

LHC - der neue Beschleuniger am CERN

Eine kleine Einführung für Nichtphysiker

Sven-Olaf Moch

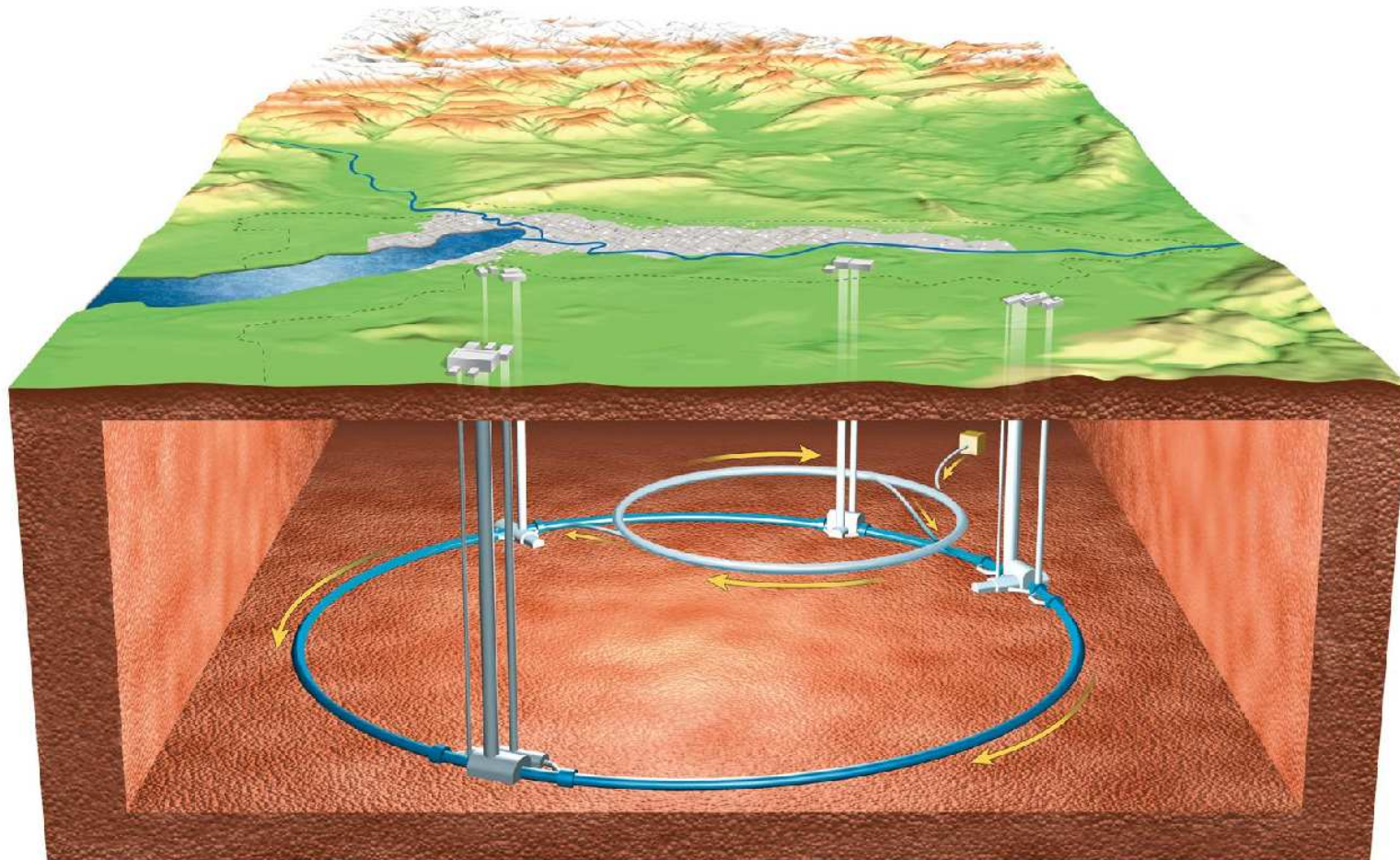
Sven-Olaf.Moch@desy.de

DESY, Zeuthen

Large Hadron Collider



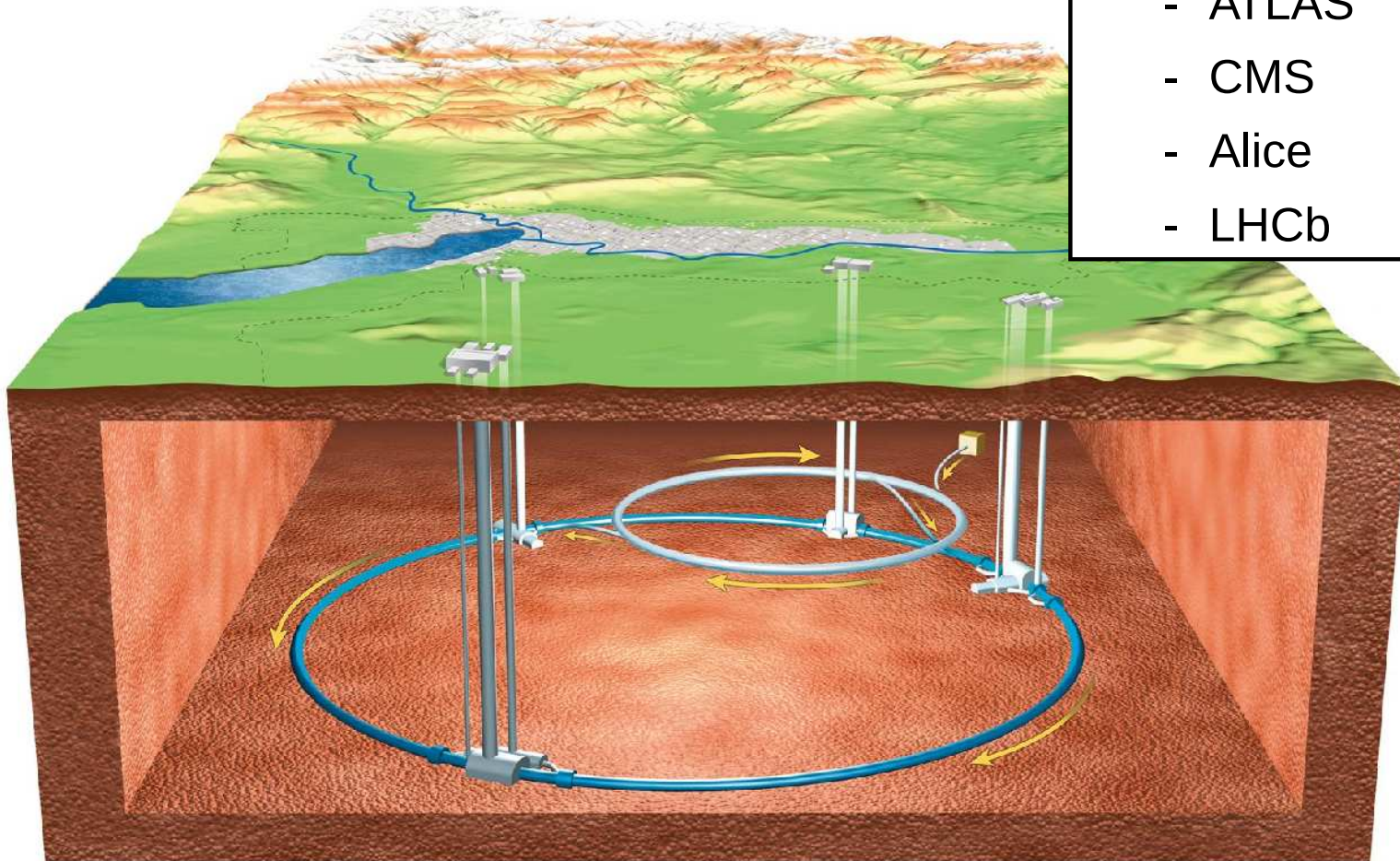
Modell des LHC



Modell des LHC

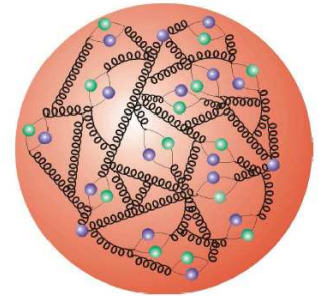
Experimente

- ATLAS
- CMS
- Alice
- LHCb



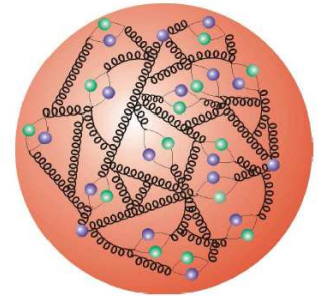
Höchste Energien an Beschleunigern bis 201x

- Proton–(Anti)-Proton Kollisionen
- Suche nach Higgs-Boson, neuen Teilchen bei höchsten Energien
 - Tevatron $\sqrt{S} = 2\text{TeV}$ (bis 2009), LHC mit $\sqrt{S} = 14\text{TeV}$
- Proton: sehr komplizierter Vielteilchen-Bindungszustand
