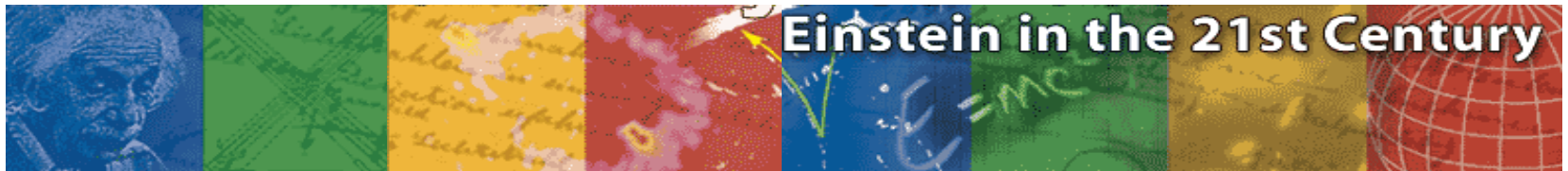


Aktuelle Forschung in Berlin/Brandenburg



Dr. Martin zur Nedden
Humboldt-Universität zu Berlin



CERN-Masterclass "Hands on Particle Physics": Tagesprogramm

- 10.00: **Begrüßung**
- 10.30 – 12.30: **Vorträge**
 - 10.30: Ein Universum voller Teilchen (M. zur Nedden)
Einführung in die Teilchenphysik
 - 11.45: Das Unsichtbare sichtbar machen (U. Schwanke)
Detektoren und Wechselwirkung von Teilchen mit Materie
- 12.30 – 13.30: **Mittagessen (Oase)**
- 13.30 – 14.45: **PC-Übung**
- 14.45 – 15.00: **Pause**
- 15.00 – 16.15: **Vorträge:** Elementarteilchenphysik in Berlin und Brandenburg
 - Von Berlin nach Genf, Afrika und zum Südpol
- 16.30 – 18.00: **Europaweite Videokonferenz (Schüler)**
Diskussion über Teilchenphysik an der Schule (Lehrer)
- 18.00: **Ende**

Teilchenphysik in Berlin/Brandenburg

Experimente an Beschleunigern:

- CERN in Genf
 - Experiment ATLAS am pp-Speicherring LHC
- Enge Zusammenarbeit mit DESY Zeuthen

Teilchenphysik in Berlin/Brandenburg

Experimente der Astroteilchenphysik:

- **Hochenergetische Gamma-Strahlung**
 - **Experiment H.E.S.S. in Namibia**
- **Neutrino-Astrophysik**
 - **Experiment Amanda/Ice Cube
am Südpol**
- **Enge Zusammenarbeit mit DESY Zeuthen**

Offene Fragen

Das Standard-Modell der Teilchenphysik hat bis jetzt allen experimentellen Tests standgehalten.

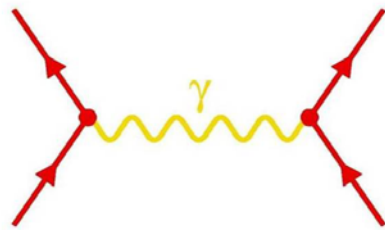
Dennoch ist vieles unverstanden:

- Woher kommt die Masse (**Higgs-Teilchen**)?
- Gibt es **eine fundamentale Kraft**?
- Welche **Symmetrie** liegt unserer Welt zugrunde?
- Gibt es **zusätzliche Dimensionen**?
- Kennen wir alle Teilchen (**Supersymmetrie**)?

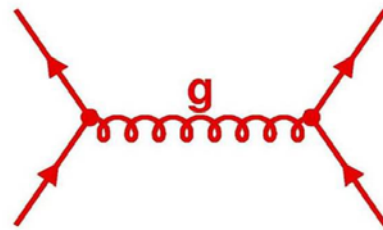
Um Neues zu entdecken, muss man neue Dinge tun:

Der ***Large Hadron Collider*** (Proton-Proton) mit den Experimenten ***ATLAS*** und ***CMS*** am Europäischen Forschungszentrum ***CERN*** in Genf

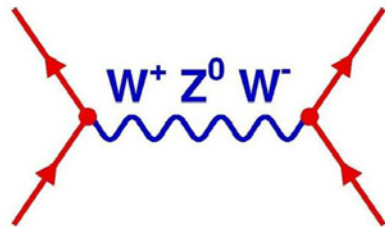
Ursprung der Masse: Higgs-Teilchen



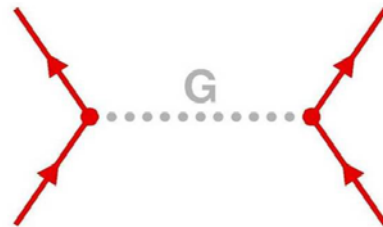
elektromagn. Kraft



starke Kraft



schwache Kraft



Gravitation

Hatten gesehen:

- perfekte Symmetrie ohne Masse
- Kräfte beschreibbar durch Symmetrien:

Forderung: **Austauschteilchen müssen masselos sein**

Erfüllt für **Photon** und **Gluon**,
Aber nicht für **W- und Z-Bosonen**

Konsequenz: → Symmetrie muss gebrochen sein ←

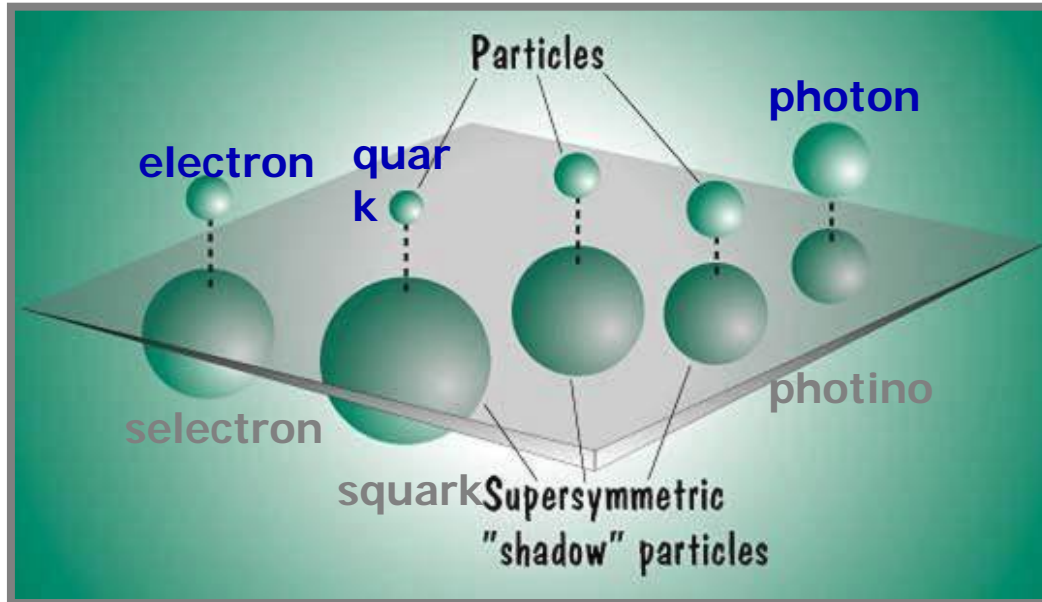
- Symmetriebrechung erzeugt neues, massives Feld: **Higgs-Feld**
- Konsequenz der Symmetrie-Brechung: **W- und Z-Bosonen** werden massiv
- Erzeugung von Massen durch Kopplung an das Higgs-Feld
- Teil des Standard-Modelles, noch nicht entdeckt

