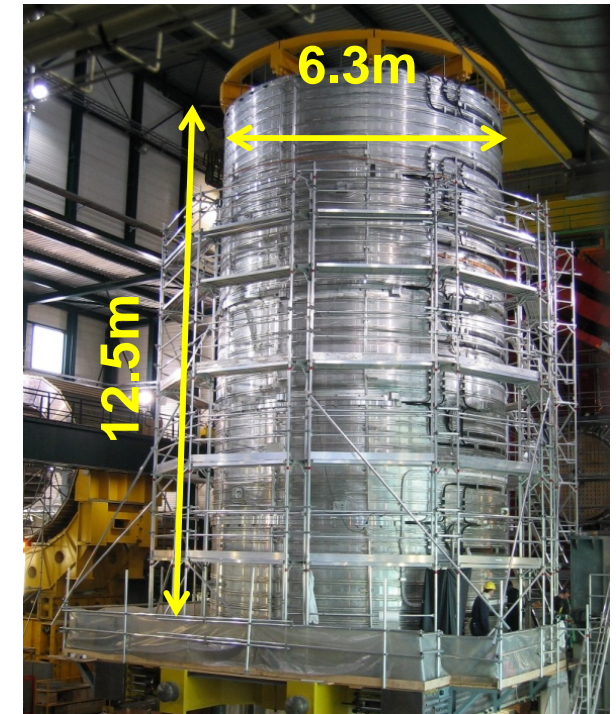
1. Der Supraleitende Magnet



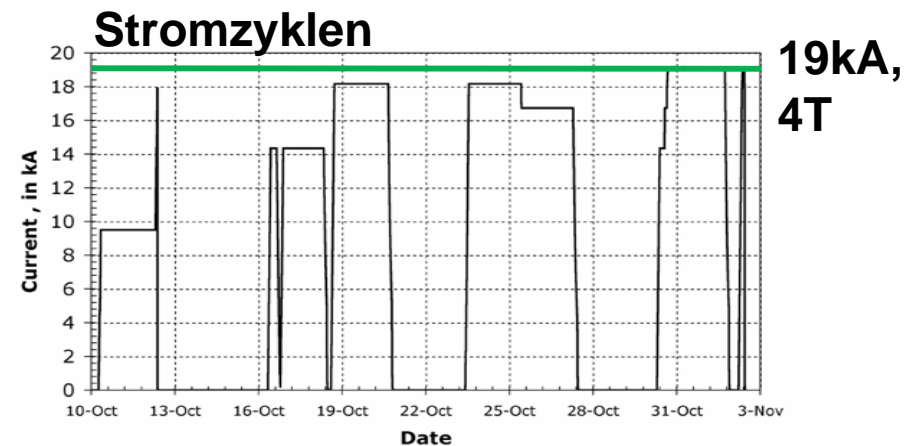
NbTi-Leiter
32 Adern

Aluminium-
legierung

Aluminium

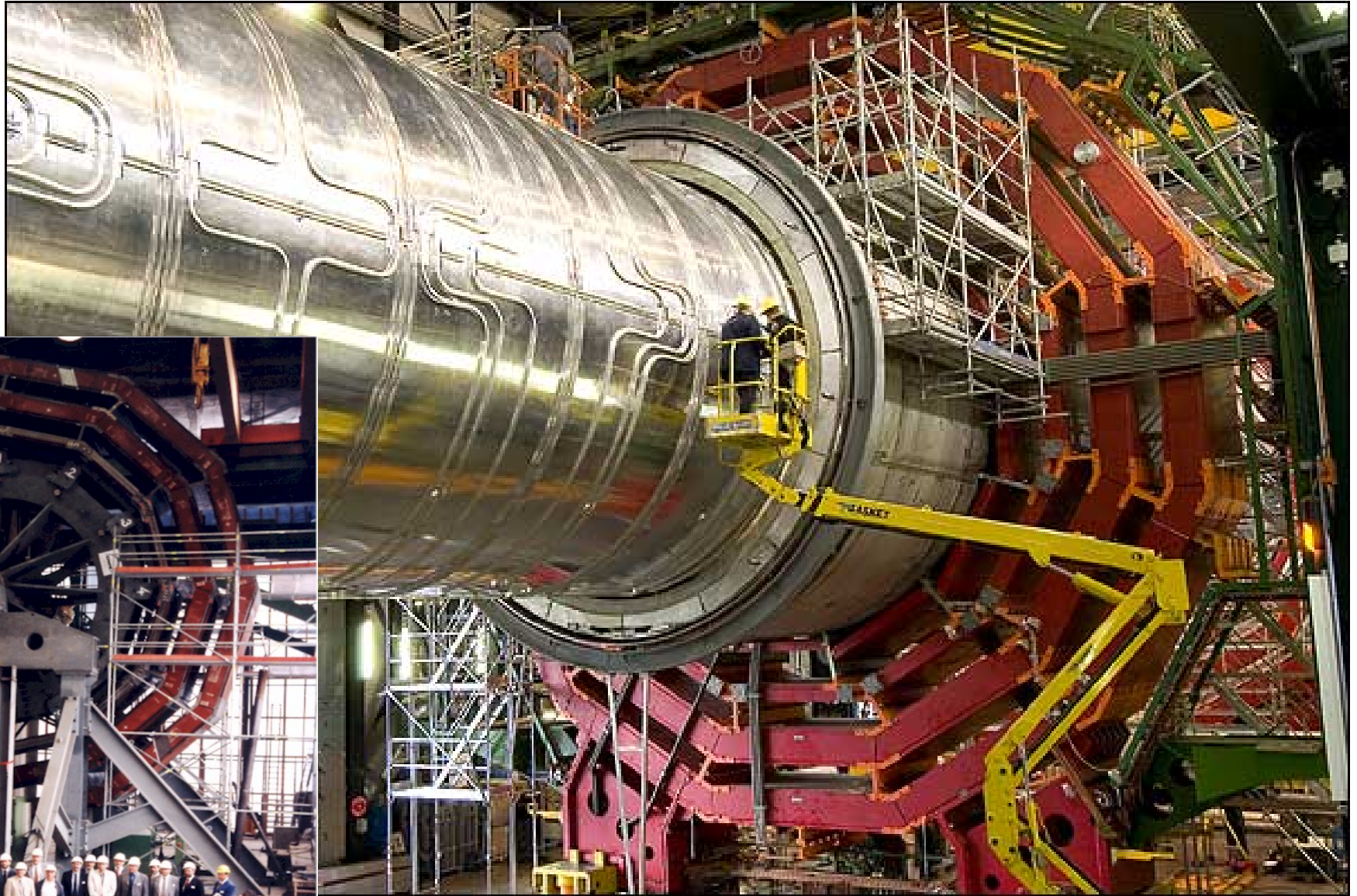


- 2112 Windungen in 4 Lagen
- Supraleitender Al-verstärkter NbTi-Leiter
- 19 kA Betriebsstrom
- 220 t Kaltmasse bei 4.5K (Helium)
- Feldenergie 2.5 GJ
- Rückflussjoch aus 10 000t Eisen
- Axiale Kraft auf Joch: 120 MN
- LHC-Operation bei 3.8 T
- Materialdicke 70 cm (1.1λ)



Bau des Magneten

Einschub der inneren Kryostatwand



Bau des Eisenjochs in der DWE-Werft

2. Der Spurdetektor

206 m² (Streifen) + 1 m² (Pixel)