- Beschleuniger: "wide-band beams" von Quarks und Gluons



Höchste Energien an Beschleunigern bis 201x

- Proton–(Anti)-Proton Kollisionen
- Suche nach Higgs-Boson, neuen Teilchen bei höchsten Energien
 - Tevatron $\sqrt{S} = 2\text{TeV}$ (bis 2009), LHC mit $\sqrt{S} = 14\text{TeV}$
- Proton: sehr komplizierter Vielteilchen-Bindungszustand
- Beschleuniger: "wide-band beams" von Quarks und Gluons



Beschleuniger

Speicherring für Protonen
Dipolmagnete (supraleitend)
"HERA-Technologie"

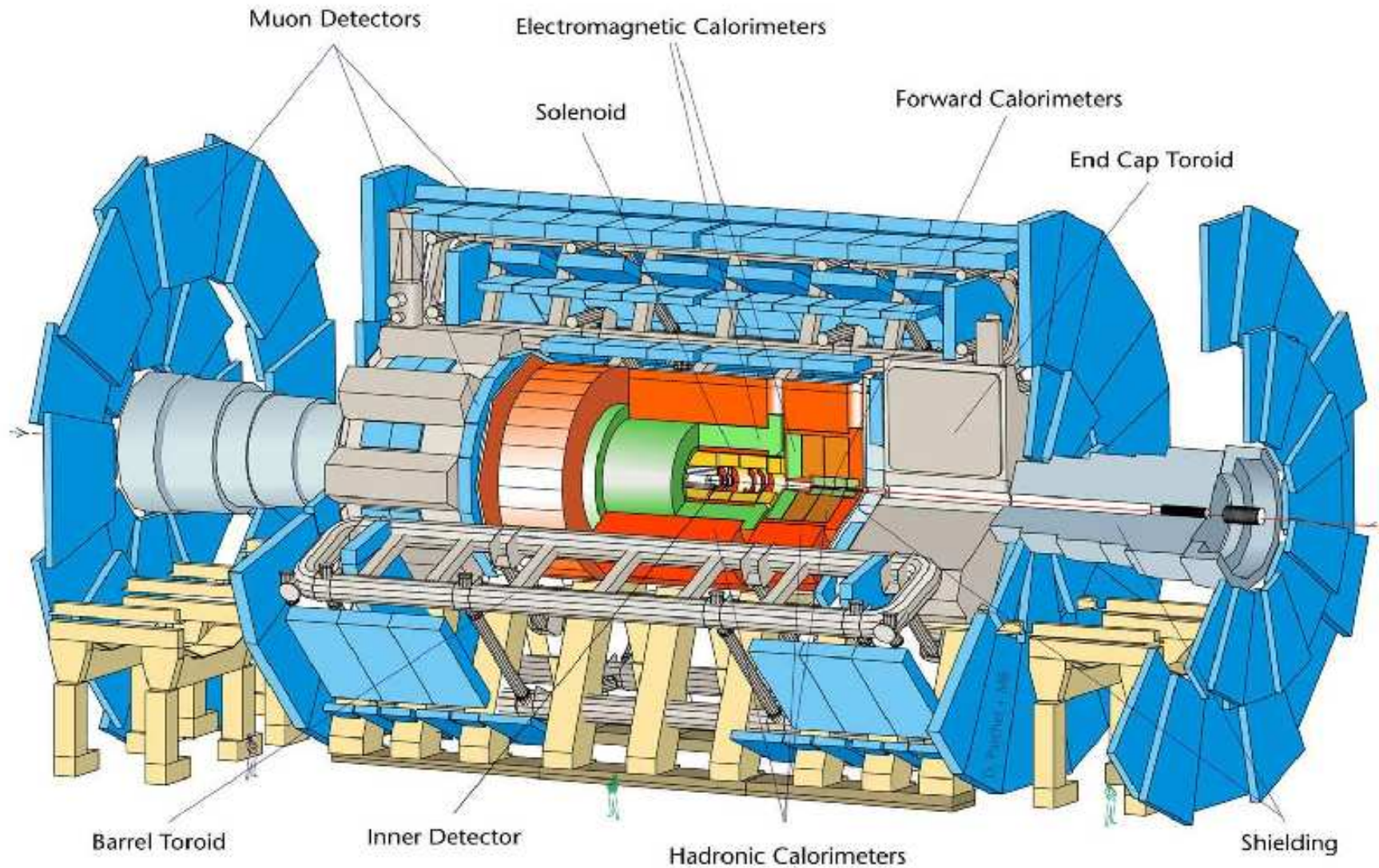


LHC Dipol-Magnete (cold masses)

- Montage der LHC Dipol-Magnete (Fertigstellung 07.11.2007)