Erweiterung des Standard-Modells

Super-Symmetrie

Fermion

Boson



Boson

Fermion

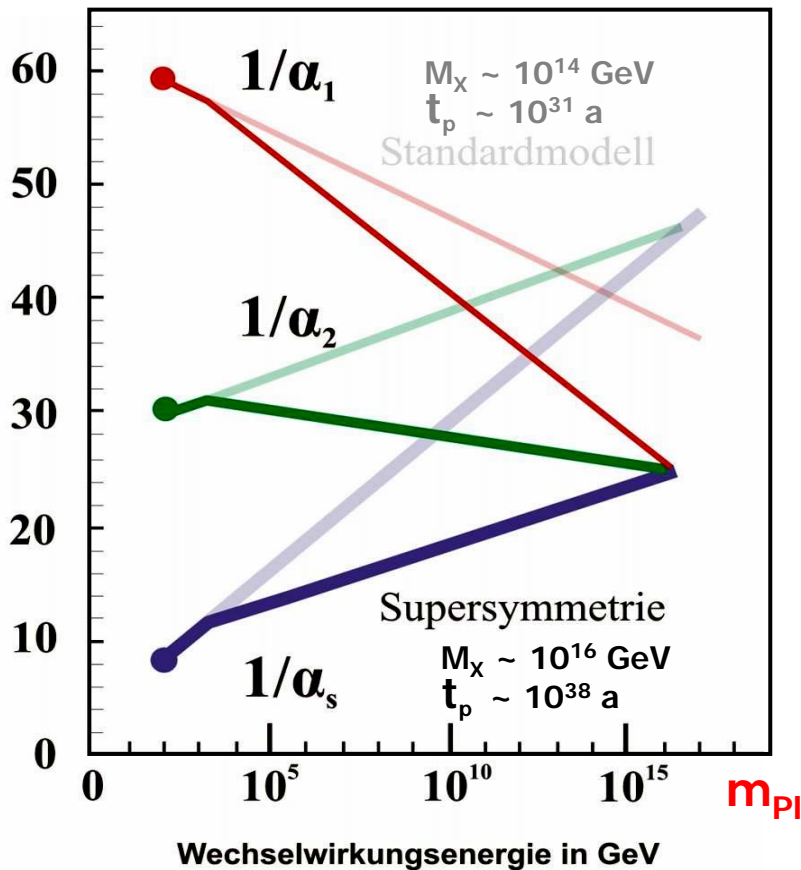
Super-Symmetrie

vereinigt

Bosonen mit Fermionen
Kraft mit Materie

Supersymmetrie

Vereinigt die Grundkräfte und liefert



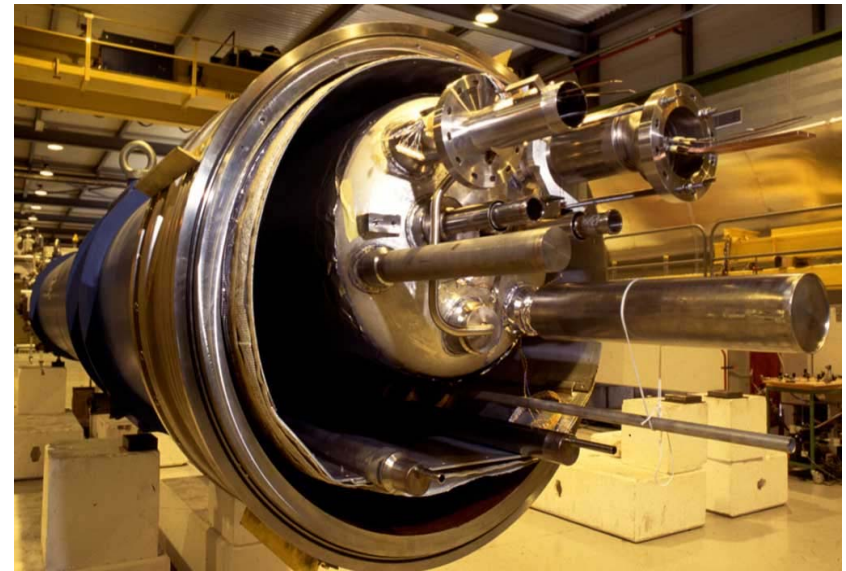
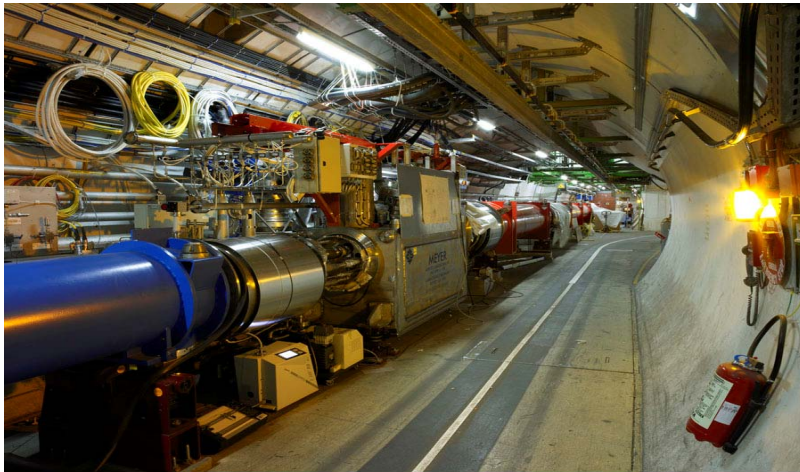
- einen Vereinigungs-Punkt bei $M_x = 2 \cdot 10^{16}$ GeV !
- Proton-Lebensdauer $>$ expt. Grenze
- leichtestes SUSY-Teilchen Dunkle Materie im Universum !
- beseitigt mathemat. Inkonsistenzen in der Theorie

Wozu den LHC?

- Steigerung der Schwerpunktsenergie (Energie, die zur Erzeugung neuer Teilchen zur Verfügung steht) von **2000 GeV** auf **14000 GeV**
- Erlaubt die **Entdeckung neuer Teilchen** sowie den Zugang in bislang **unerforschte Bereiche im Standardmodell** der Teilchenphysik:
 - Higgs (Standardmodell)
 - Supersymmetrische Teilchen (Erweiterung des Standardmodells)
- Enorme Steigerung der Luminosität (ein Maß für die Rate der Teilchenkollisionen) um **einen Faktor 100**

Herausforderungen beim LHC

- Strahlen enthalten viele Protonen bei sehr hoher Energie: **extrem gute Kontrolle notwendig**
- Magnete:
 - sehr große Felder (**9 Tesla**) notwendig: Supraleitung!
 - LEP-Tunnel: kompakte Bauweise
 - komplett neues Design!



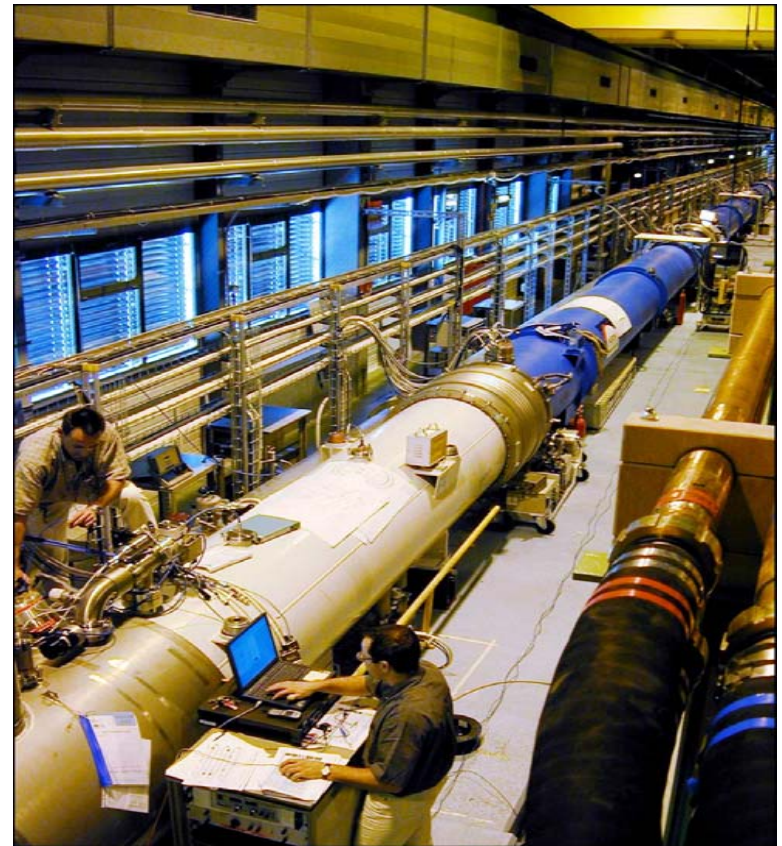
Das Forschungszentrum CERN in Genf



Die Magnete des LHC

8.4 Tesla

Erstes komplettes LHC Element (~ 120 m) :
6 Dipole + 4 Quadrupole
Erfolgreicher Test bei voller Leistung (12 kA)



Installation des LHC



Magnete werden
- abgesenkt
- transportiert
- verbunden



Tests der Dipole im Tunnel

Installationsrate:
Max. 20 Dipole pro Woche

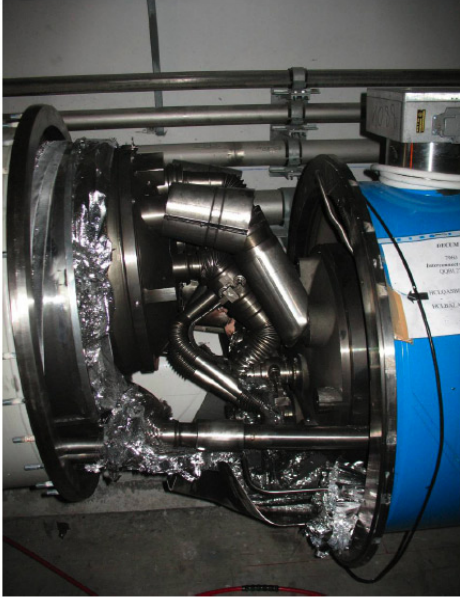
- Installation abgeschlossen zu Beginn 2008
- Erfolgreiche Hochstromtests
 - Unfall bei einer Verbindung im September 2008



Dipol-Verbindungen



Unfall September 2008



Reparatur und Verbesserung der Sicherheit und Überwachungssysteme verursachte 1 Jahr Verspätung



Während der Hochstromtests:

Kleiner Widerstand ($\sim n\Omega$) zwischen zwei Magneten verursachte einen Quench

→ flüssiges Helium verdampfte zu schnell

→ Sicherheitsventil zu klein

→ ca. 3 t Helium wurden in den Tunnel geblasen

ATLAS: weltweite Kollaboration

(Status 2008)