25.000 Siliziumsensoren

10Mio Streifen

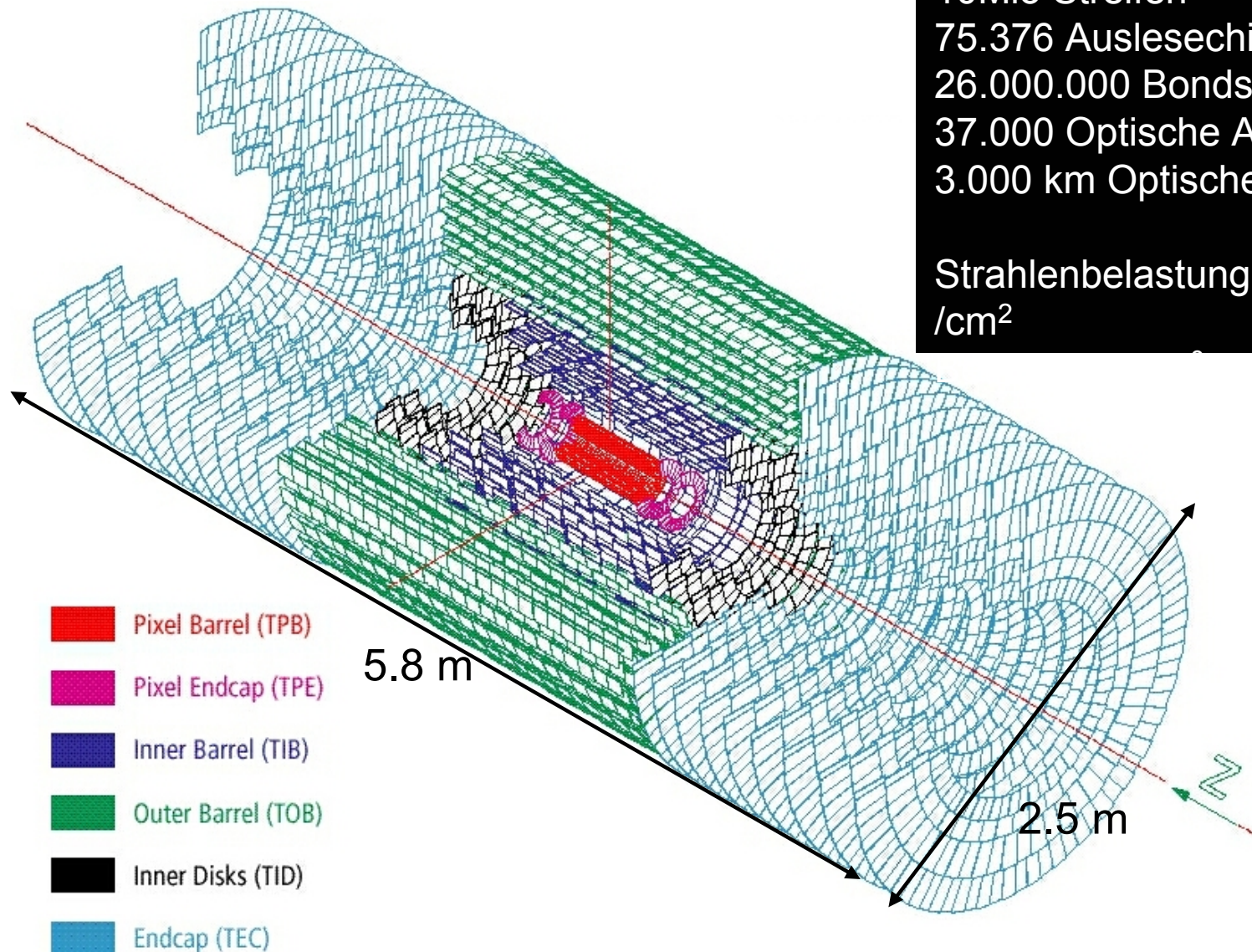
75.376 Auslesechips

26.000.000 Bonds

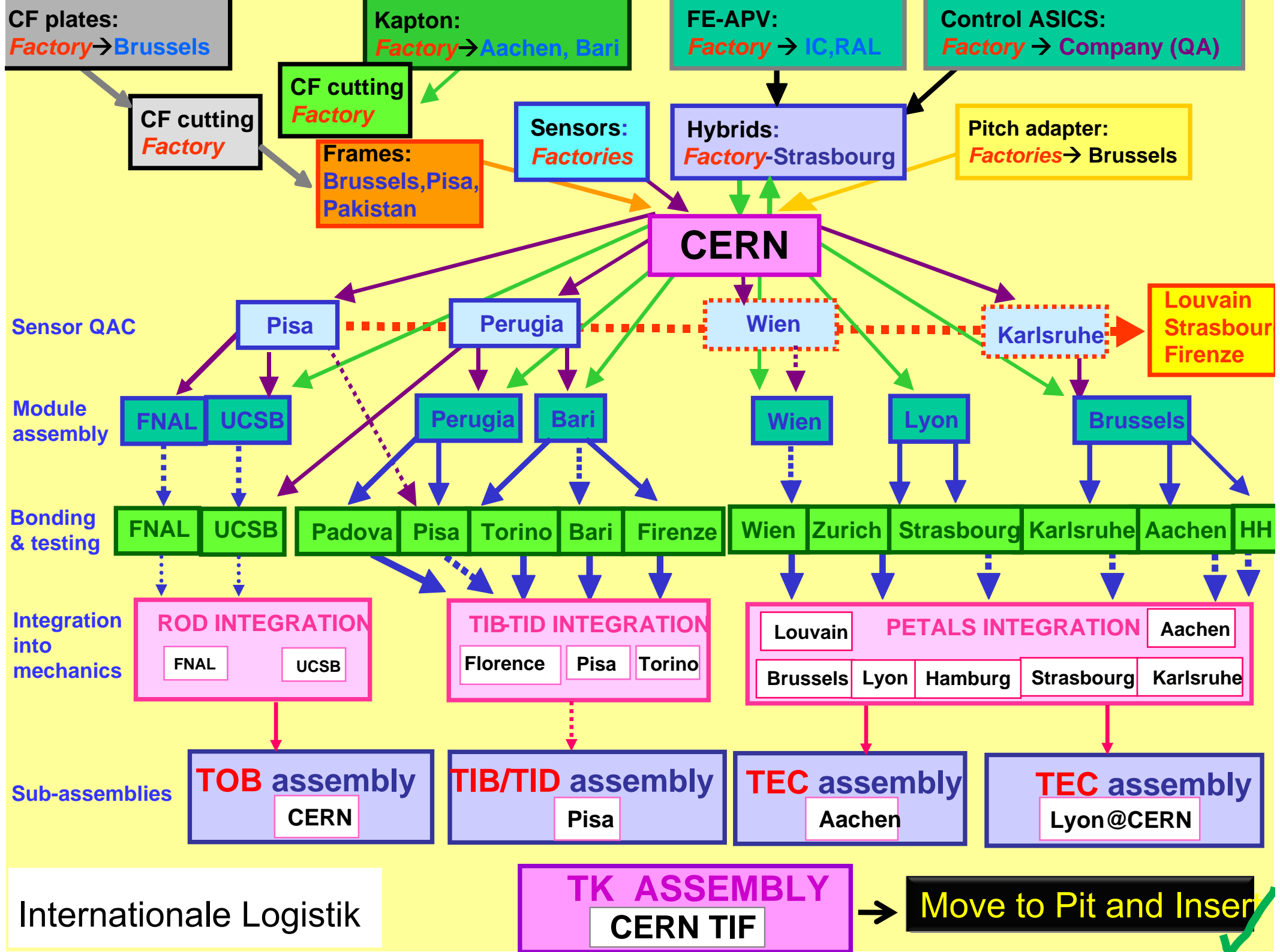
37.000 Optische Analogverbindungen

3.000 km Optische Fasern

Strahlenbelastung: $10^{13} - 10^{15} n_{eq}$
/cm²



30-mal größer als der CDF-Si-Detektor



Internationale Logistik

TK ASSEMBLY
CERN TIF

Move to Pit and Insert

3. Das Elektromagnetische Kalorimeter

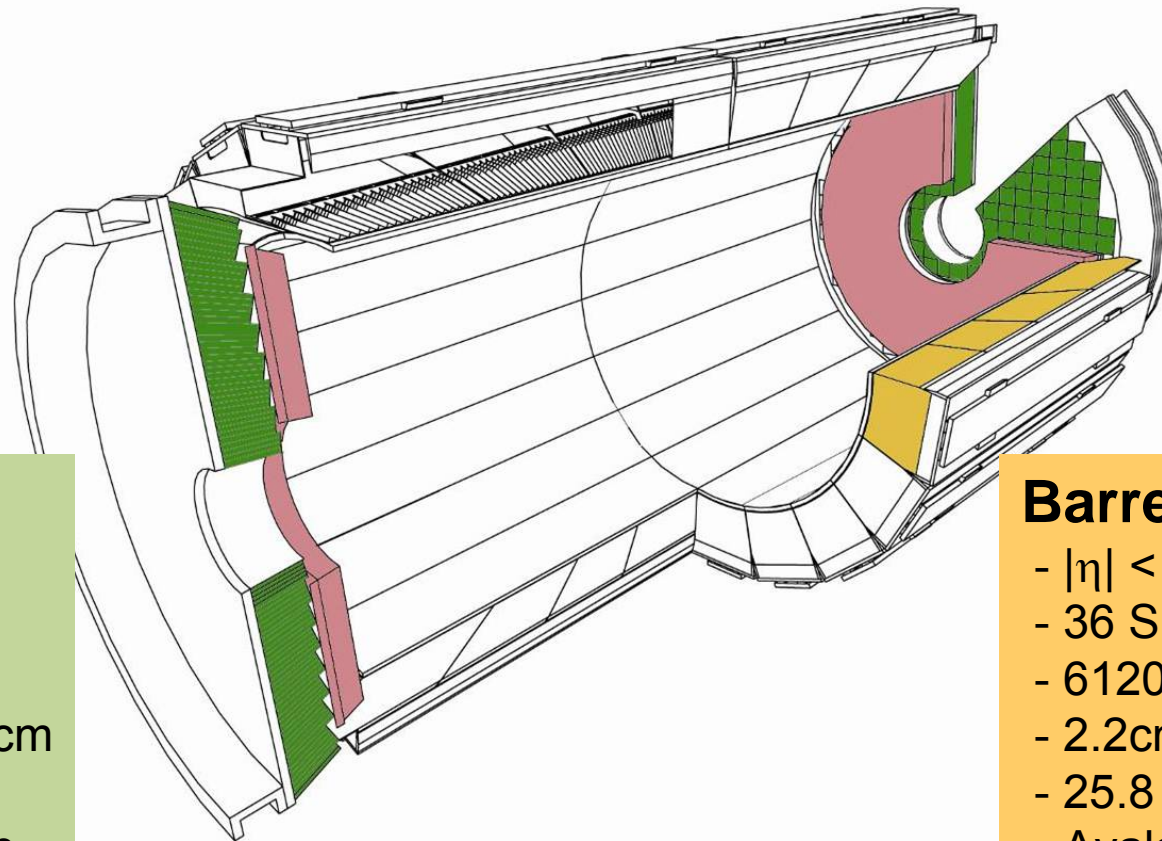
- Benchmark-Kanal: $H \rightarrow \gamma\gamma$

- **Anforderungen:**

- Exzellente Energieauflösung
- Hohe Granularität
- Strahlenresistenz
- Schnelligkeit

Preshower zur π^0 -Unterdrückung

- $1.6 < |\eta| < 2.6$
- Bleiabsorber/Siliziumstreifendetektoren
- 2 Lagen $\cong 2 X_0$



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

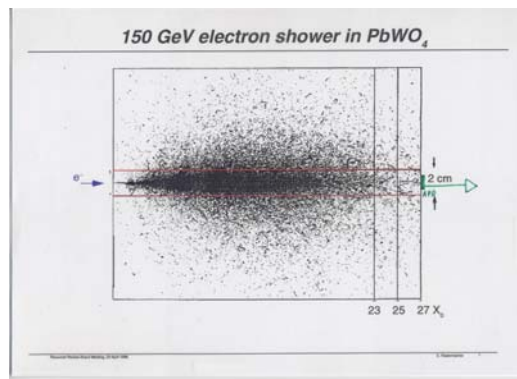
Barrel (EB)

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

Bleiwolframat-Kristalle:

- Hohe Dichte: 8.28 g/cm³
- Kurze Strahlungslänge: 0.89cm
- Kleiner Moliereradius: 2.2cm
- Schnell: 80% des Lichts wird in 25ns emittiert
- Geringe Lichtausbeute: 4.5 e⁻ / MeV bei +18°C
- Lichtausbeute stark temperaturabhängig:
-2.1% / °C bei +18°C
-> T-Stabilisierung auf 0.05°C nötig!

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



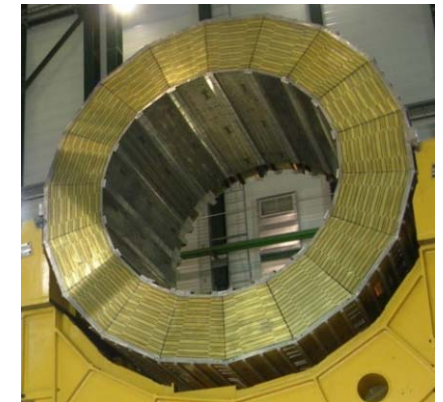
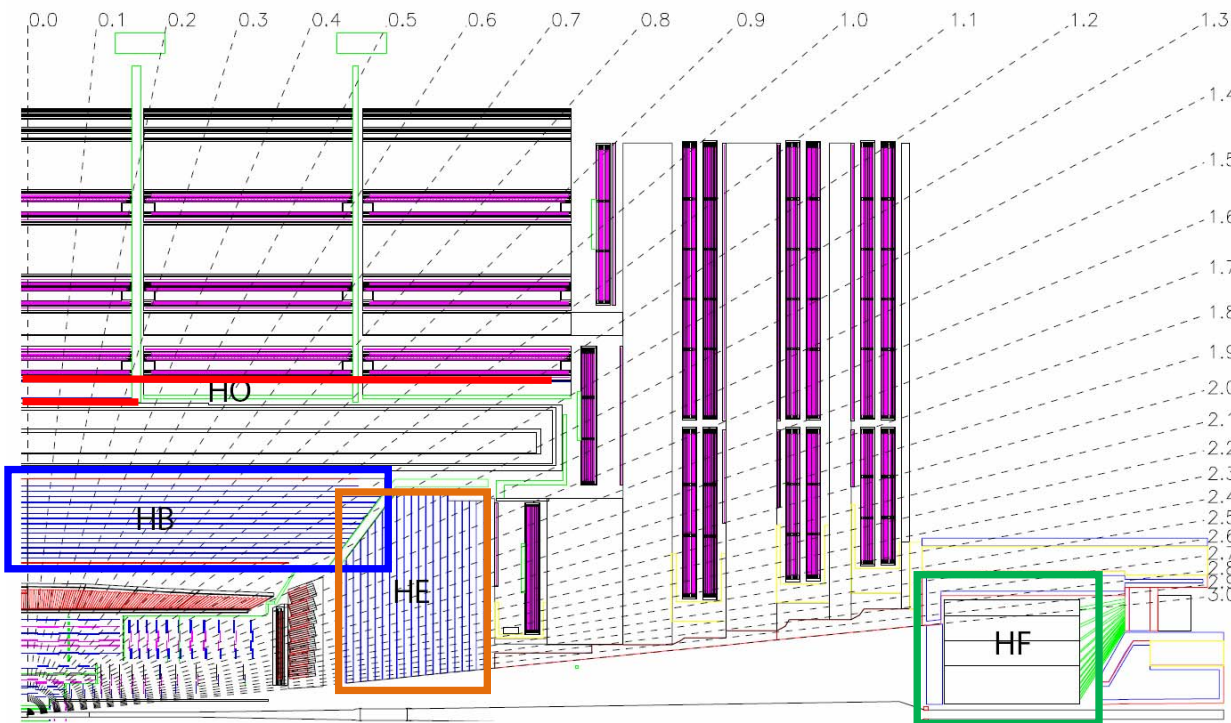