ATLAS Detector

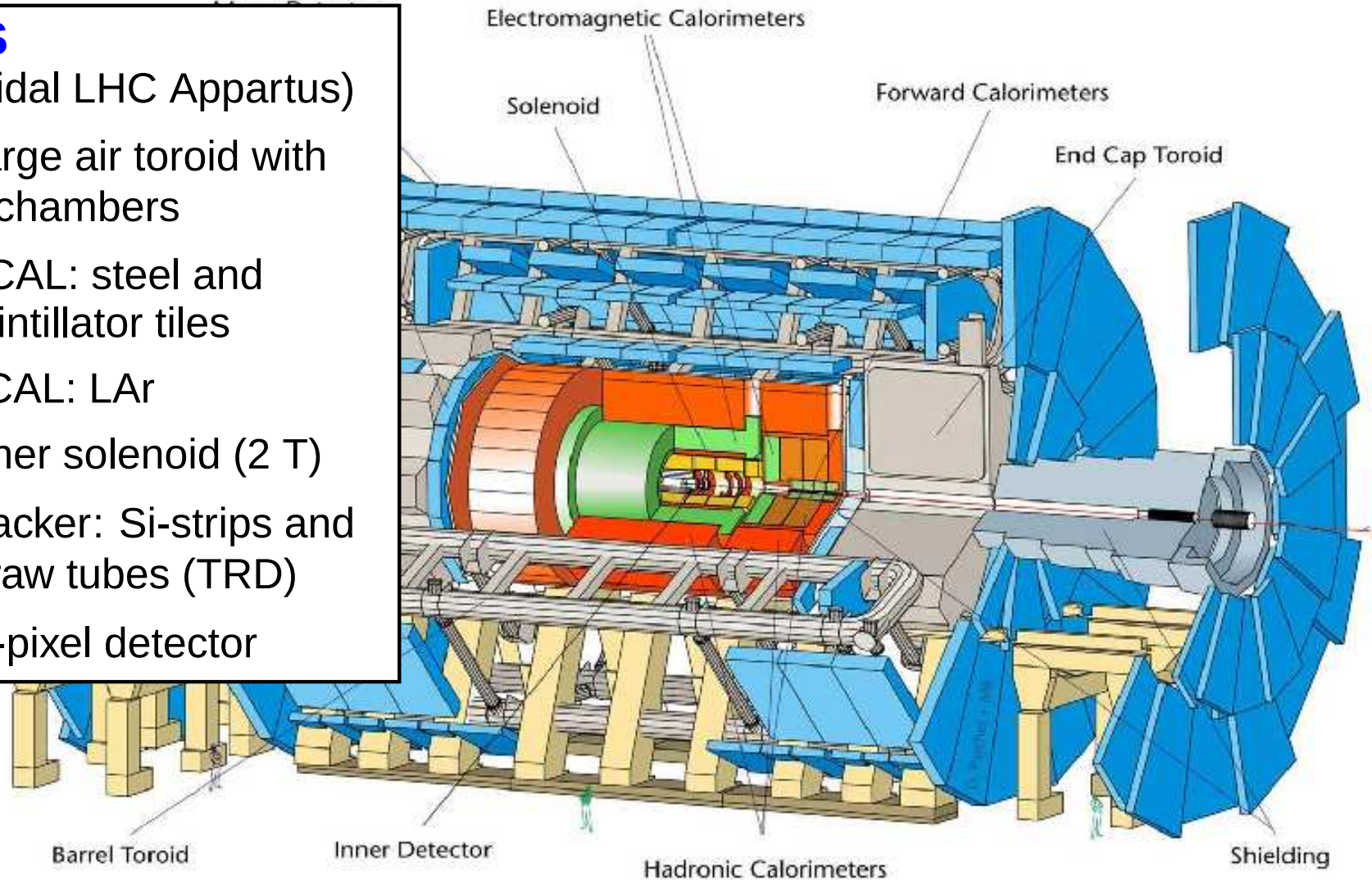


ATLAS Detector

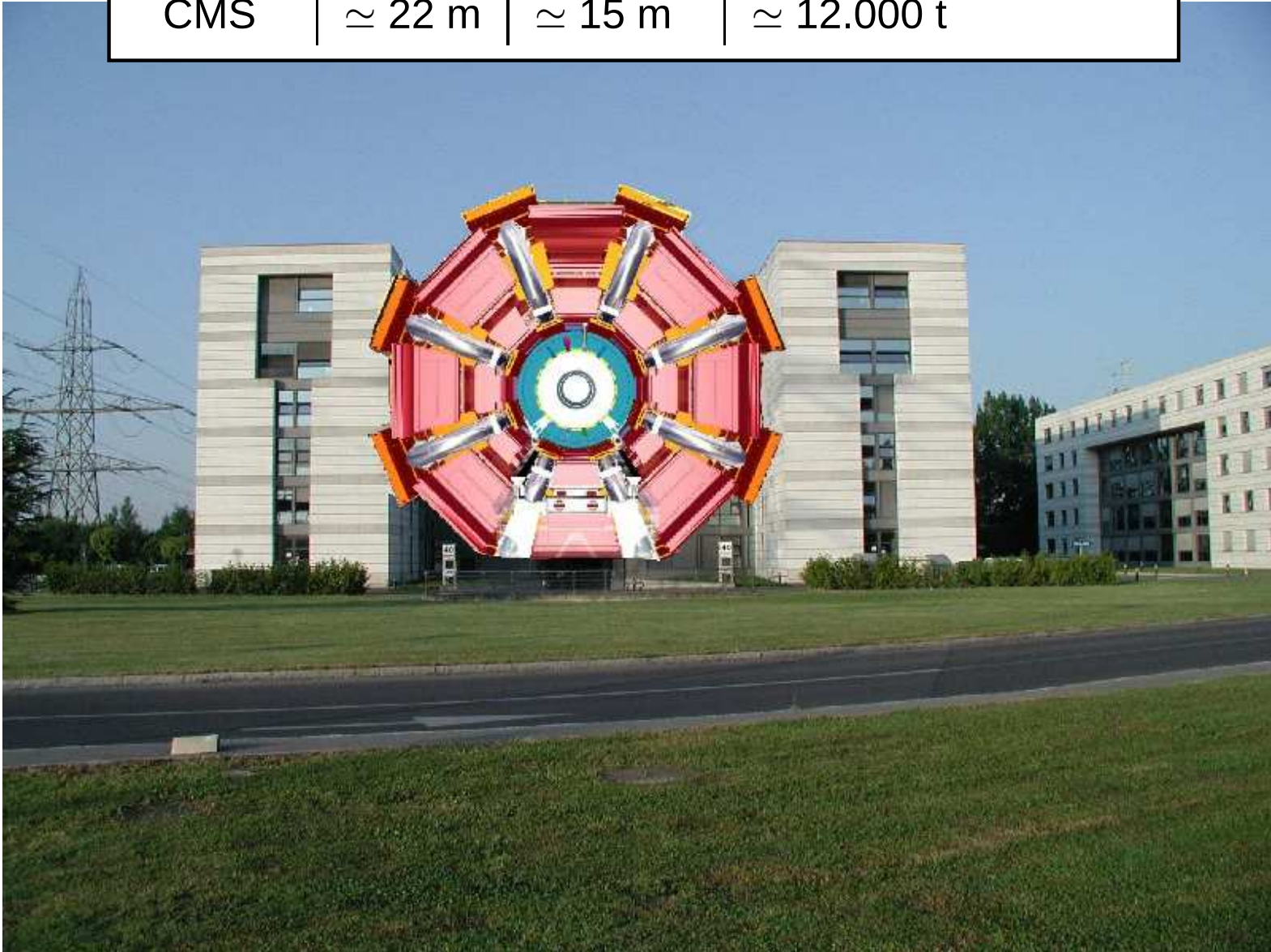
ATLAS

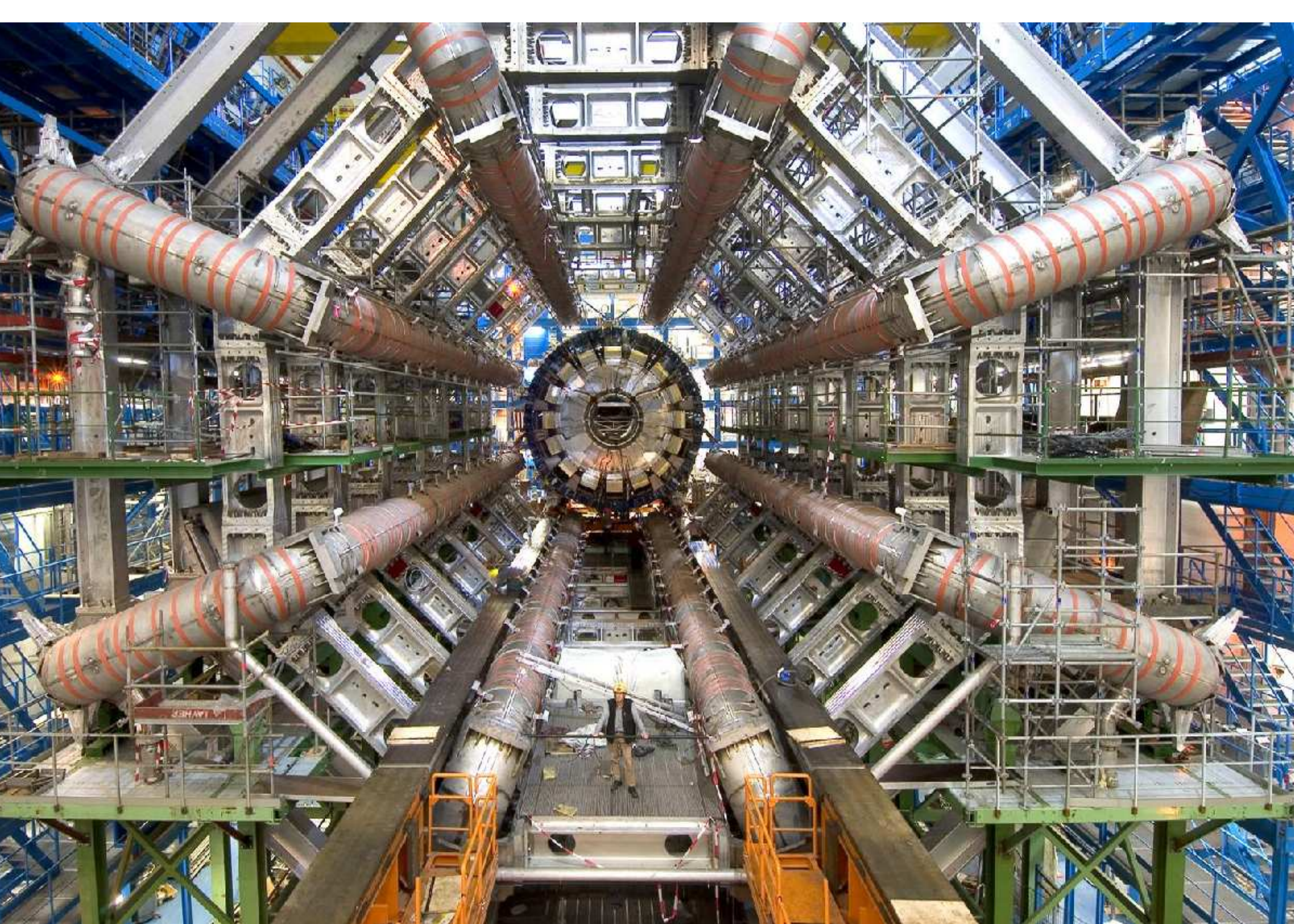
(A Toroidal LHC Apparatus)

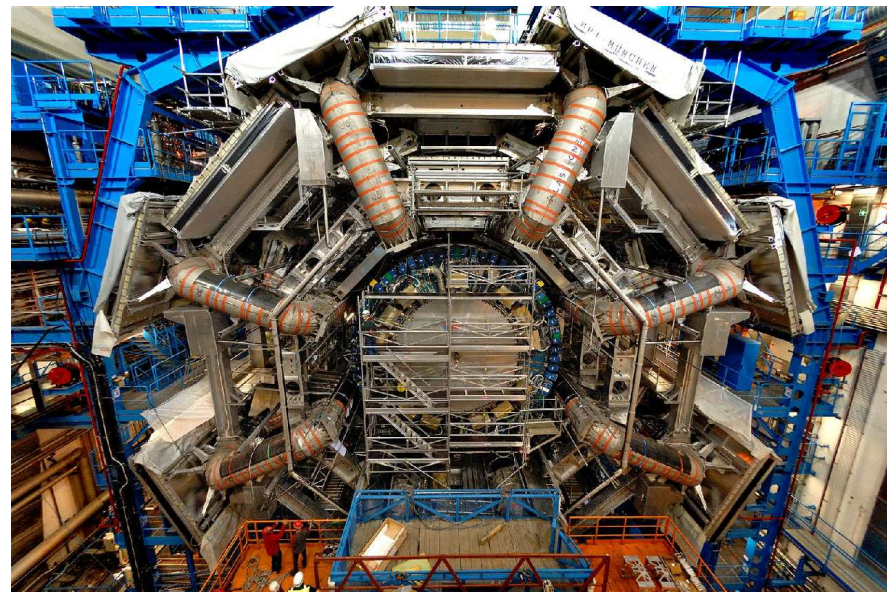
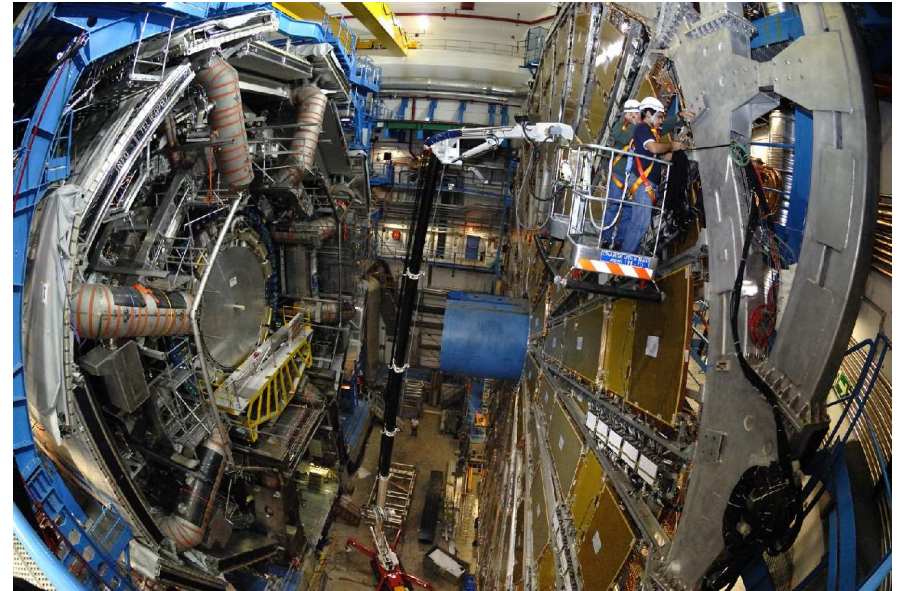
- Large air toroid with μ -chambers
- HCAL: steel and scintillator tiles
- ECAL: LAr
- Inner solenoid (2 T)
- Tracker: Si-strips and straw tubes (TRD)
- Si-pixel detector



	length	diameter	weight
ATLAS	$\simeq 46$ m	$\simeq 25$ m	$\simeq 7.000$ t
CMS	$\simeq 22$ m	$\simeq 15$ m	$\simeq 12.000$ t