35 Länder

194 Institute

2100 Wissenschaftler

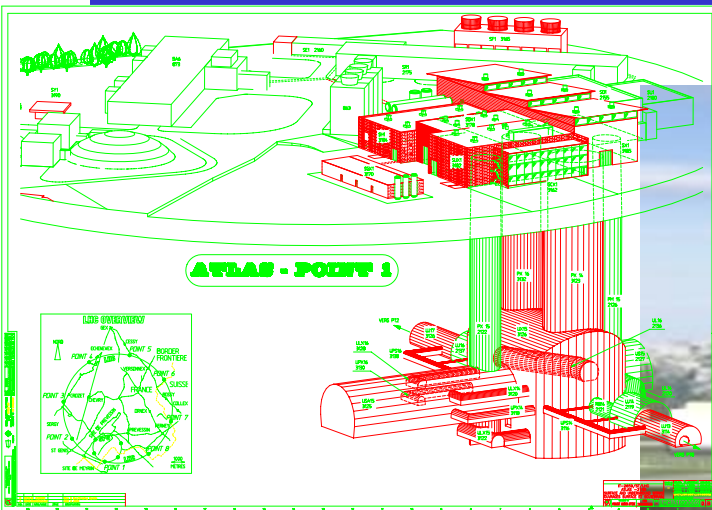


Albany, Alberta, NIKHEF Amsterdam, Ankara, LAPP Anney, Argonne NL, Arizona, UT Arlington, Athens, NTU Athens, Baku, IFAE Barcelona, Belgrade, Bergen, Berkeley LBL and UC, Bern, Birmingham, Bologna, Bonn, Boston, Brandeis, Bratislava/SAS Kosice, Brookhaven NL, Bucharest, Cambridge, Carleton, Casablanca/Rabat, CERN, Chinese Cluster, Chicago, Clermont-Ferrand, Columbia, NBI Copenhagen, Cosenza, INP Cracow, FPNT Cracow, Dortmund, JINR Dubna, Duke, Frascati, Freiburg, Geneva, Genoa, Glasgow, LPSC Grenoble, Technion Haifa, Hampton, Harvard, Heidelberg, Hiroshima, Hiroshima IT, Indiana, Innsbruck, Iowa SU, Irvine UC, Istanbul Bogazici, KEK, Kobe, Kyoto, Kyoto UE, Lancaster, Lecce, Lisbon LIP, Liverpool, Ljubljana, QMW London, RHBNC London, UC London, Lund, UA Madrid, Mainz, Manchester, Mannheim, CPPM Marseille, Massachusetts, MIT, Melbourne, Michigan, Michigan SU, Milano, Minsk NAS, Minsk NCPHEP, Montreal, McGill Montreal, FIAN Moscow, ITEP Moscow, MEPHI Moscow, MSU Moscow, Munich LMU, MPI Munich, Nagasaki IAS, Naples, Naruto UE, New Mexico, Nijmegen, BINP Novosibirsk, Ohio SU, Okayama, Oklahoma, LAL Orsay, Osaka, Oslo, Oxford, Paris VI and VII, Pavia, Pennsylvania, Pisa, Pittsburgh, CAS Prague, CU Prague, TU Prague, IHEP Protvino, Ritsumeikan, UFRJ Rio de Janeiro, Rochester, Rome I, Rome II, Rome III, Rutherford Appleton Laboratory, DAPNIA Saclay, Santa Cruz UC, Sheffield, Shinshu, Siegen, Simon Fraser Burnaby, Southern Methodist Dallas, NPI Petersburg, Stockholm, KTH Stockholm, Stony Brook, Sydney, AS Taipei, Tbilisi, Tel Aviv, Thessaloniki, Tokyo ICEPP, Tokyo MU, Toronto, TRIUMF, Tsukuba, Tufts, Udine, Uppsala, Urbana UI, Valencia, UBC Vancouver, Victoria, Washington, Weizmann Rehovot, Wisconsin, Wuppertal, Yale, Yerevan