4. Das Hadron-Kalorimeter

- 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
- $5.8 \lambda / \sin\theta$

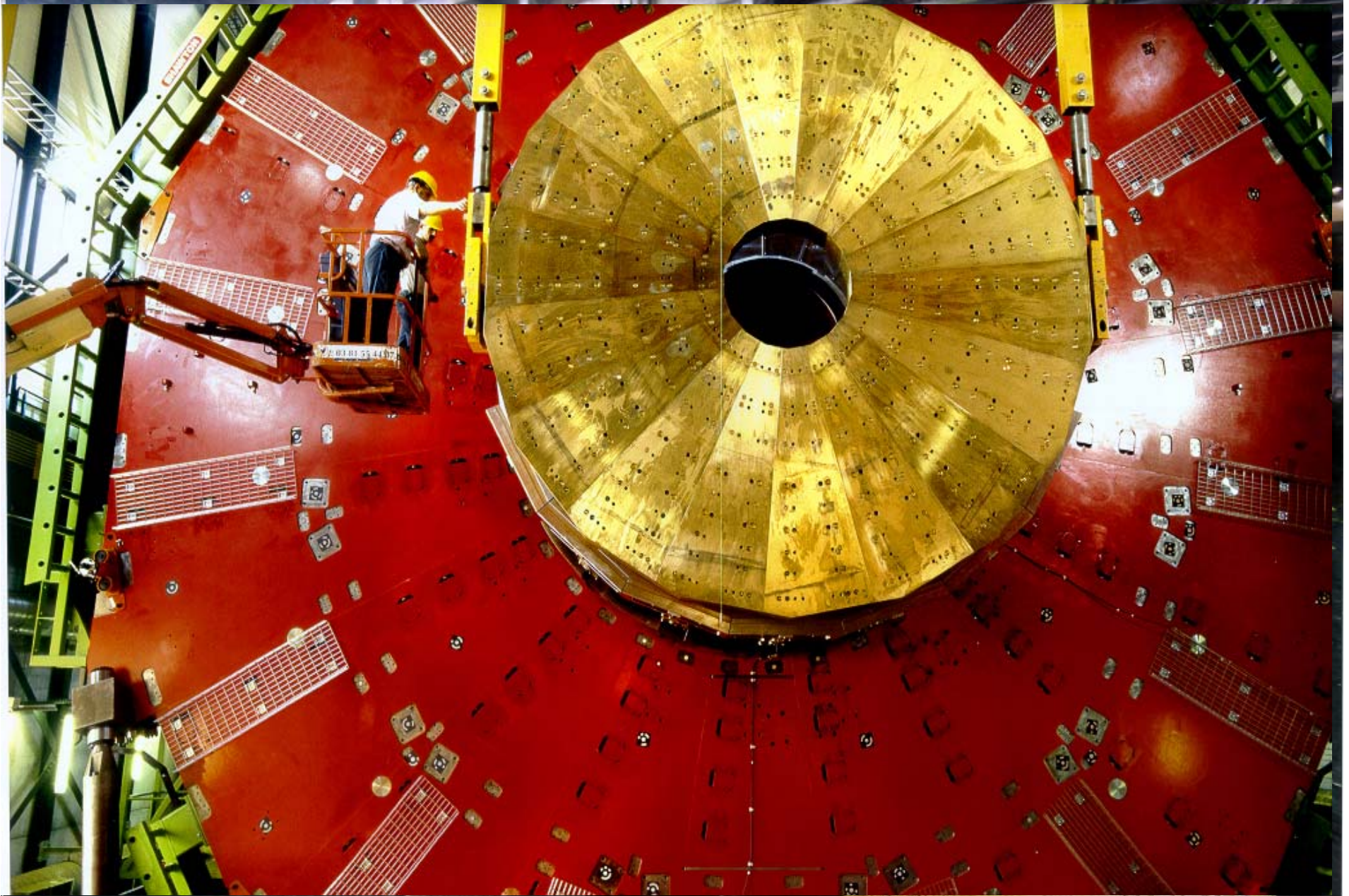
Hadron Endkappe (HE)

- 19 Lagen Szintillator
- 10λ

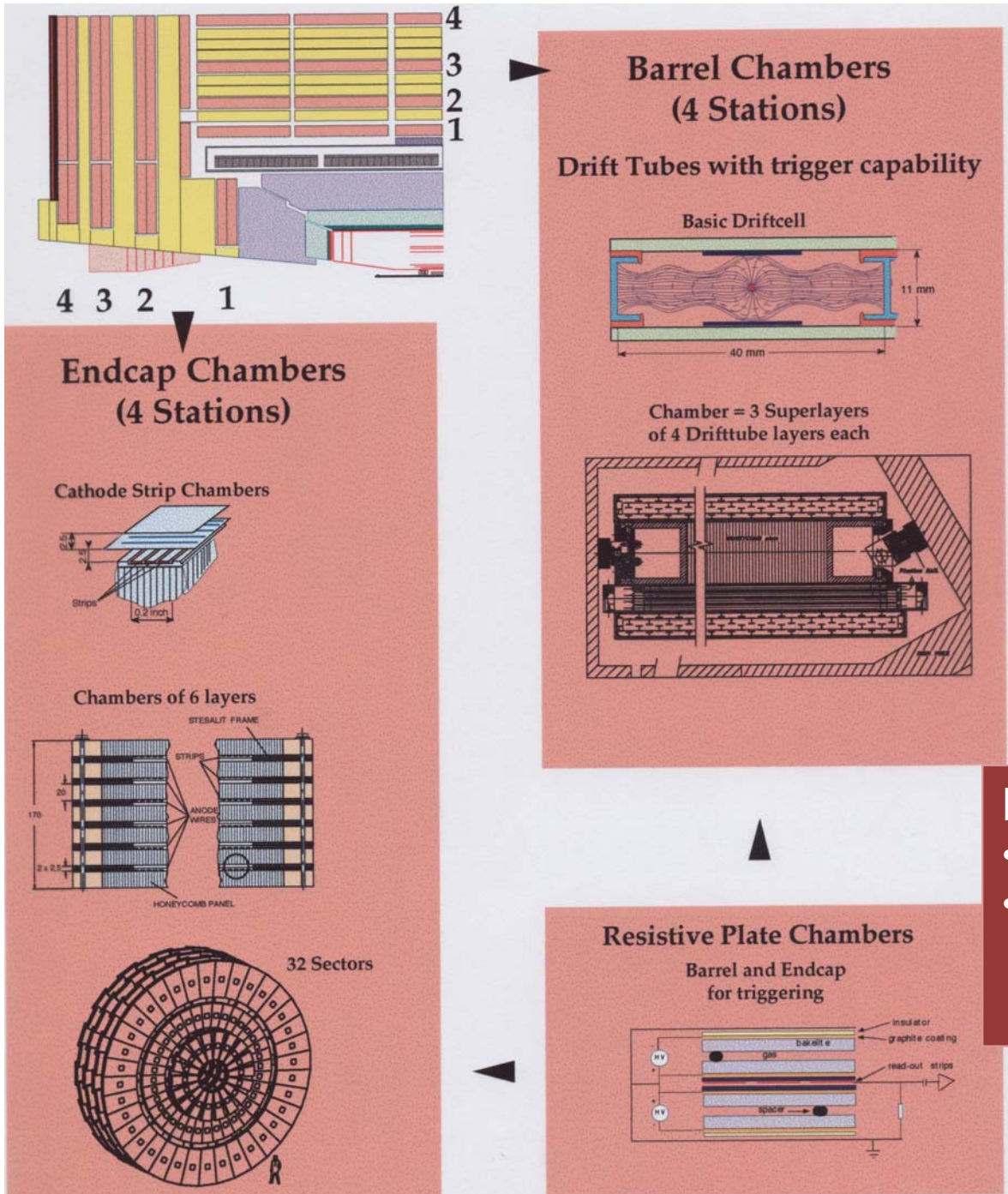
Hadron Forward (HF)

- 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 m²

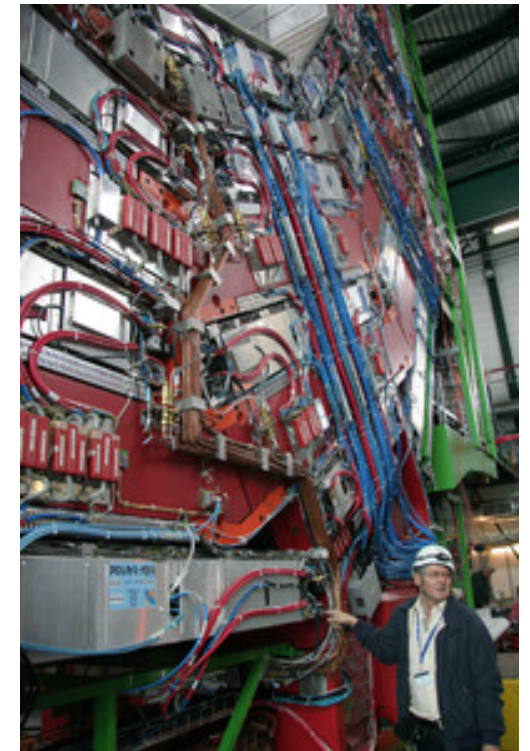
Gas: 85% CO₂, 15% Argon
 Driftzeit: 380 ns