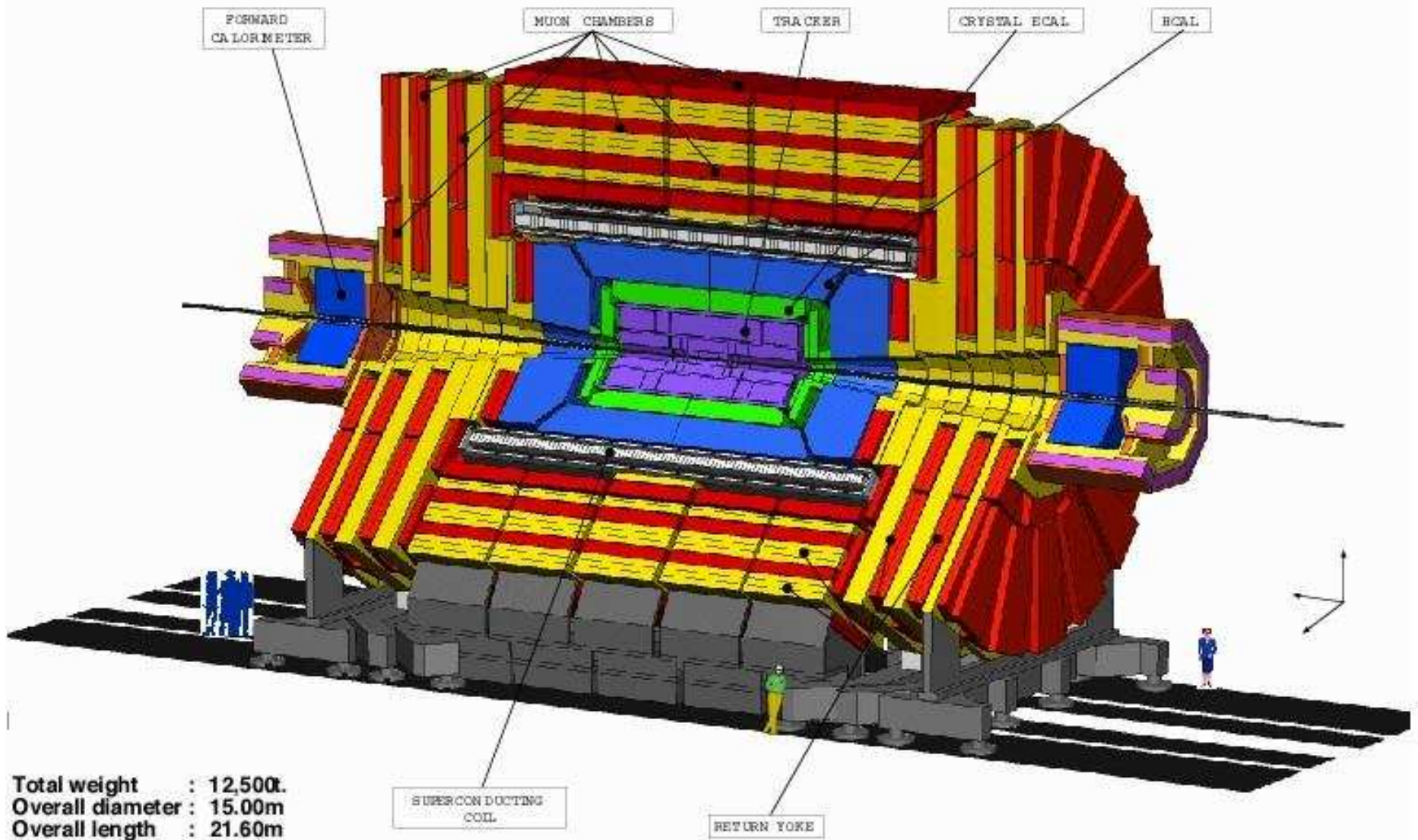




ATLAS

Installation des Detektors
vor Ort

CMS Detector

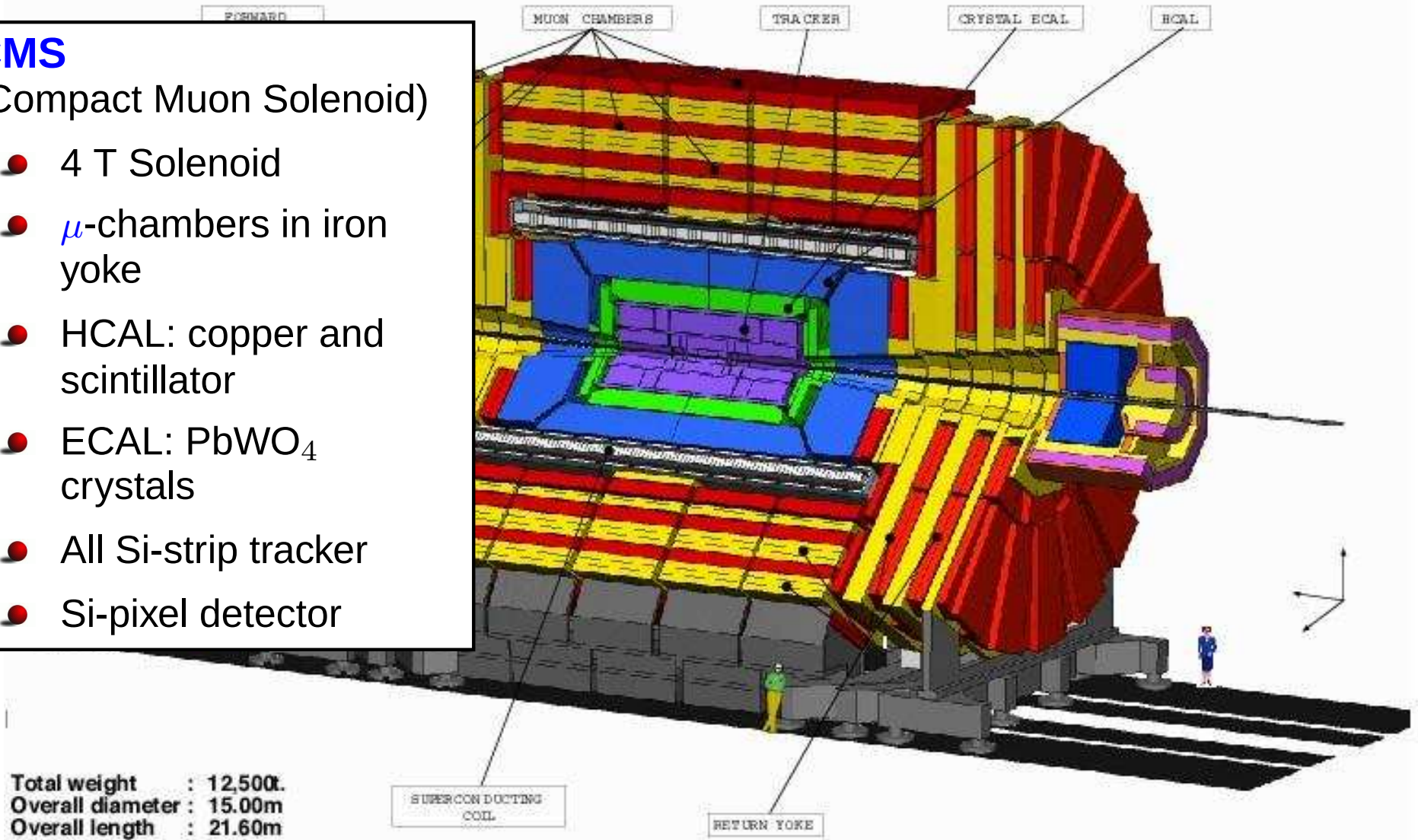


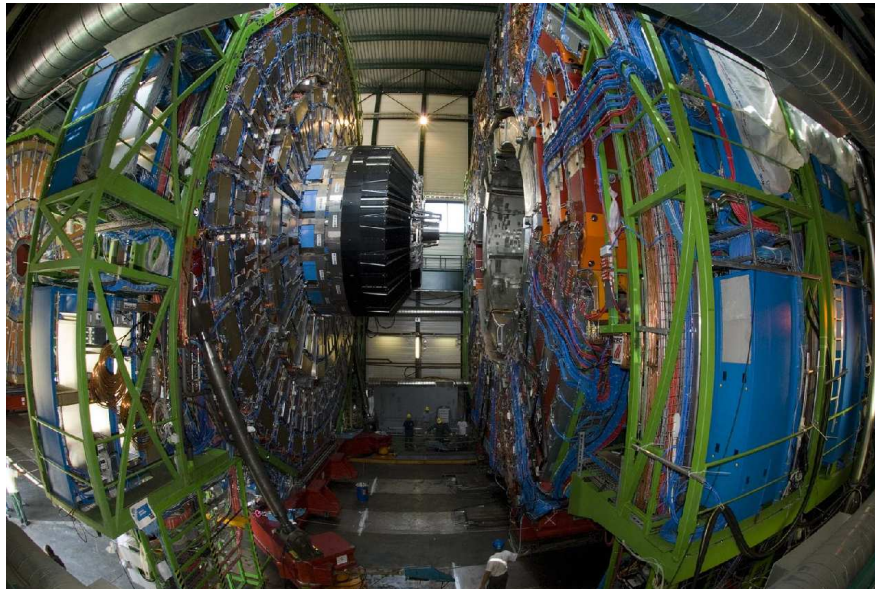
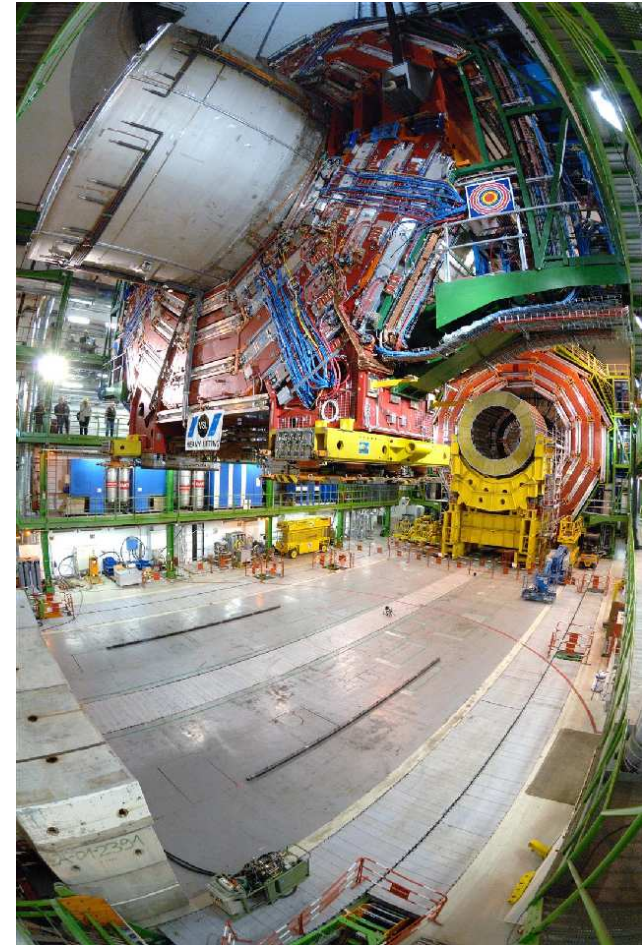