Ein Teil der ATLAS-Kollaboration

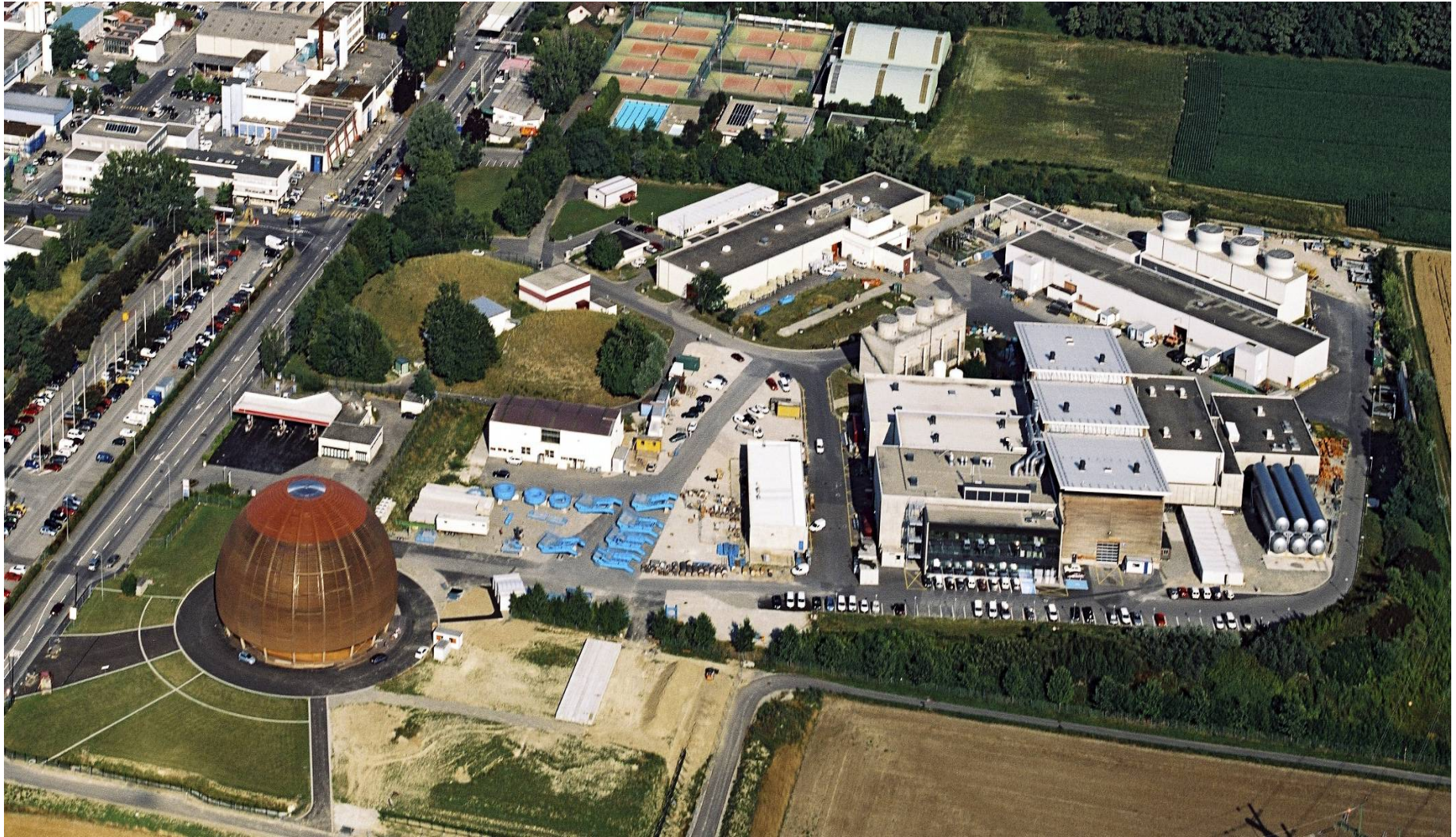


Die unterirdische Kaverne des ATLAS Detektors

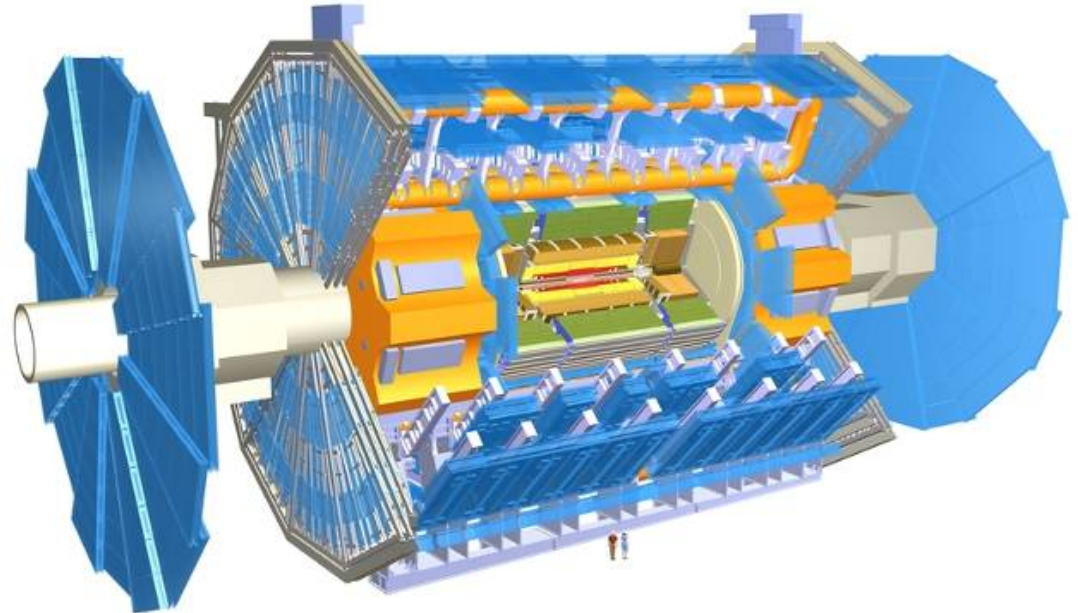


Länge = 55 m
Breite = 32 m
Höhe = 35 m
Tiefe = 100 m

Das ATLAS-Areal überirdisch gesehen



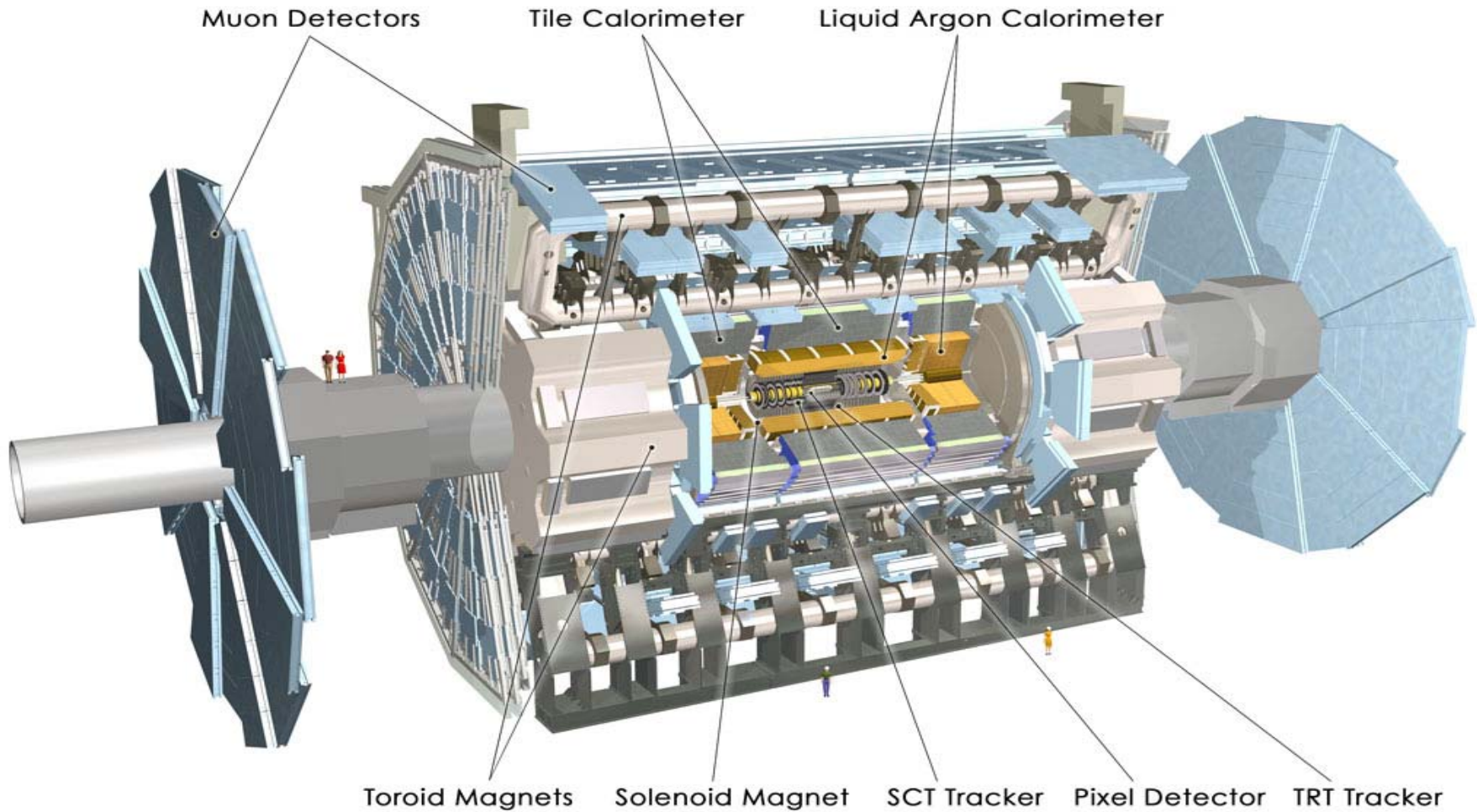
Der Atlas Detektor hat unerreichte Größe



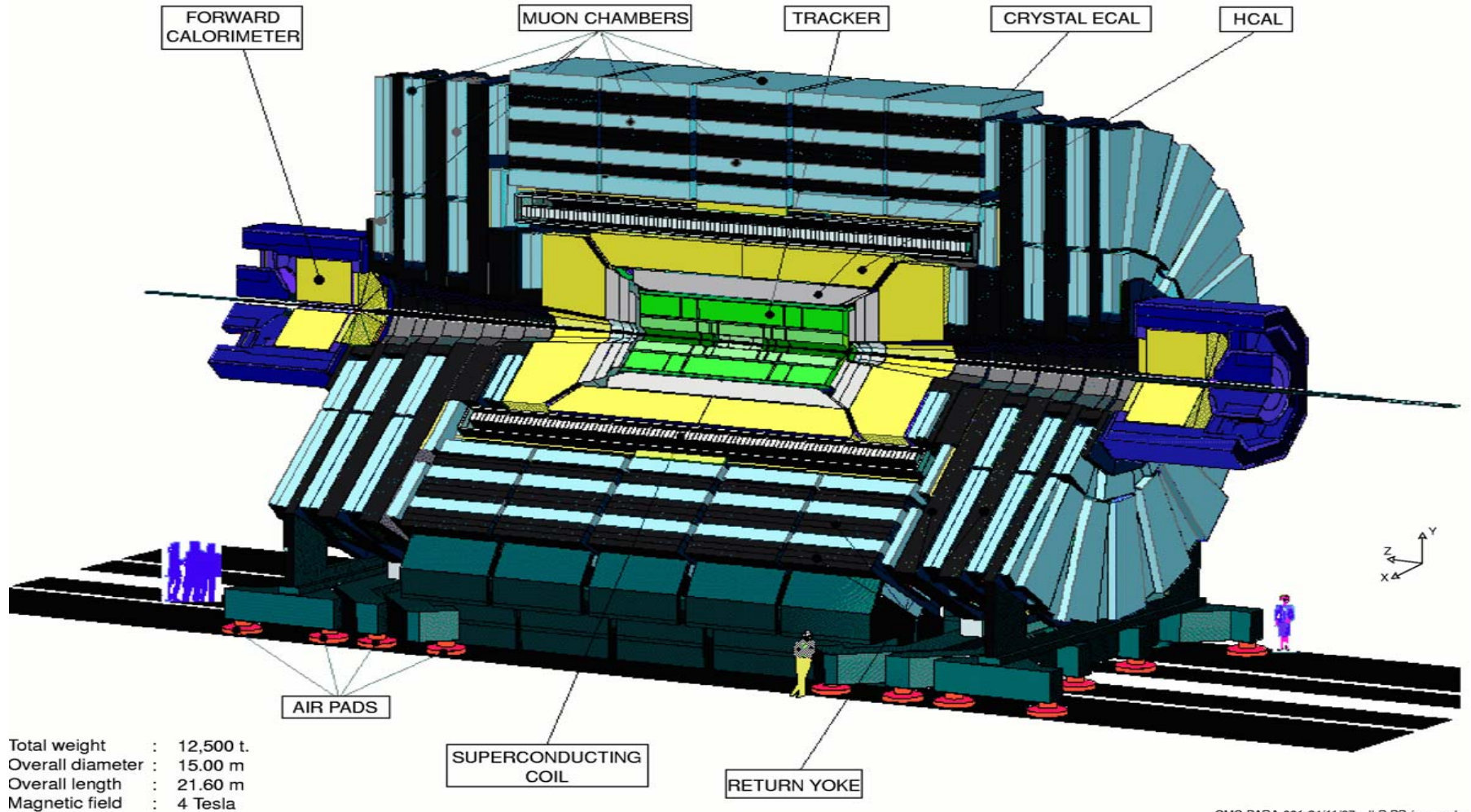
ATLAS ist höher als das Bürogebäude mit 5 Stockwerken

Durchmesser	25 m
Barrel Toroid Länge	26 m
Gesamtlänge	46 m
Totales Gewicht	7000 t