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

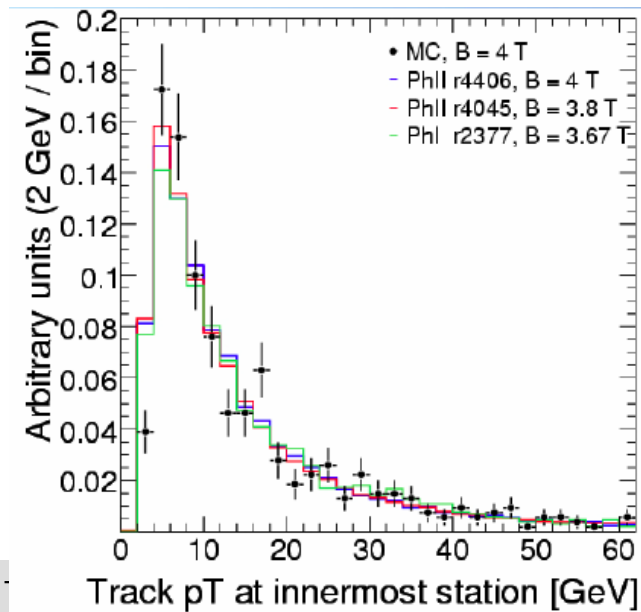
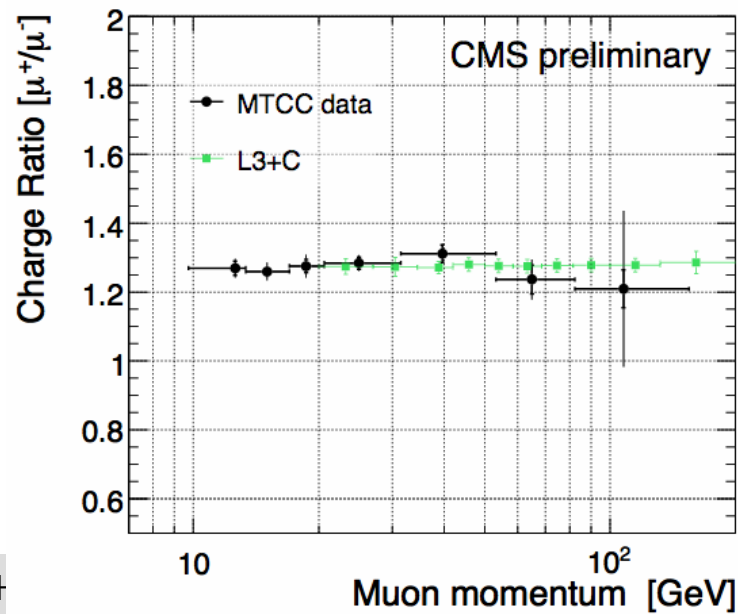
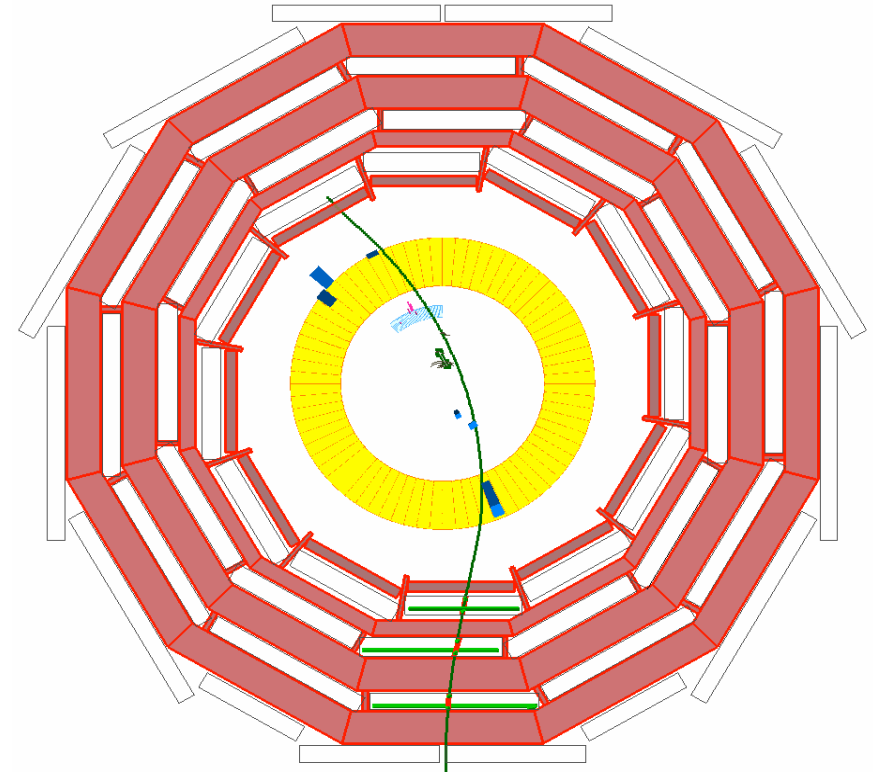
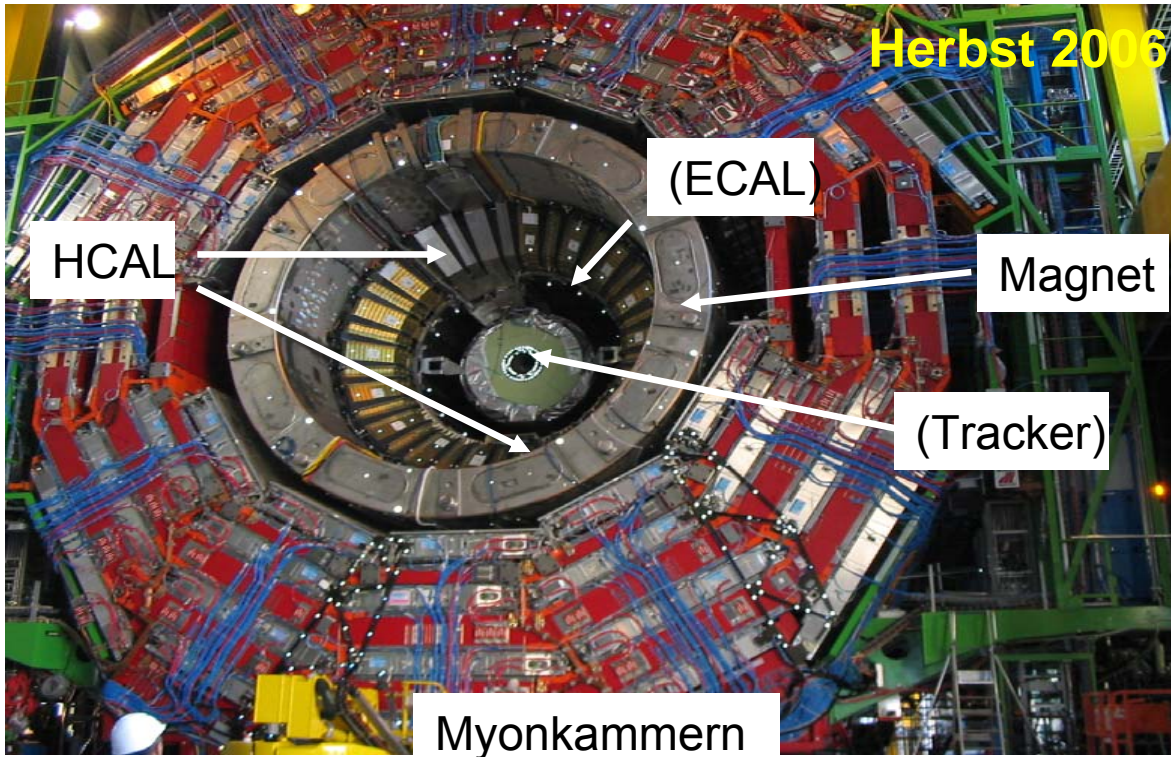
- Hohe Myon- & Untergrundrate: $\leq 1\text{kHz/cr}$
- B-Feld groß und nicht uniform