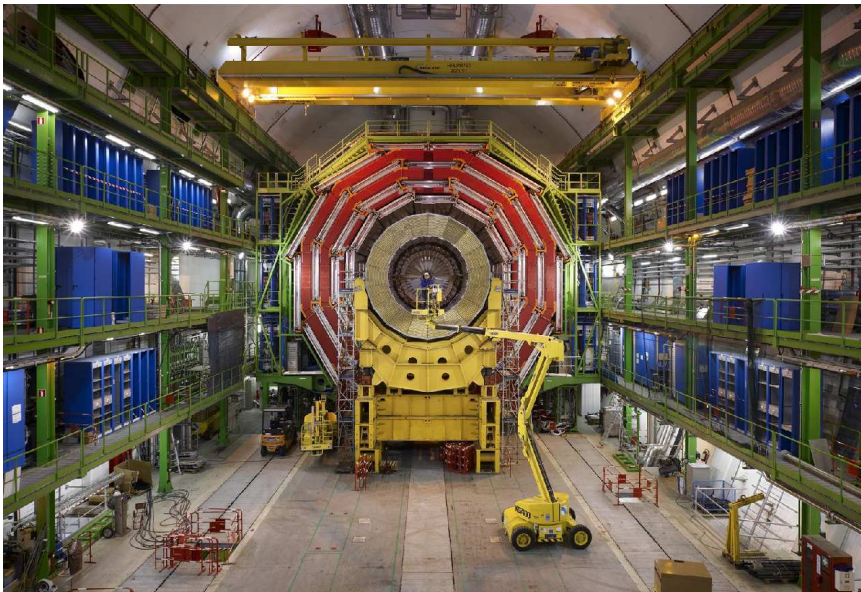
CMS Detector

CMS

(Compact Muon Solenoid)

- 4 T Solenoid
- μ -chambers in iron yoke
- HCAL: copper and scintillator
- ECAL: PbWO_4 crystals
- All Si-strip tracker
- Si-pixel detector