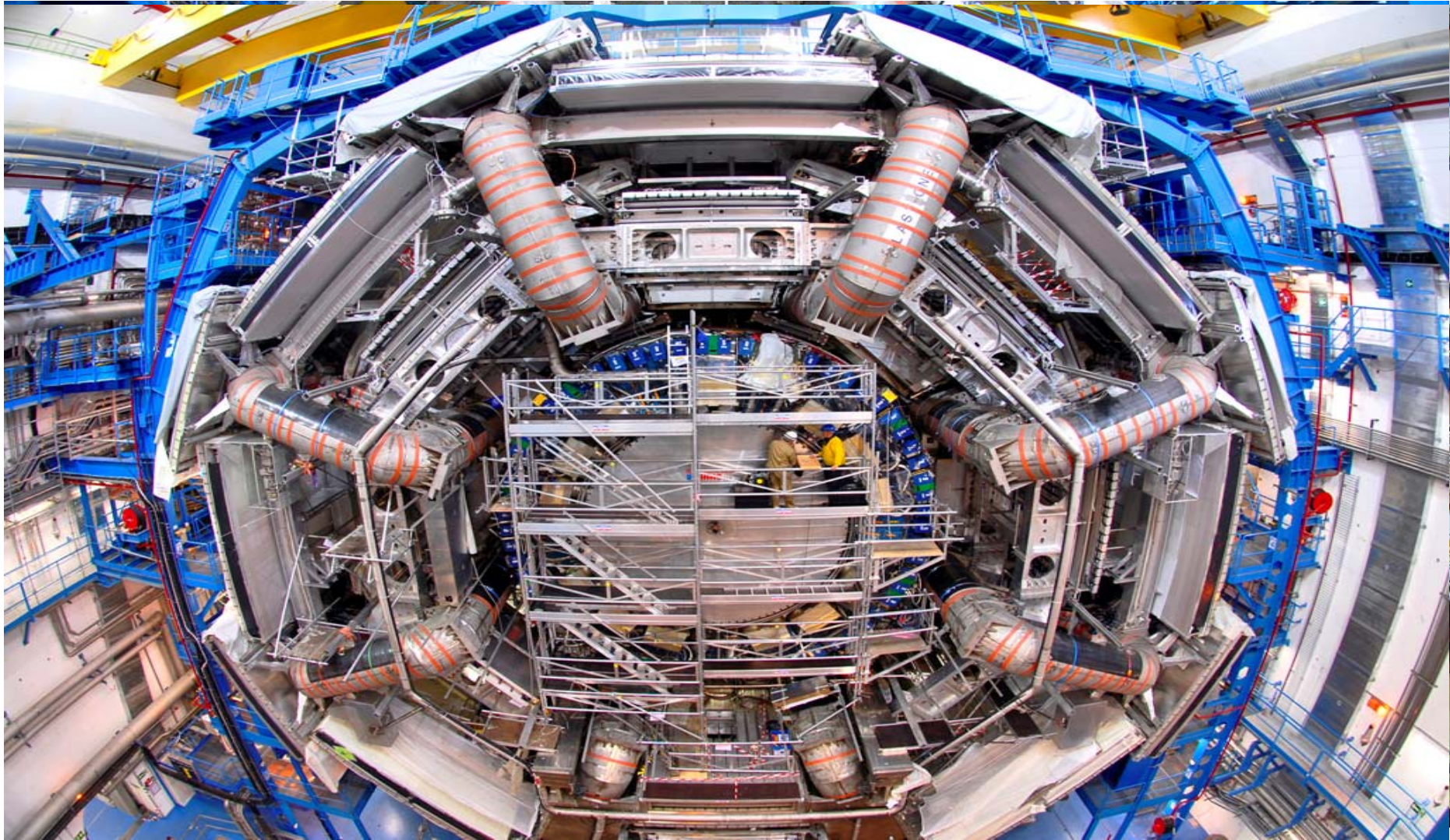
Der ATLAS-Detektor: Übersicht



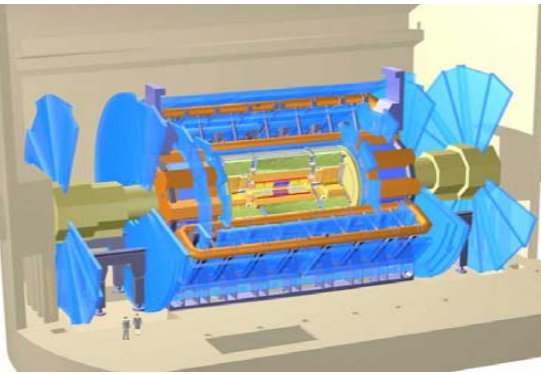
Die kompakte Schwester: Der CMS Detektor



Der ATLAS Detektor im Aufbau



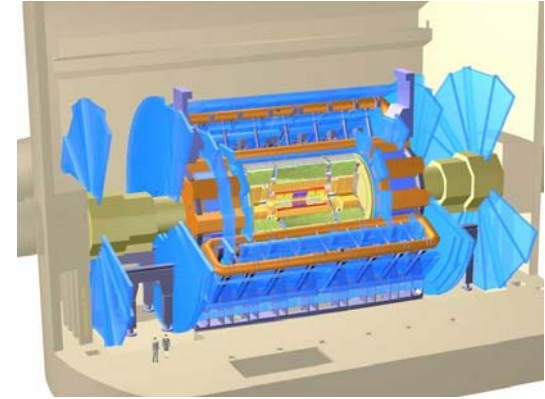
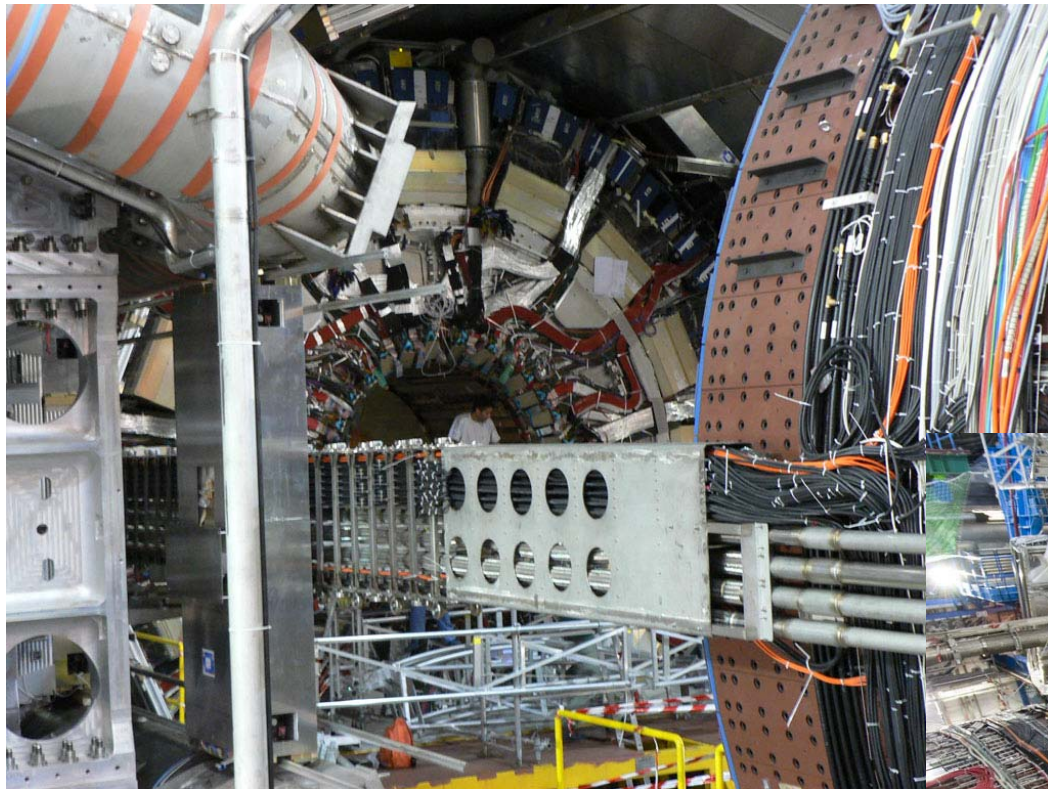
Der ATLAS Detektor im Aufbau



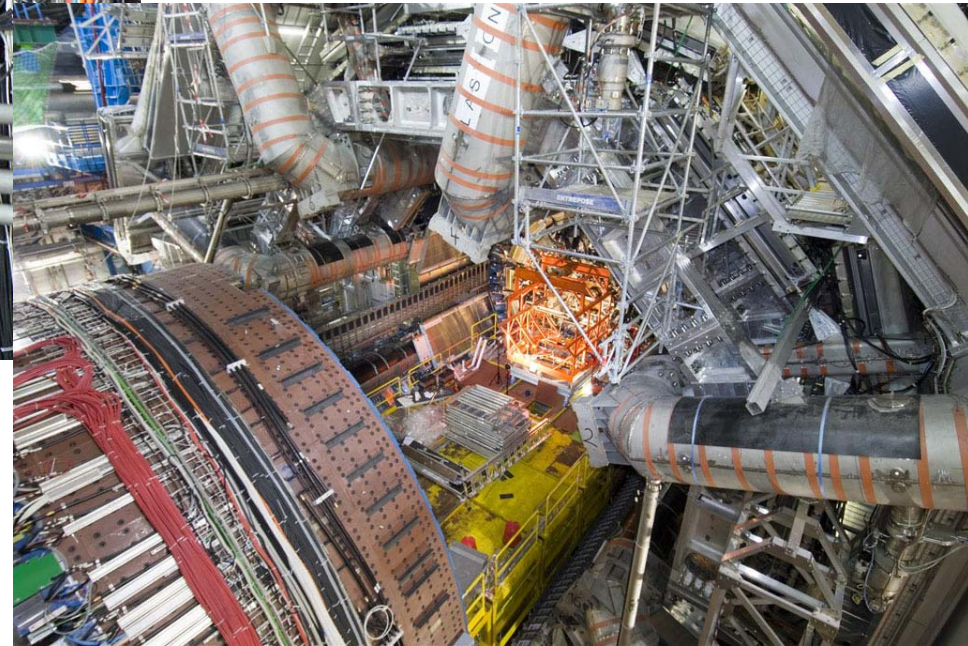
**Absenkung und
Montage der
Myon-Toroid
Magnetspulen**



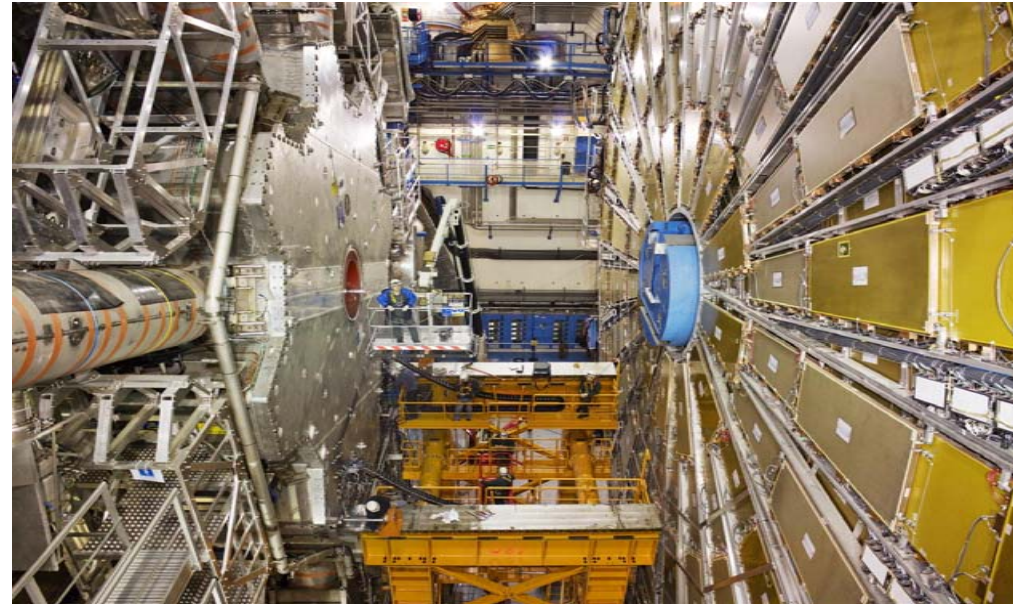
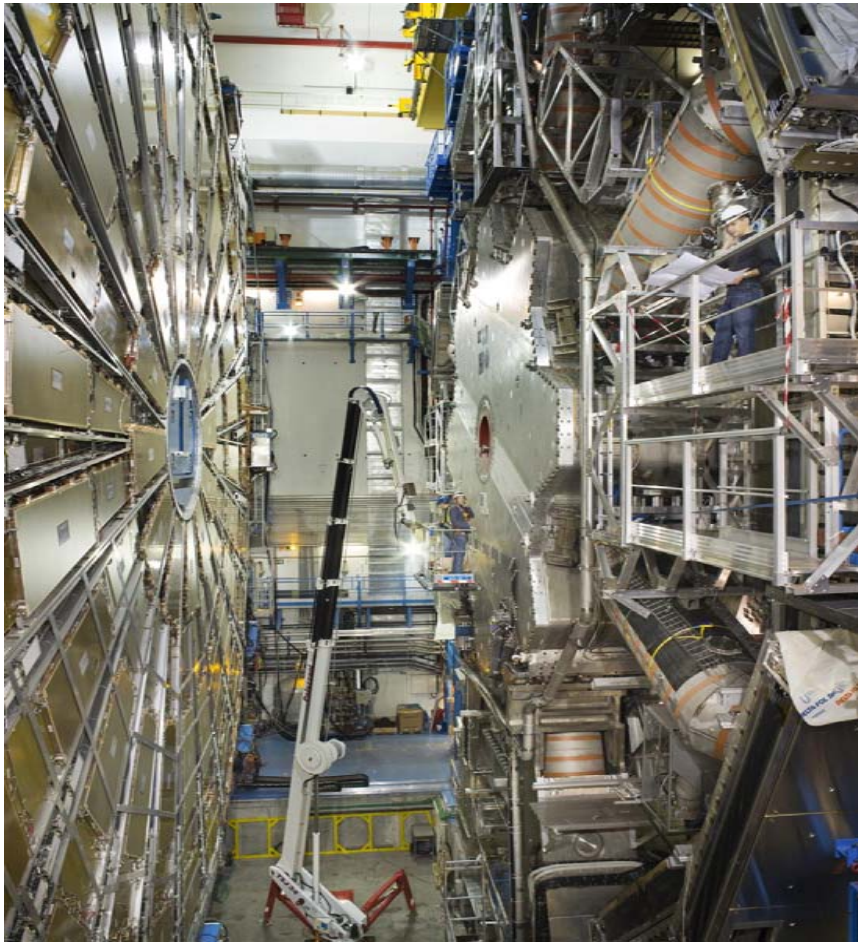
Der ATLAS Detektor 2007/08