Kathodenstreifenkammern
 3 - 4 Lagen, 468 Kammern, 5000m²

Produktion in Aachen

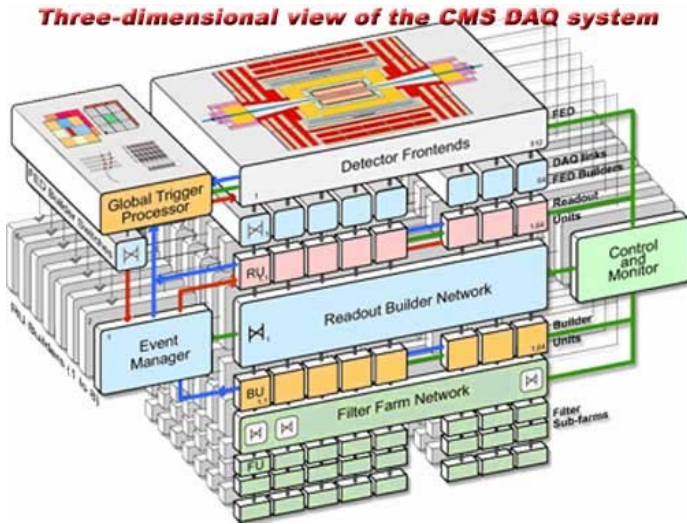


Erste Höhenstrahltests



6. Trigger/DAQ und Computing

Trigger und DAQ

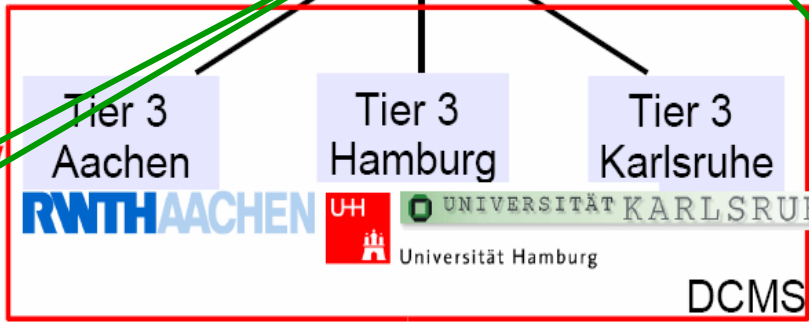


LHC-Grid
LCG

CMS

Tier 1
GridKa

'federated' Tier 2
DESY / Aachen



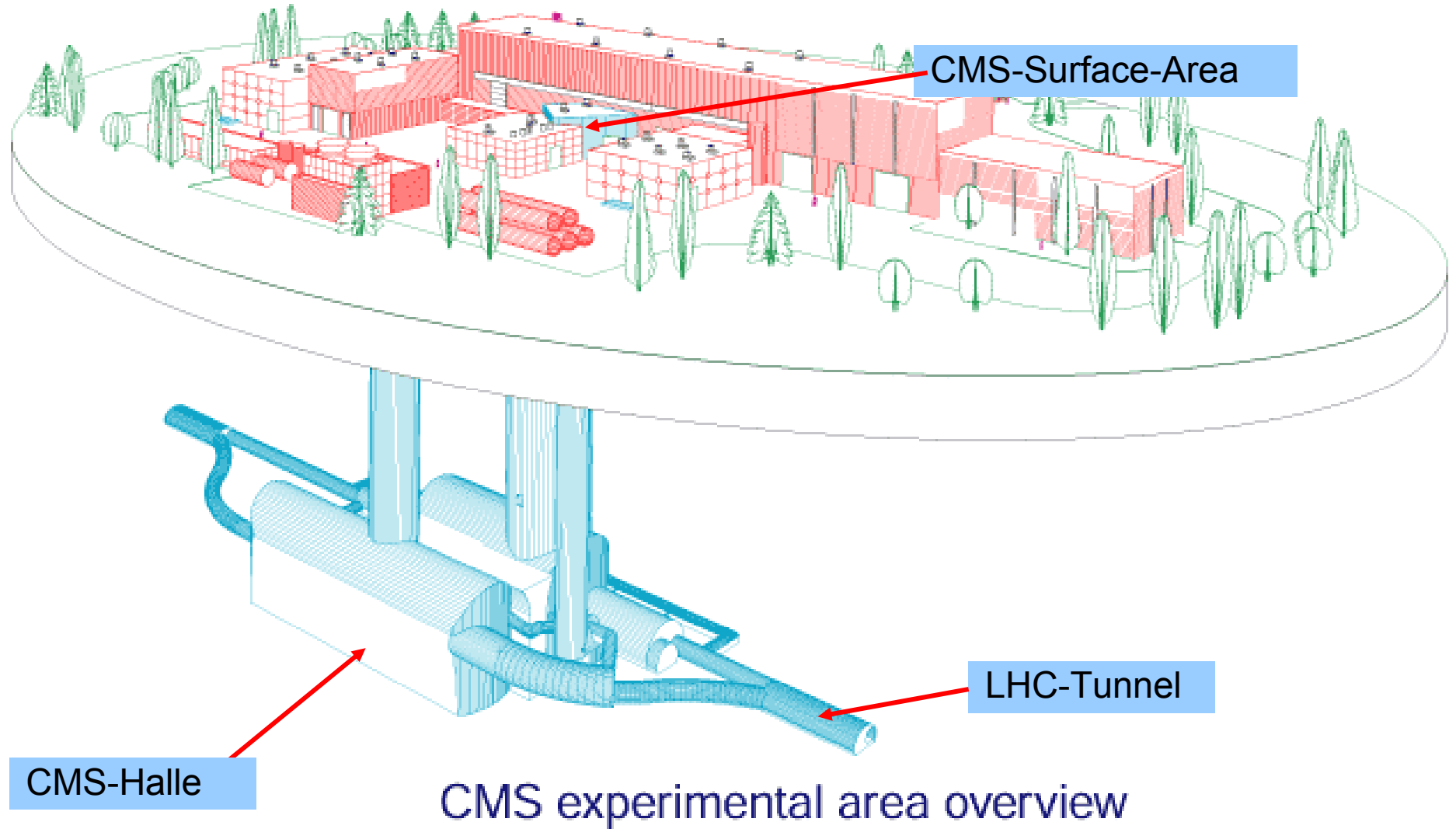
CMS
350 cores
127 TB disk

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

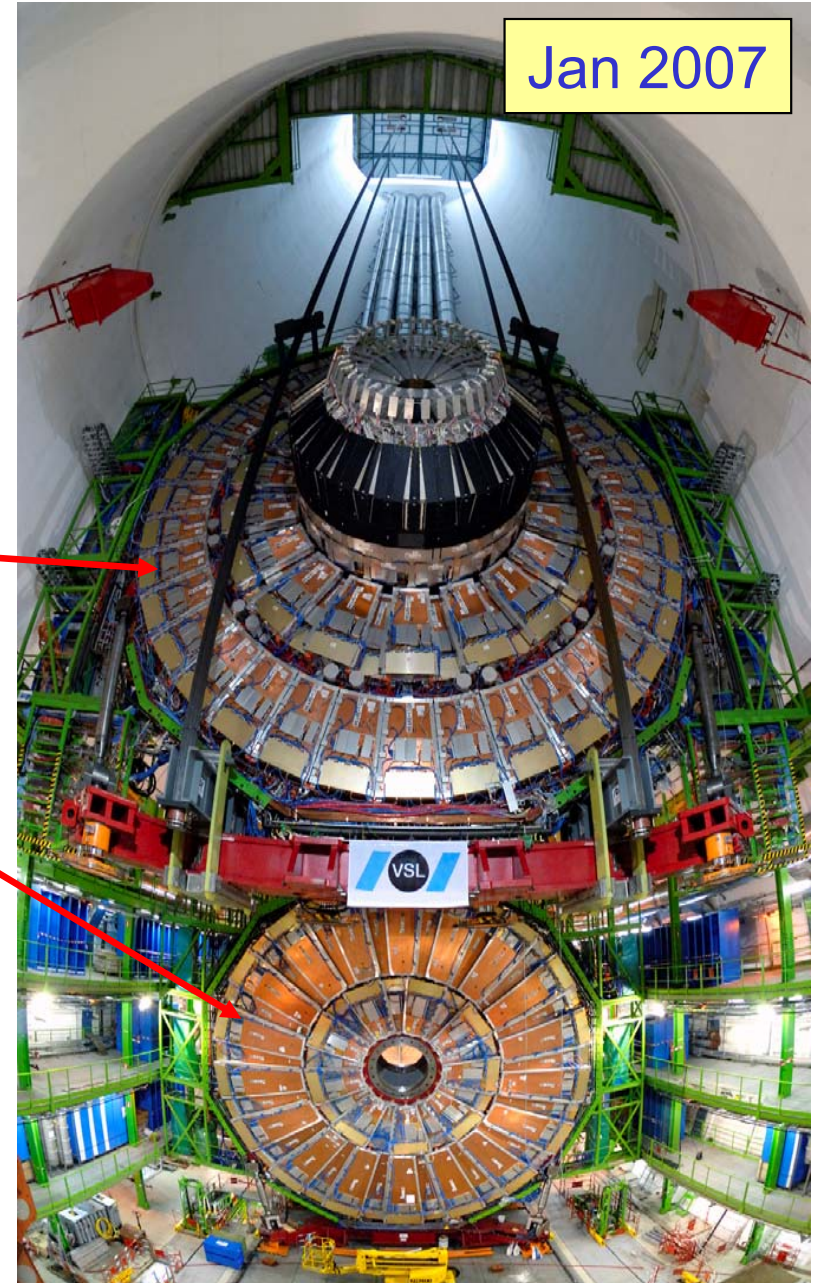
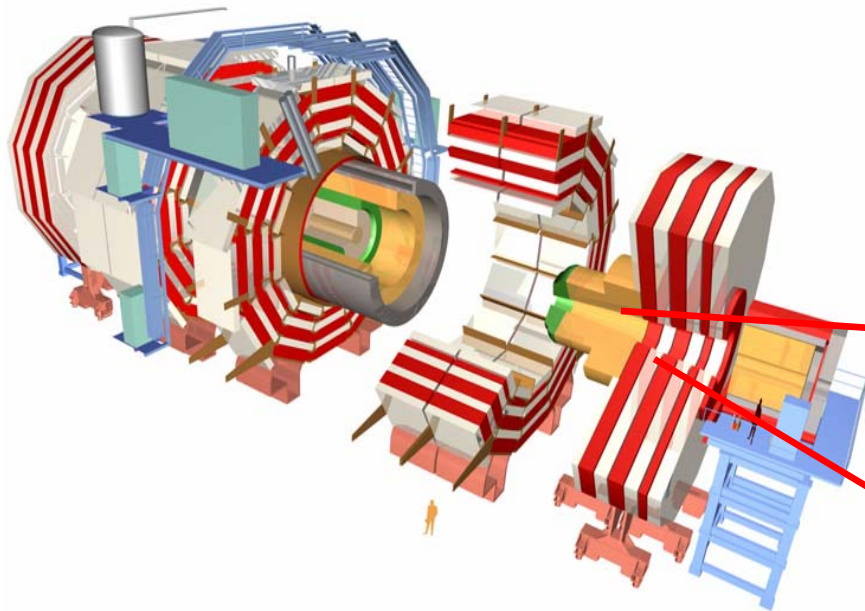


Feuerlösch-Test in der Kaverne

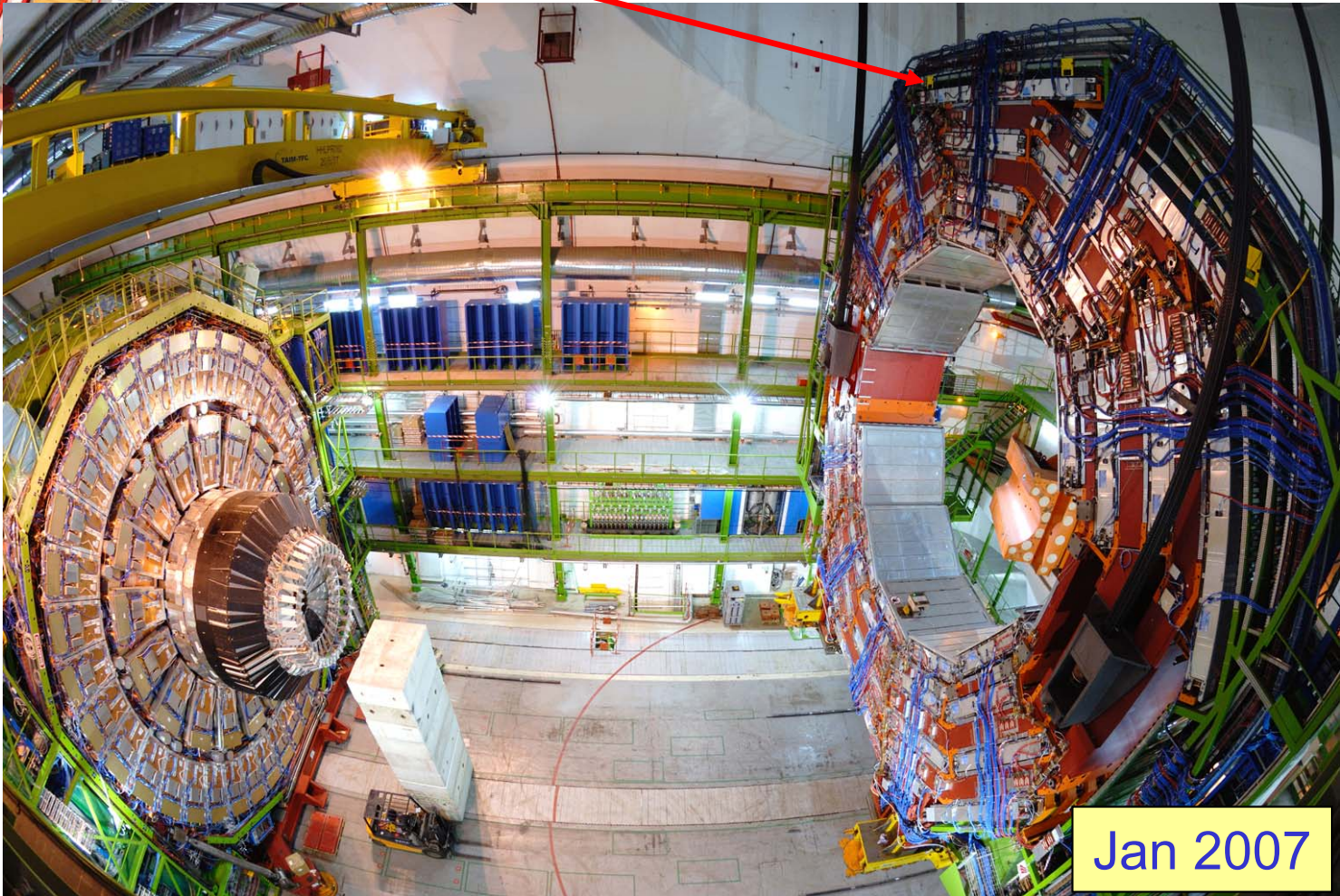
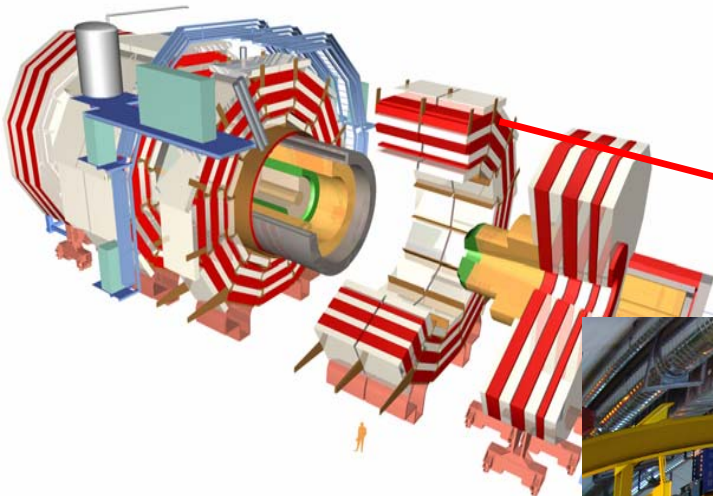