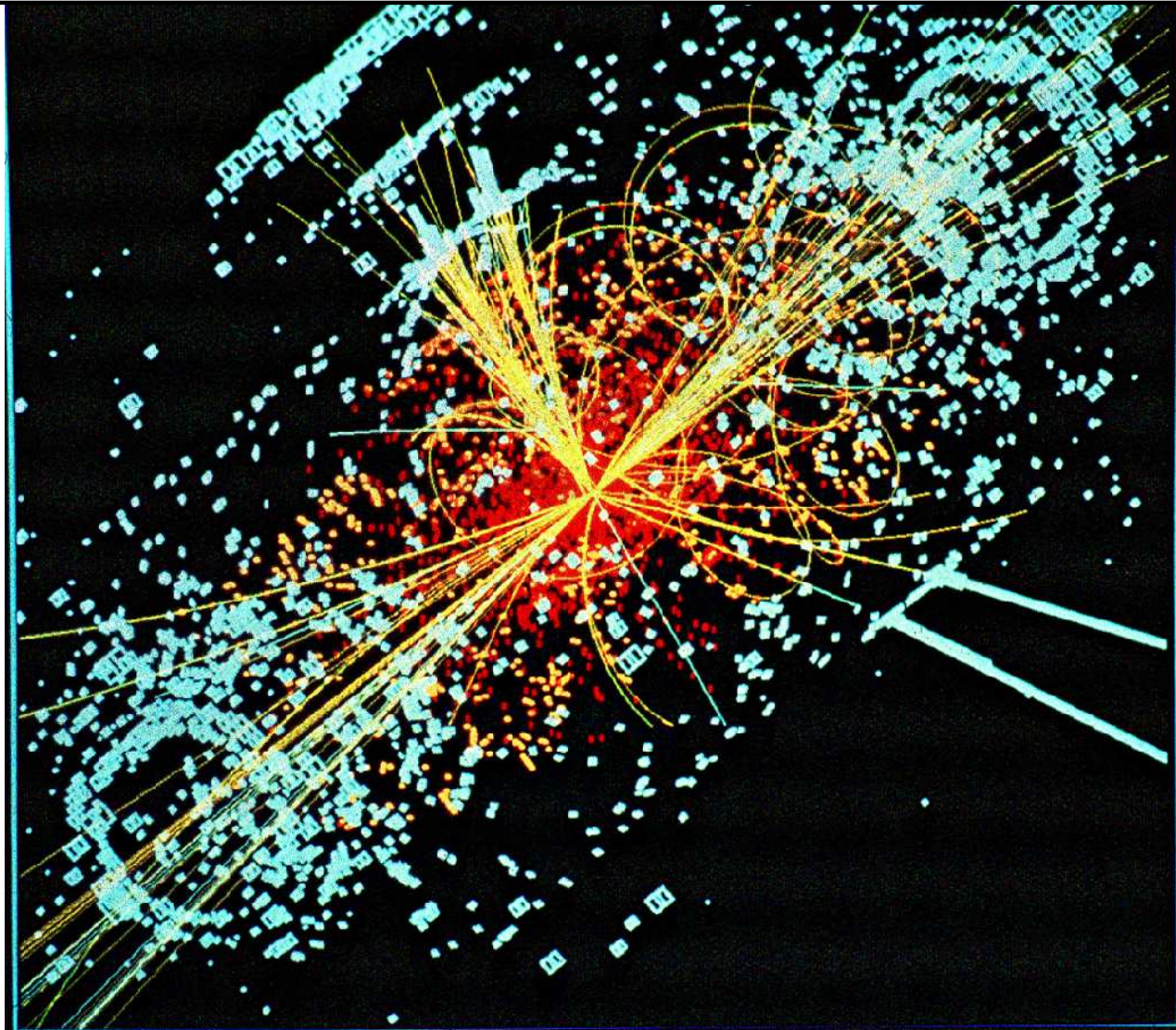


CMS

Montage des Detektors
oberirdisch und Herablassen
in zwei Teilen

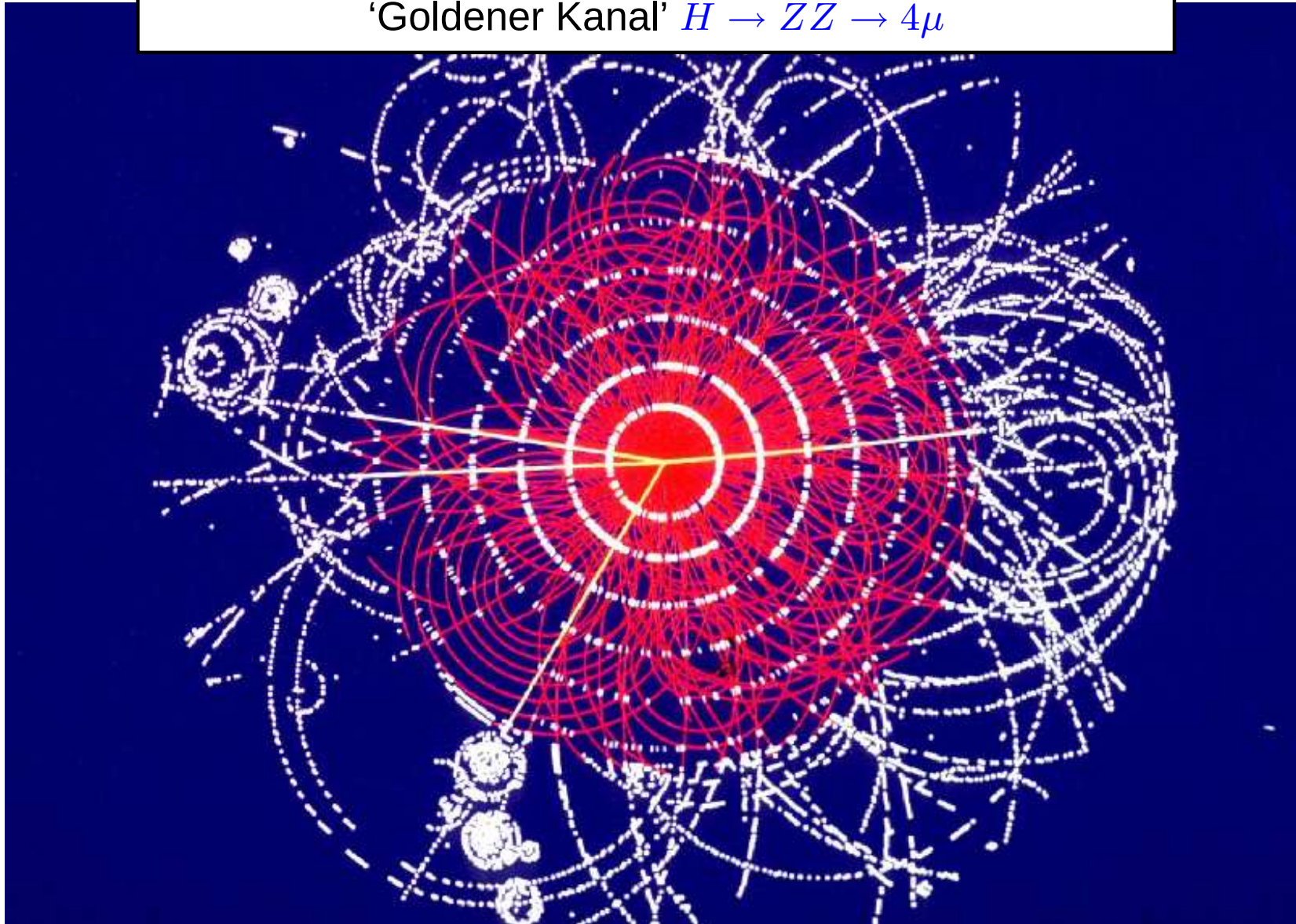
Higgs Suche

Kanal $H \rightarrow ee + 2 \text{ jets}$



Higgs Suche

‘Goldener Kanal’ $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$



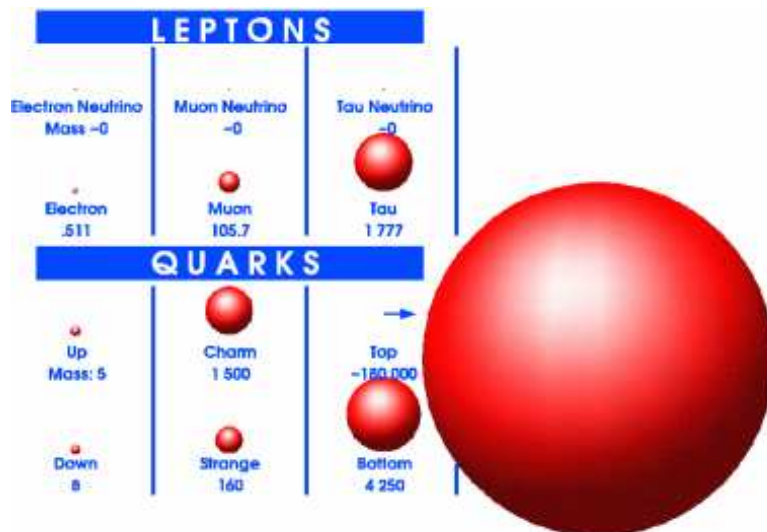
Theorie der Elementarteilchen

- Elementarteilchen
 - Fermionen (Leptonen, Quarks)
(Bausteine der Materie)
 - Bosonen
(Austauschteilchen der Kräfte)