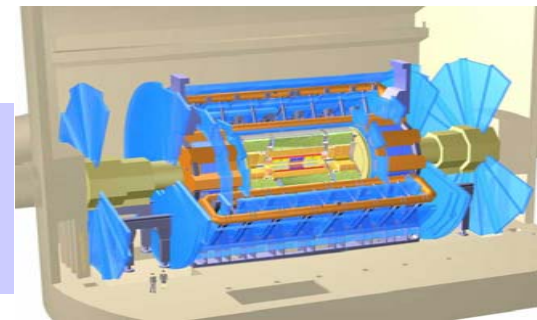
Montage des Spurkammersystems
und der Kalorimeter



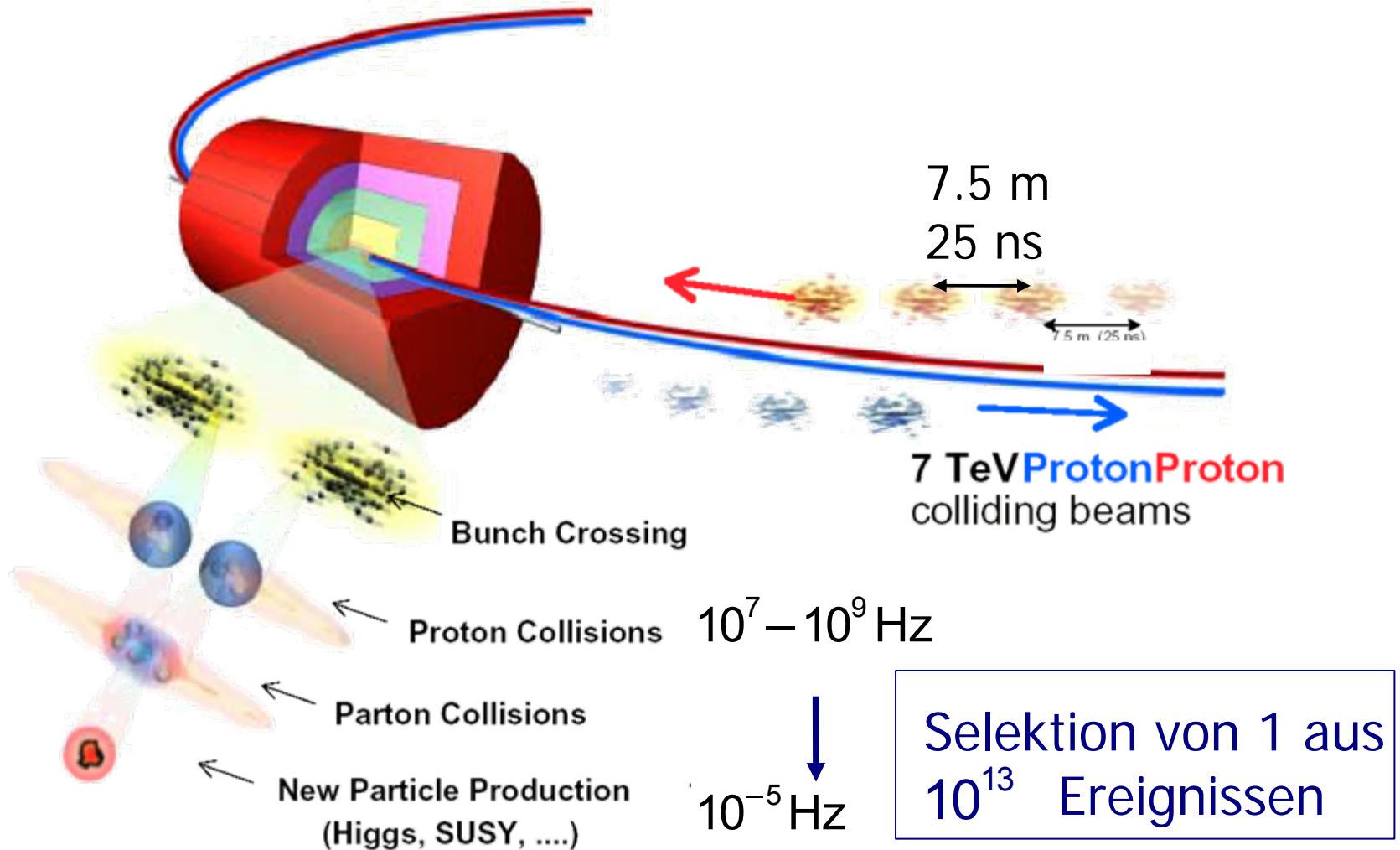
Der ATLAS Detektor 2007/08



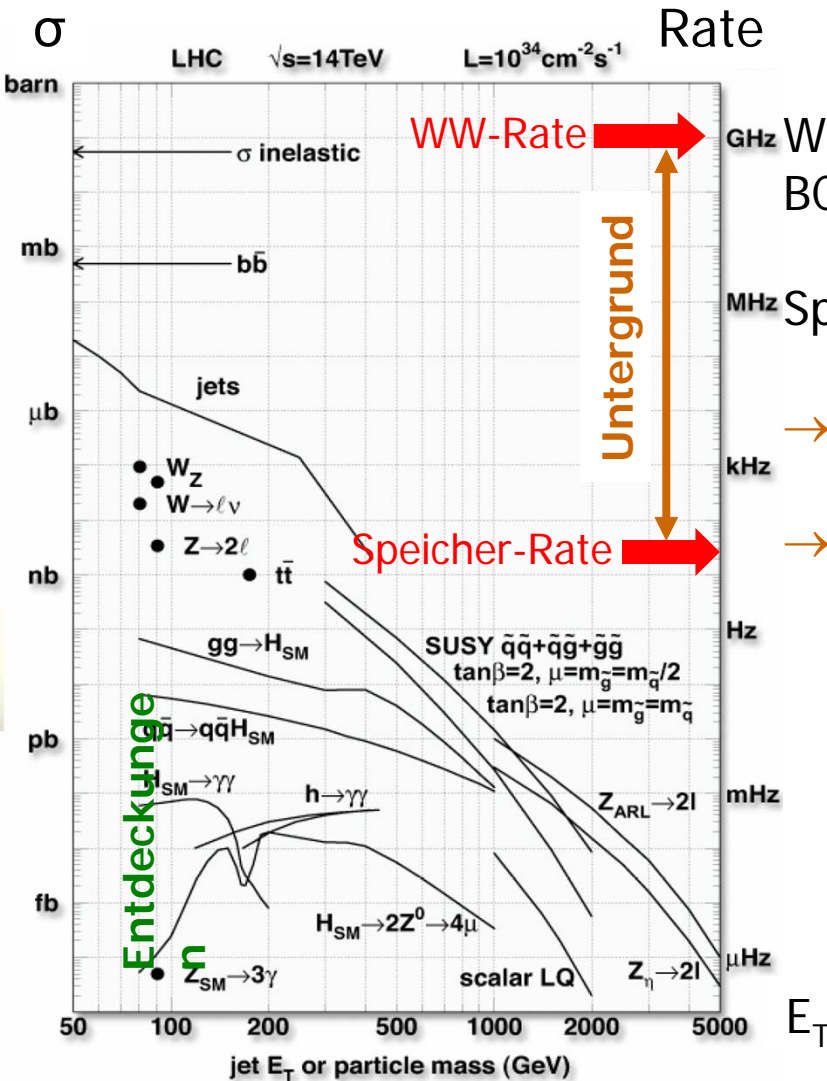
Installation der
Muon-
Endkappen



Teilchenkollisionen bei LHC und Selektion



Anforderungen an den Trigger



WW-Rate: ~ 1 GHz
BC-Rate: 40 MHz

Speicher-Rate: ~ 200 Hz

→ "online"-Reduktion: 99.9995%

→ Trigger: "Daten-Aufnahme-Entscheidung"