Beginn der Endmontage

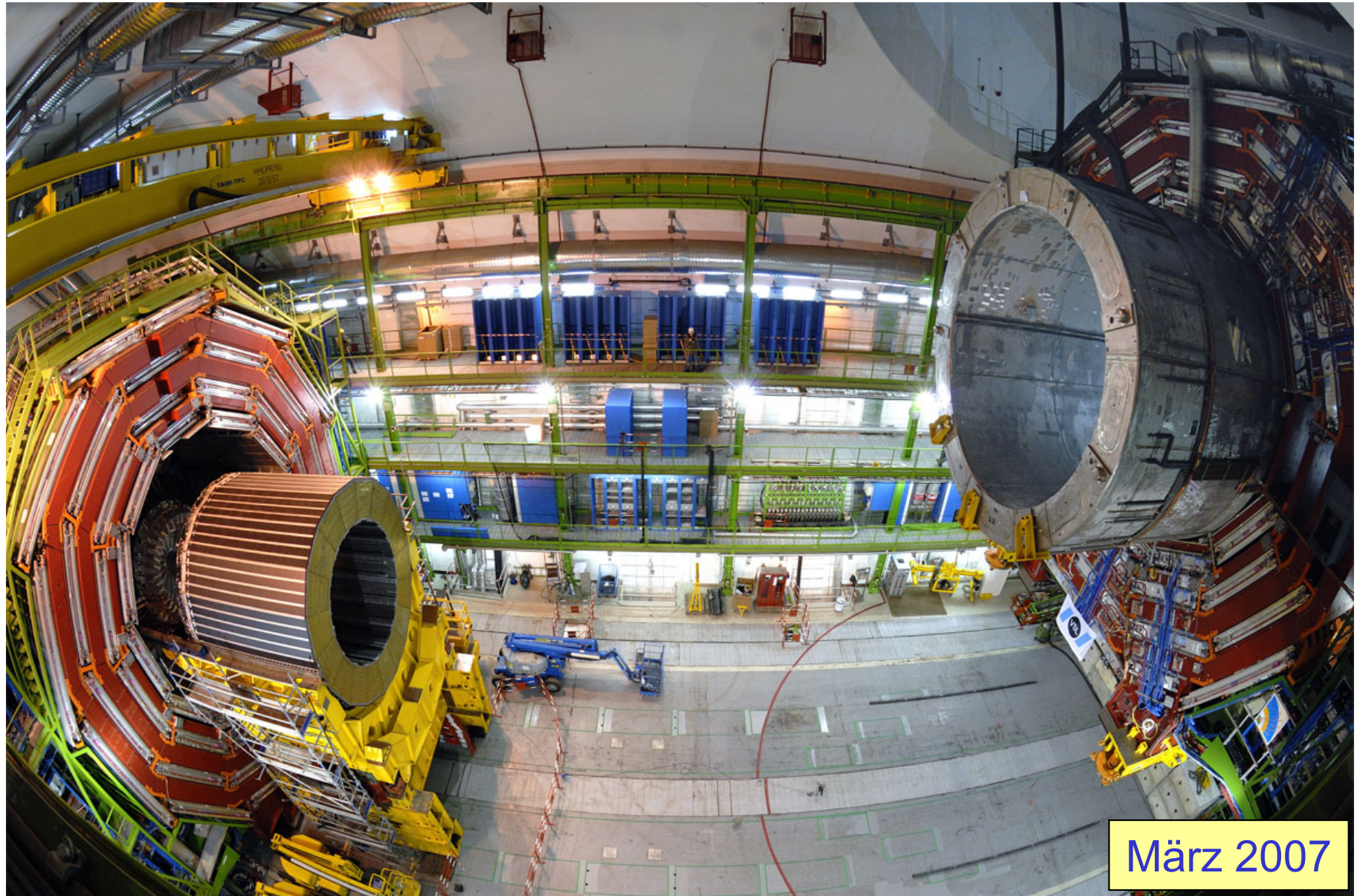
Absenken einer Endkappe



Absenken eines Barrel-Rings

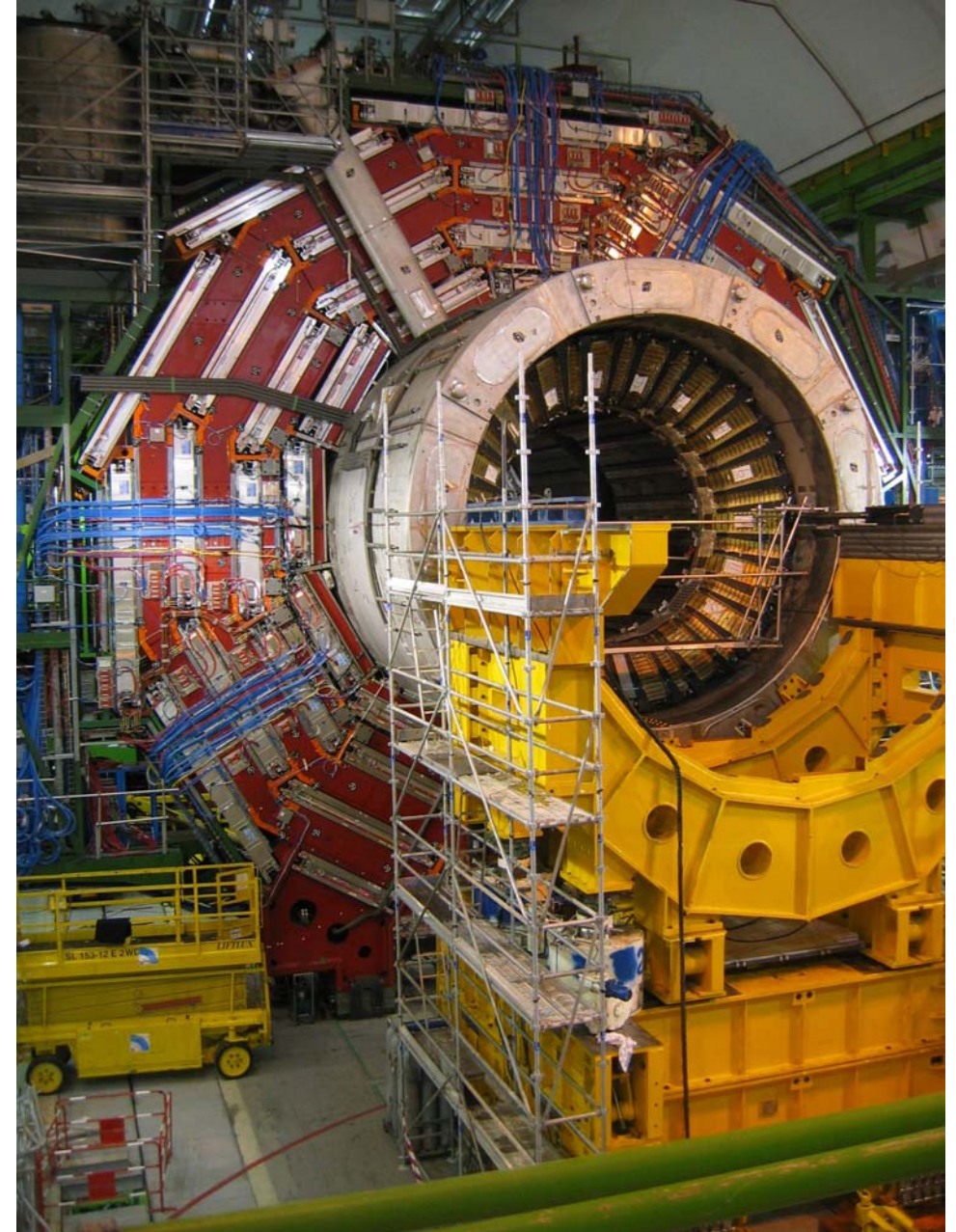
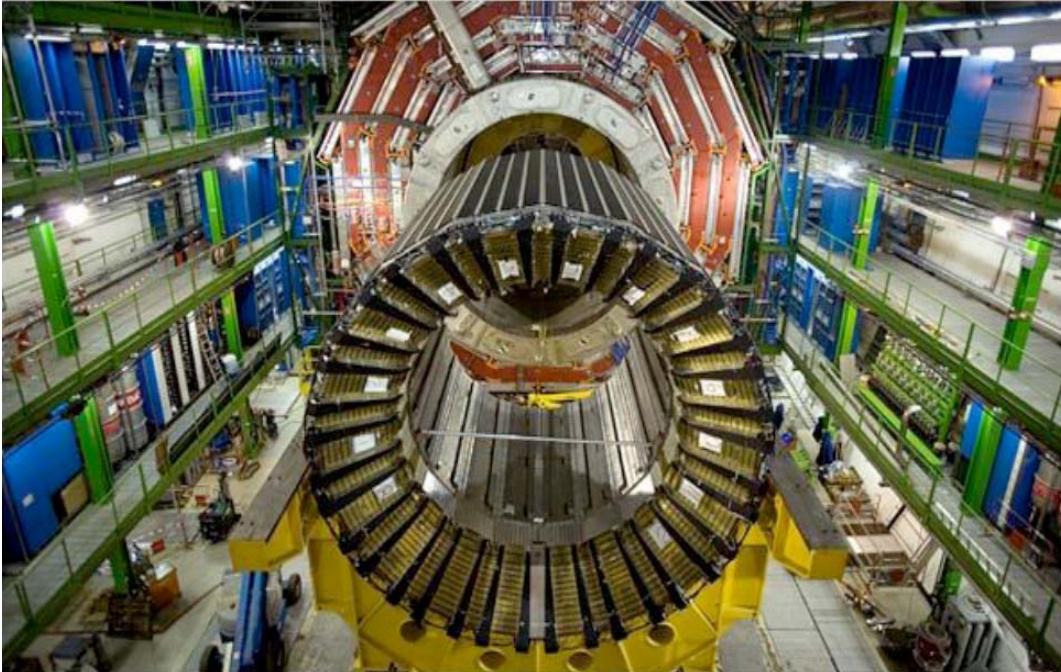