Elementary Particles						
Quarks	<i>u</i> up	<i>c</i> charm	<i>t</i> top	<i>g</i> gluon	Force Carriers	
	<i>d</i> down	<i>s</i> strange	<i>b</i> bottom	<i>γ</i> photon		
Leptons	<i>ν_e</i> <i>e</i> neutrino	<i>ν_μ</i> <i>μ</i> neutrino	<i>ν_τ</i> <i>τ</i> neutrino	<i>W</i> <i>W</i> boson		
	<i>e</i> electron	<i>μ</i> muon	<i>τ</i> tau	<i>Z</i> <i>Z</i> boson		
3 → I II III ← Generations						

Theorie der Elementarteilchen

- Elementarteilchen
 - Fermionen (Leptonen, Quarks)
(Bausteine der Materie)
 - Bosonen
(Austauschteilchen der Kräfte)
- Massen der Fermionen



Elementary Particles						
Quarks	u up	c charm	t top	g gluon	Force Carriers	
	d down	s strange	b bottom	γ photon		
Leptons	ν_e e neutrino	ν_μ μ neutrino	ν_τ τ neutrino	W W boson		
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson		
3 $\rightarrow$ I II III $\leftarrow$ Generations						

Quantenchromodynamik

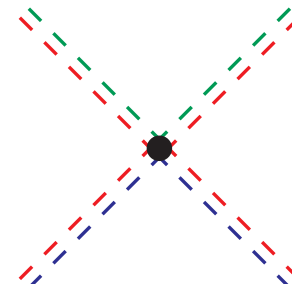
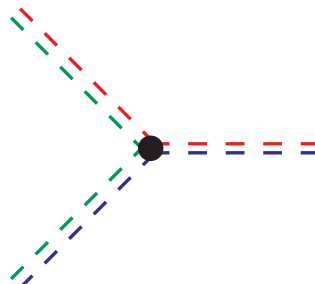
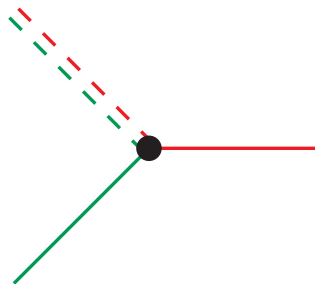
- Fundamentale Kräfte: Quantenfelder mit Eichsymmetrien
- Starke Wechselwirkung: Farb- $SU(3)$
 - Quarks (Antiquarks): 6 Spin-1/2 Flavors in 3 Farben

$$\begin{bmatrix} u_B \\ u_G \\ u_R \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} d_B \\ d_G \\ d_R \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} s_B \\ s_G \\ s_R \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} c_B \\ c_G \\ c_R \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} b_B \\ b_G \\ b_R \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} t_B \\ t_G \\ t_R \end{bmatrix}$$

- Gluonen: 8 Spin-1 Farb-Antifarb-Kombinationen

$$g_{B\bar{G}}, g_{R\bar{B}}, g_{G\bar{R}}, \dots, g_{B\bar{B}-G\bar{G}}, g_{B\bar{B}+G\bar{G}-2R\bar{R}}$$

- Wechselwirkungen: Feynman-Diagramme



Higgs Boson

explain it in 60 seconds



- Wir vermuten
 - Higgs Boson ist Schlüssel zum Verständnis vom Ursprung der Masse
 - Vakuum hat nicht-triviale Struktur (Higgs Quantenfeld)
 - Wechselwirkung mit Higgs Boson führt zu effektiver Masse von Elementarteilchen

Higgs Mechanismus



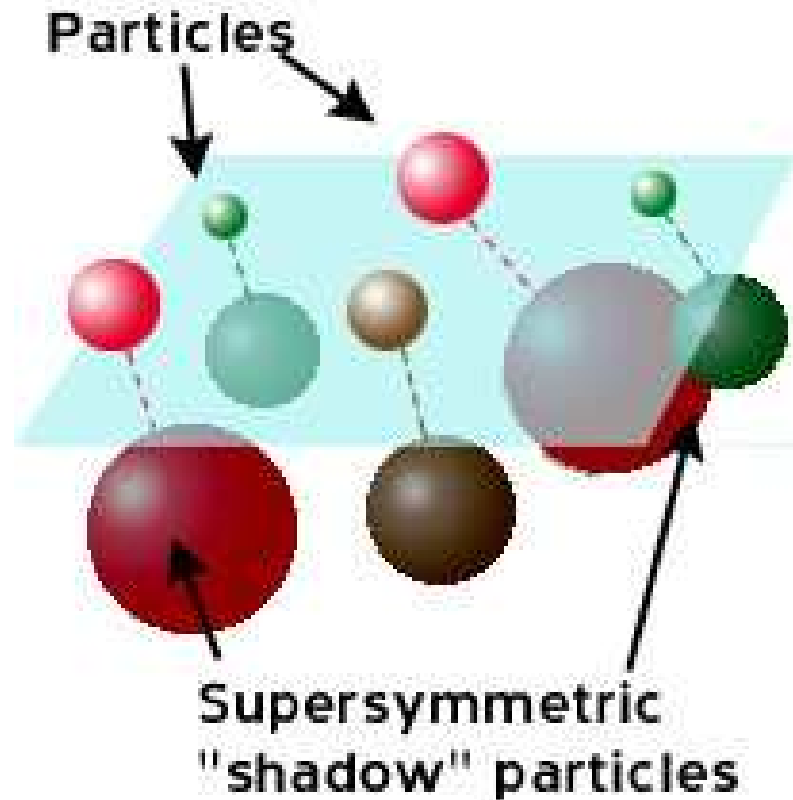
The Waldegrave Higgs Challenge (1993)

story: David Miller

cartoons: Georges Boixader

Supersymmetrie

- Supersymmetrie postuliert zu jedem Elementarteilchen einen Superpartner
- Symmetrie zwischen Fermionen und Bosonen
 - Beispiel:
Superpartner von Elektron (Fermion) ist Selektron (Boson)
 - Superpartner gegenwärtig nicht sichtbar



Zusammenfassung

- Hadronbeschleuniger LHC eröffnet ab 2008 neue Ära der Hochenergiephysik (“energy frontier”)
- Standard Modell ist Grundlage für neue Entdeckungen bei LHC
 - Higgs-Boson
 - Supersymmetrie
 - Dunkle Materie
 - ...
- Weitere Informationen
www.cern.ch