Leistungsfähiger Trigger unabdingbar:

Selektion der **seltenen Ereignisse** aus der extrem **untergrundreichen** LHC Umgebung

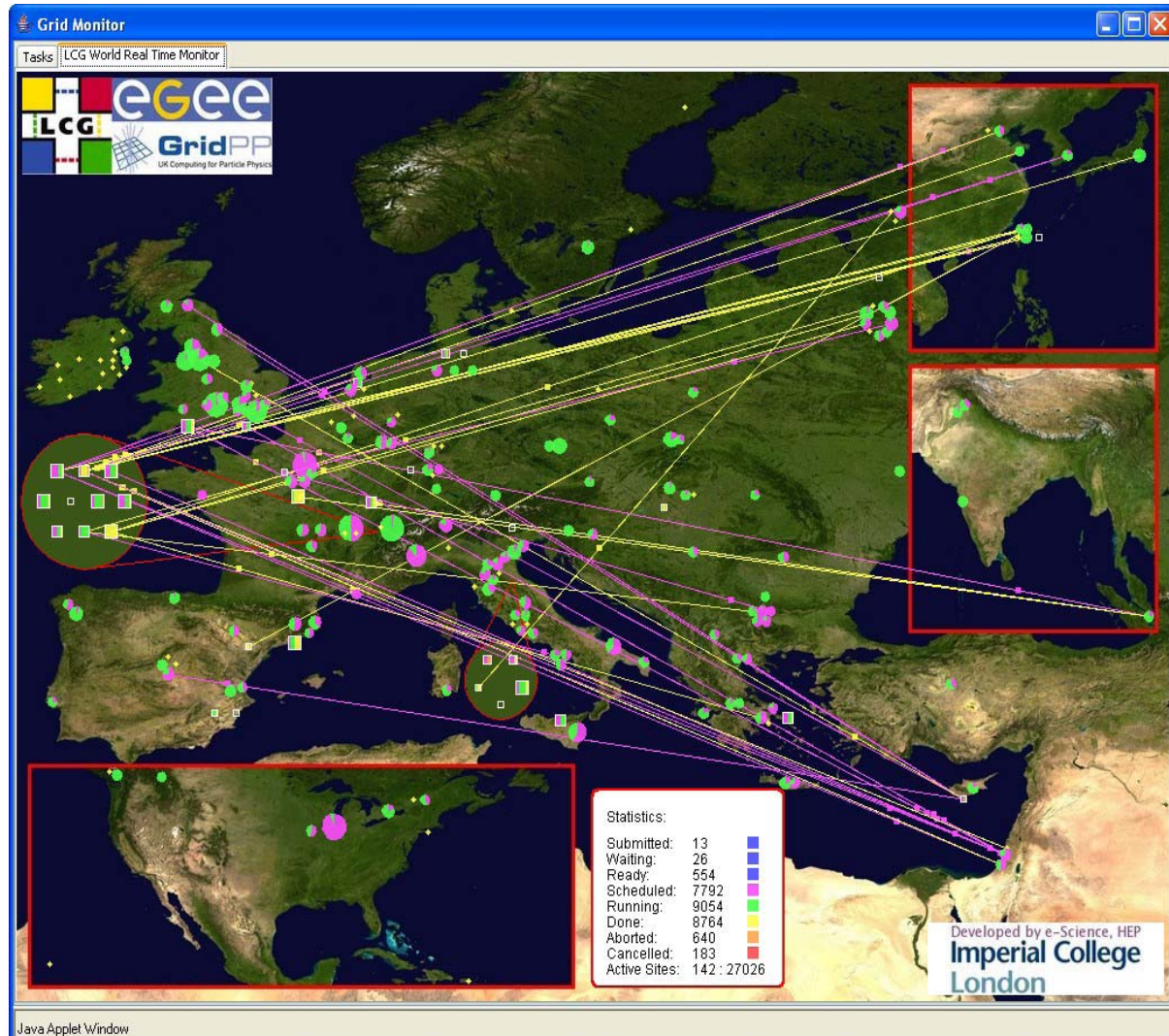
- Physik-Trigger
- Technische Trigger

Grid: Weltweiter Datenfluss

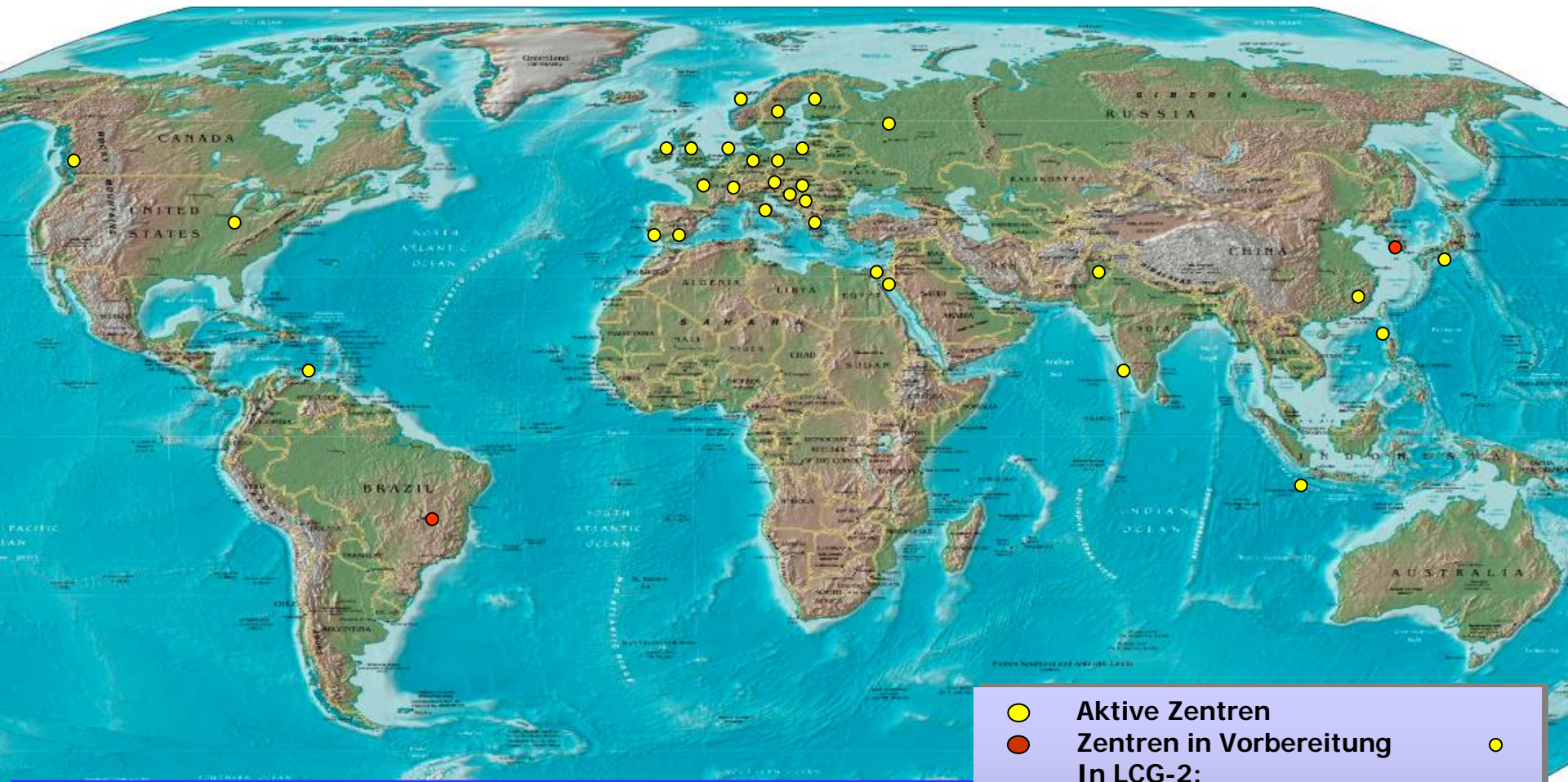


Riesige Datenflut:

Nur mittels weltweit verteilten Rechenzentren verarbeitbar.



Weltweite Computer-Vernetzung

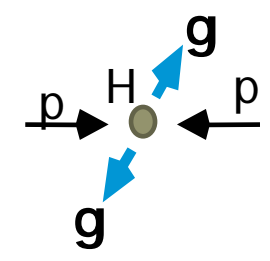
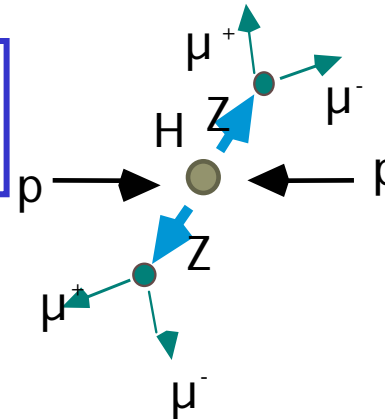
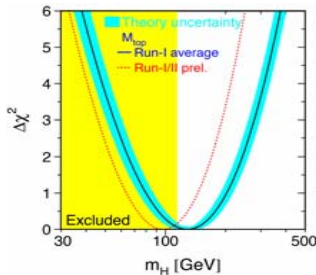


Die Anzahl der Zentren entspricht der, die zum Betrieb von LHC notwendig ist: extrem komplexe Betriebsbedingungen