Absenken des 1500t schweren Zentralteils

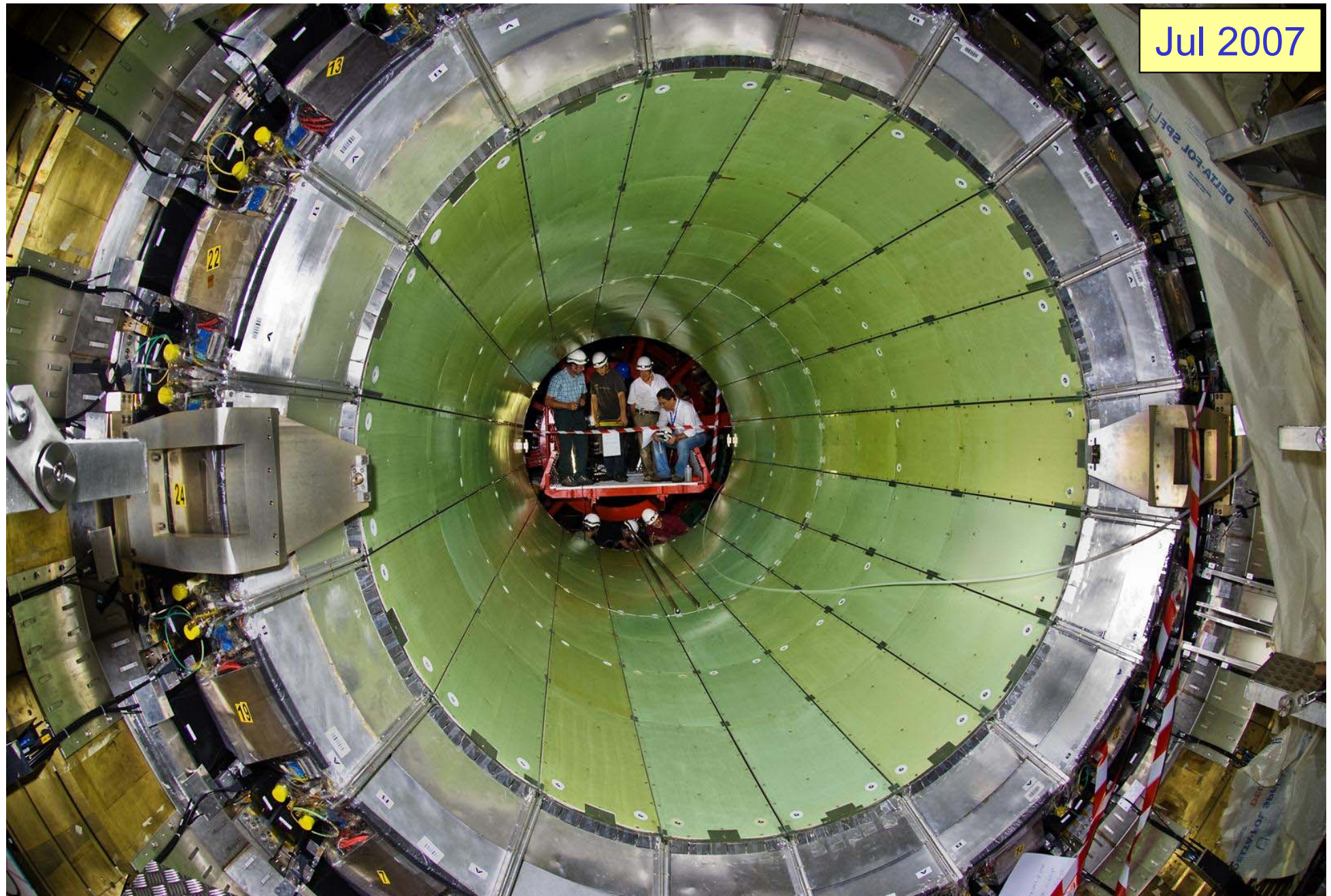


Einführung des Hadronkalorimeters

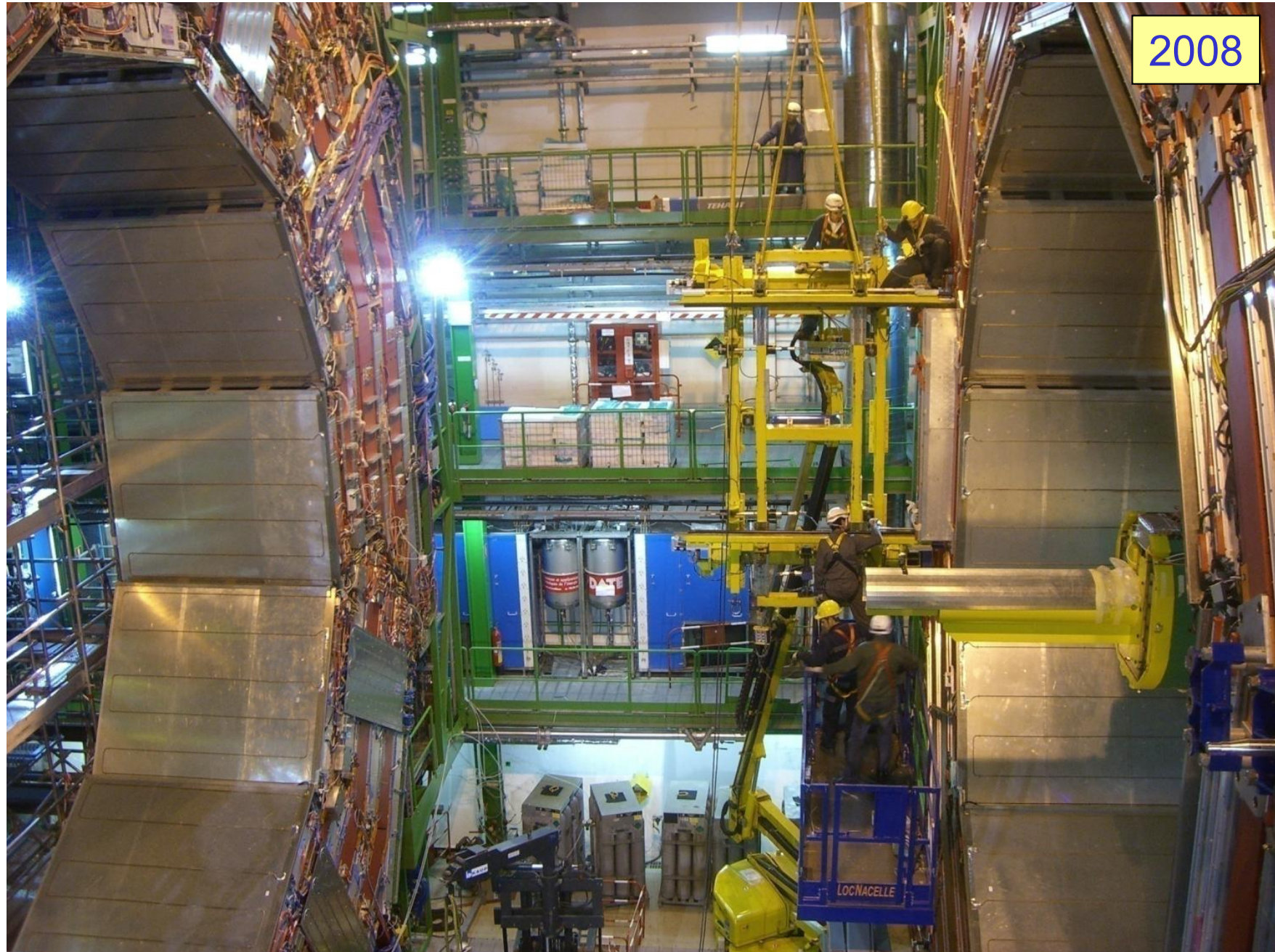
Ap. 2007



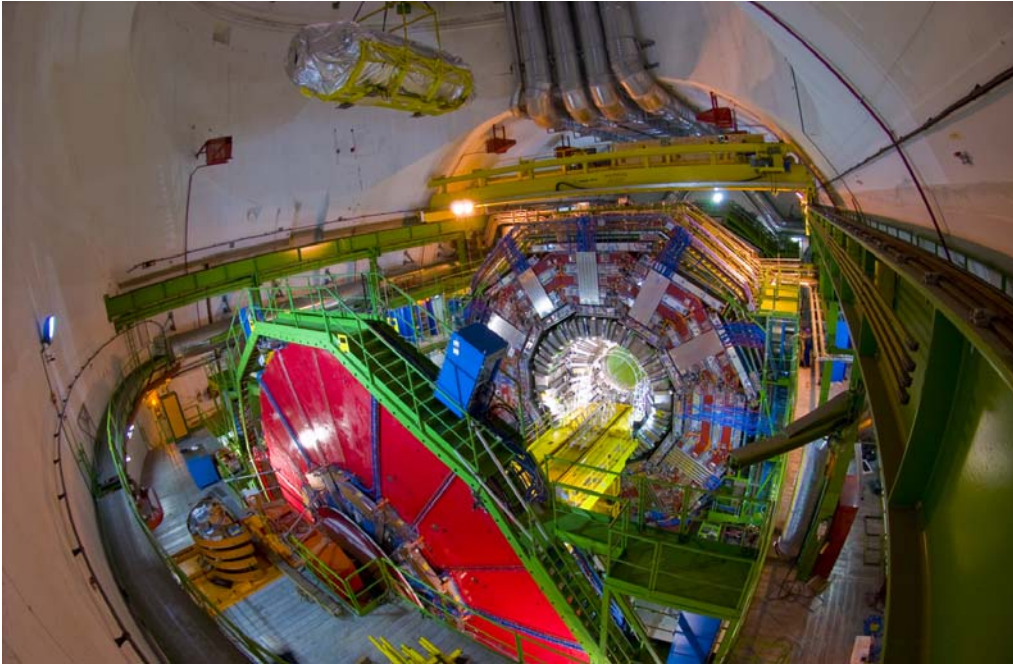
... und des Kristallkalorimeters



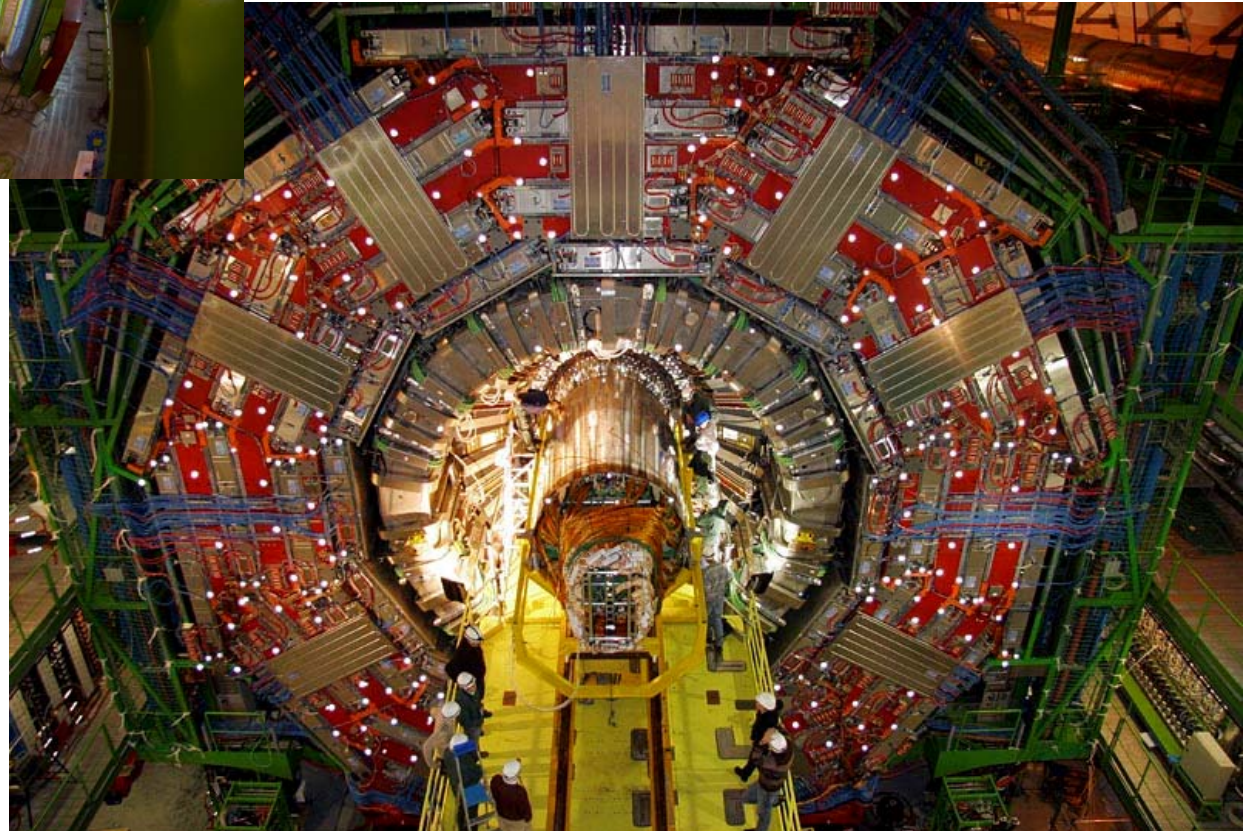
Letzte Arbeiten am Myonsystem



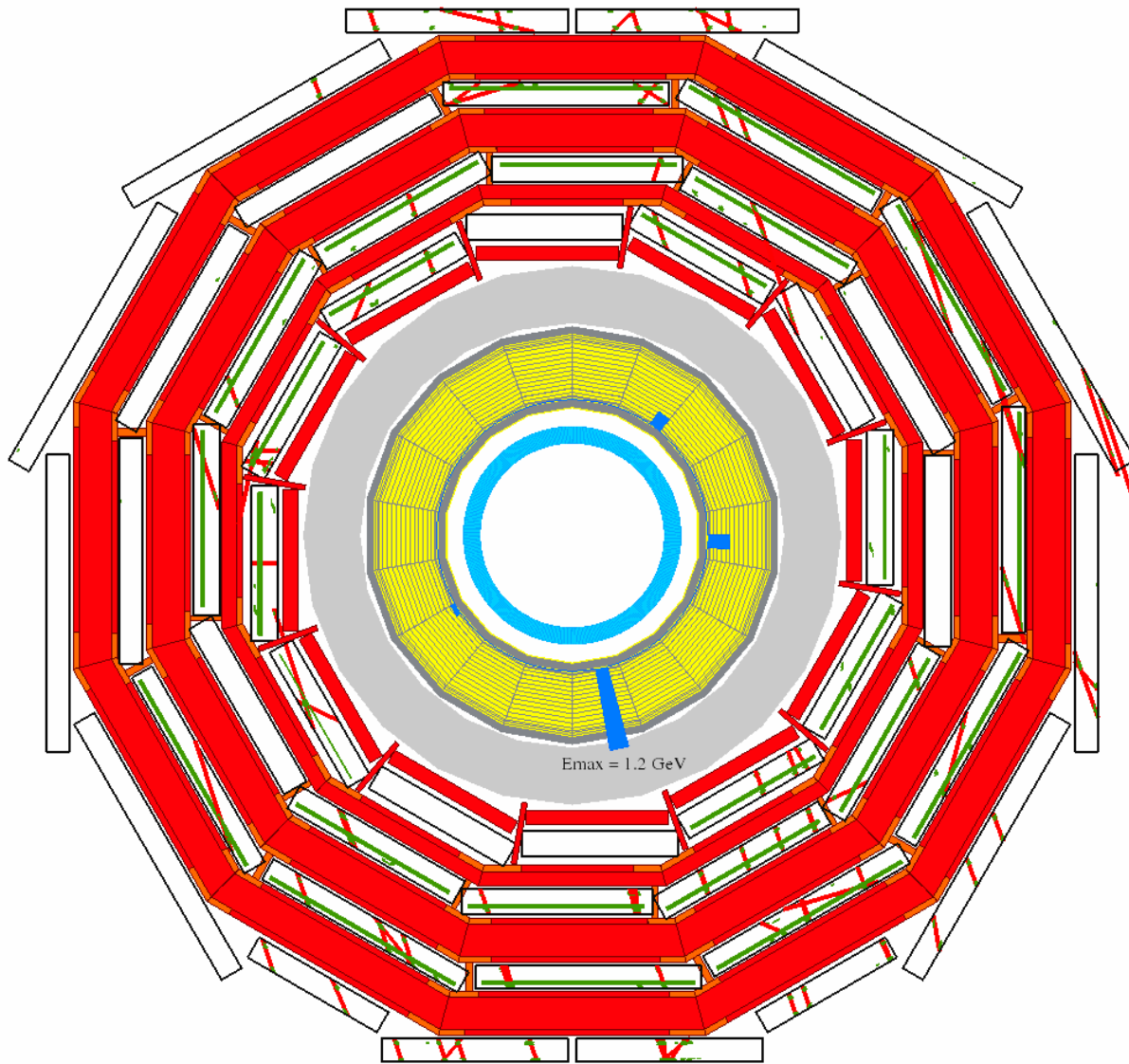
Einbau des Spurdetektors in CMS



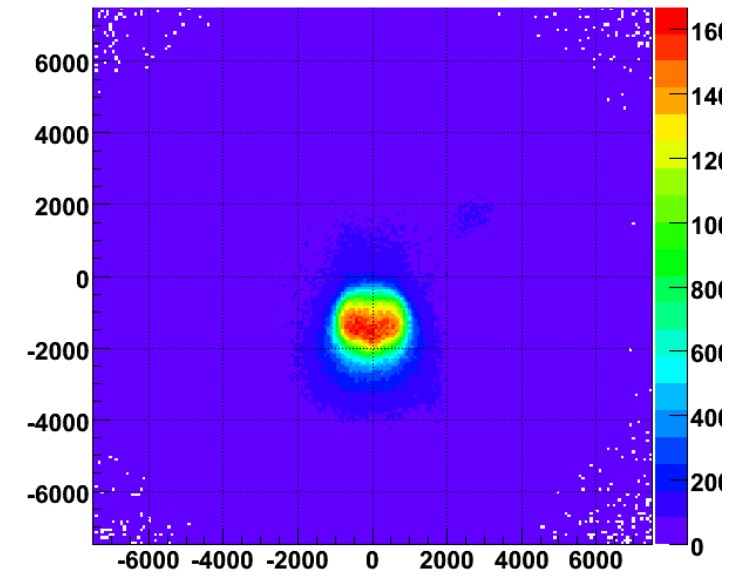
Dez. 2007



Myonen in der Kaverne

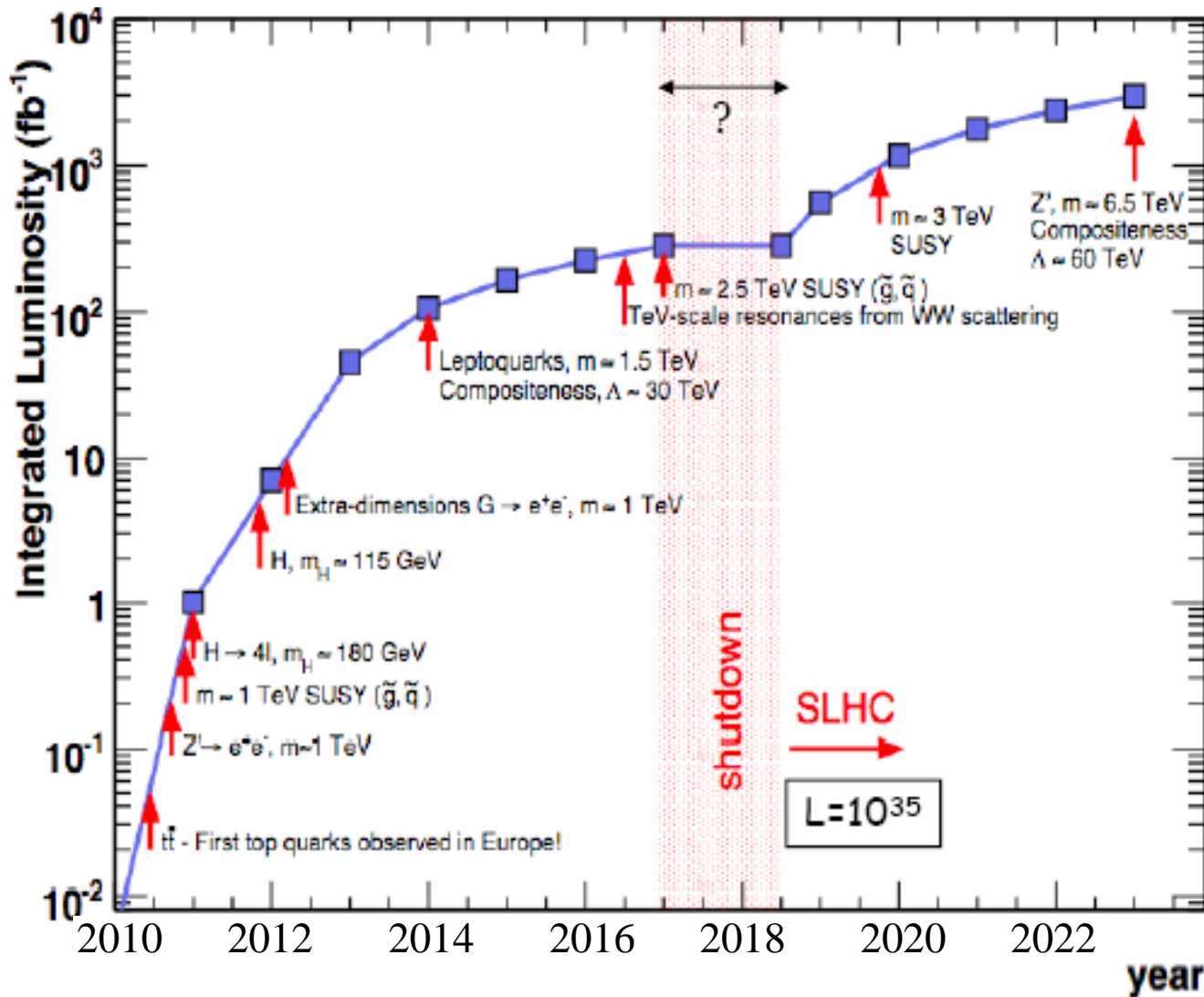


Myonspuren extrapoliert zum
Herkunftsort an der Erdoberfläche



Tomographie des Erdreichs !

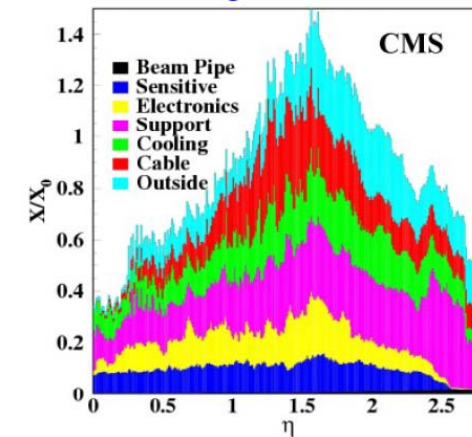
PLANUNG FÜR DIE ZUKUNFT



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!