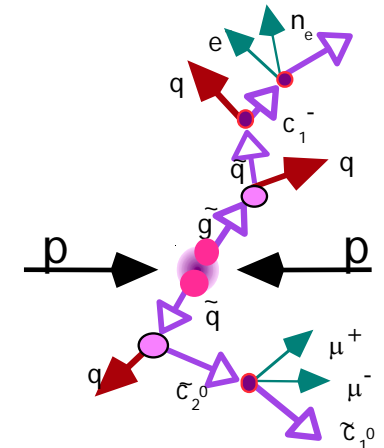
- Aktive Zentren
 - Zentren in Vorbereitung
- In LCG-2:
- ⇒ 250 Zentren, 32 Länder
 - ⇒ ~50,000 Prozessoren
 - ⇒ ~20,000 TB Speicherplatz

Physikalische Fragestellungen beim LHC

Elektroschwache Symmetriebrechung ?
- Suche nach dem Higgs Boson



Erweiterung des Standardmodelles ?
- Suche nach SUSY oder anderer "BSM-Physik"



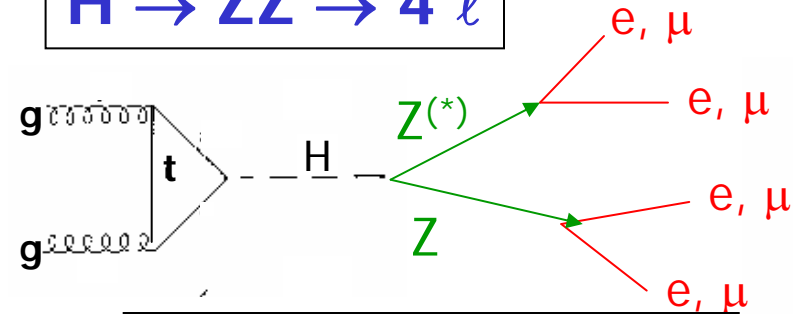
Was noch?

- Schwere Quarks, QCD, Elektro-schwache Prozesse:
Physik des Standardmodells

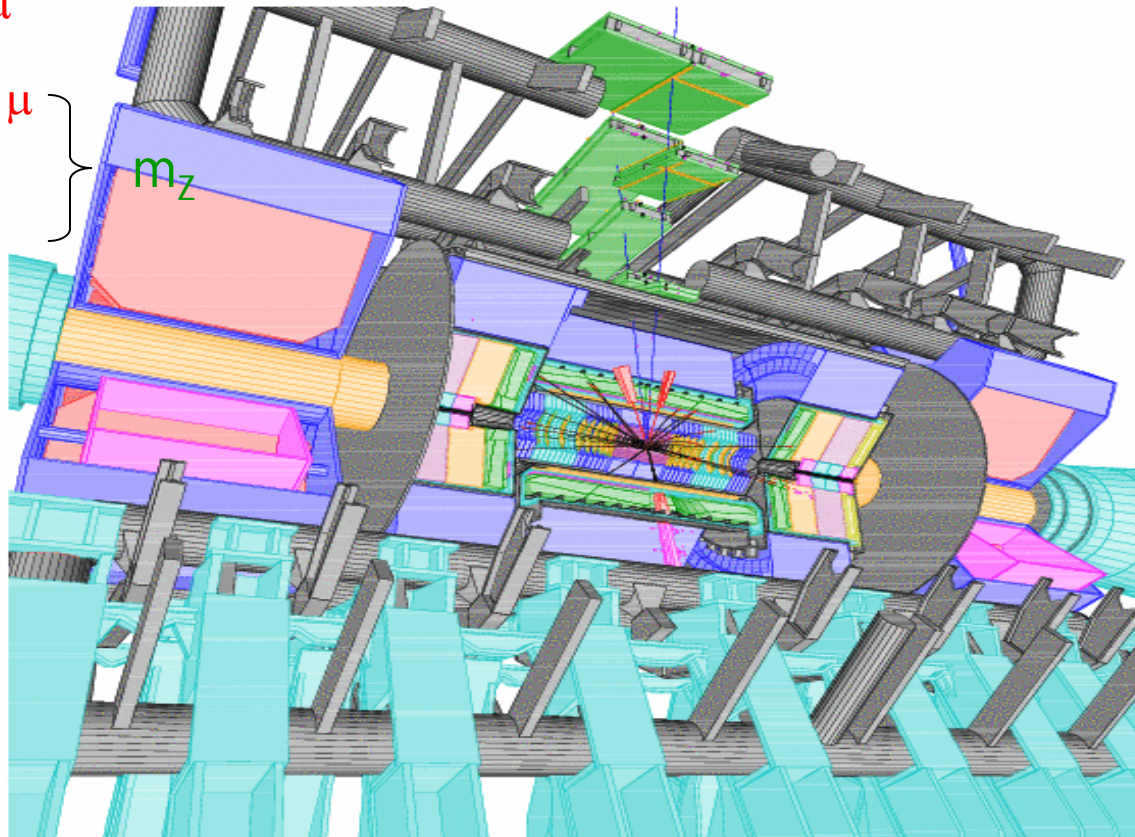
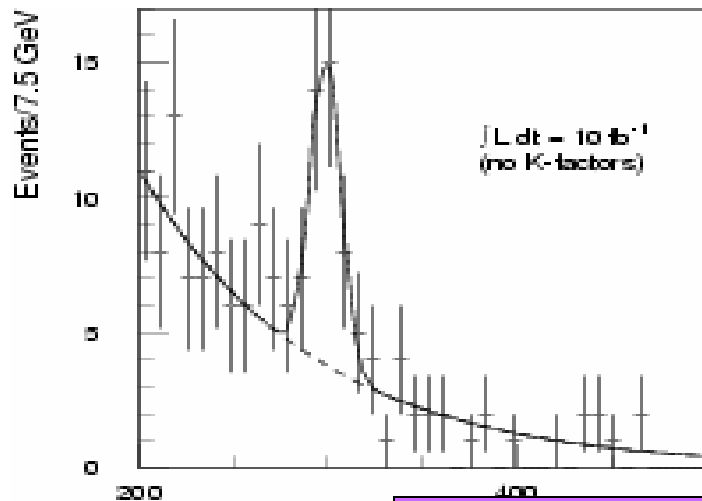
Beispiel: Higgs-Ereignis

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \ell$$

Optimaler Kanal zur Entdeckung
des Higgs-Teilchens bei LHC

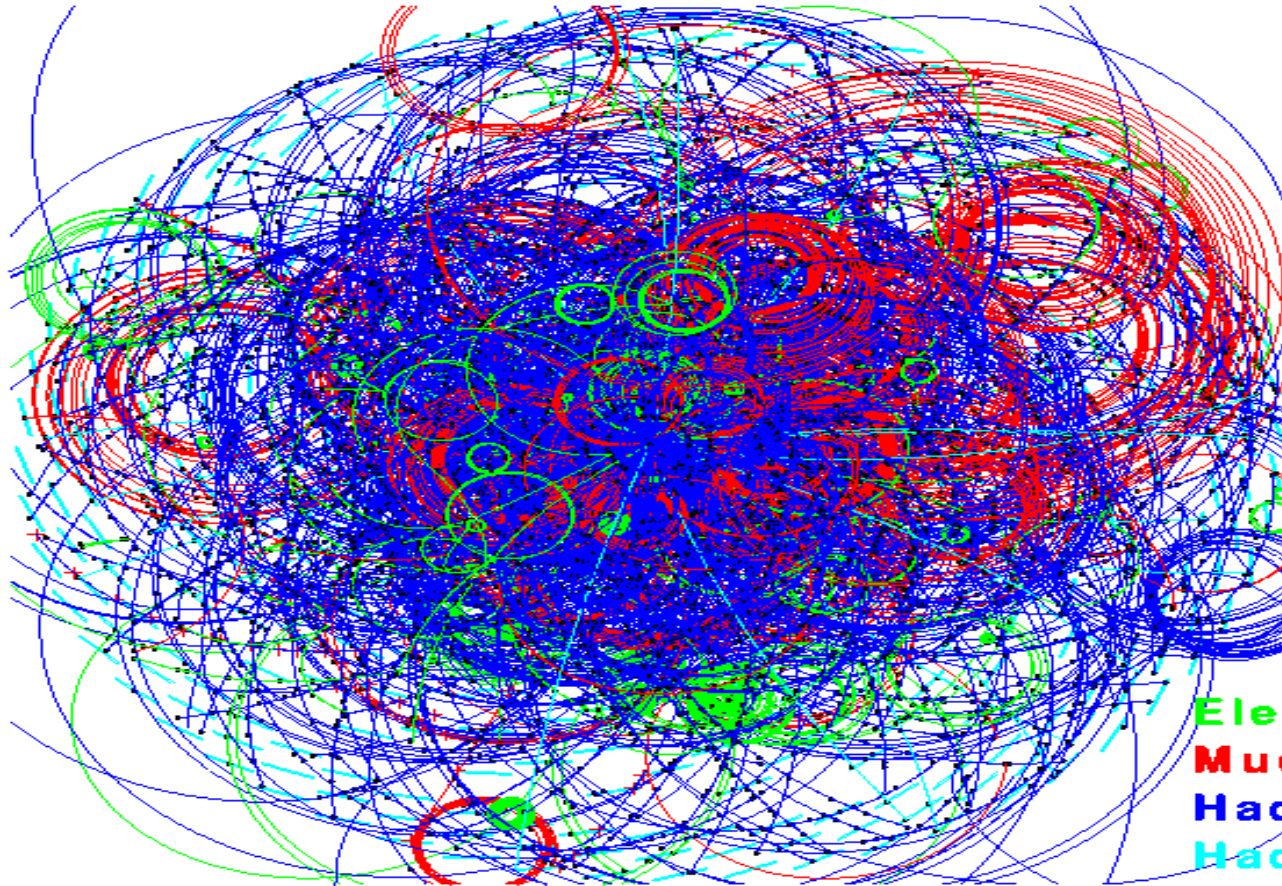


Zu erwartendes Higgs-Signal
nach 1 Jahr Messen



Simulation eines $H \rightarrow \mu\mu ee$ Ereignisses in ATLAS

Higgs Ereigniss: Radiale Projektion



CMS

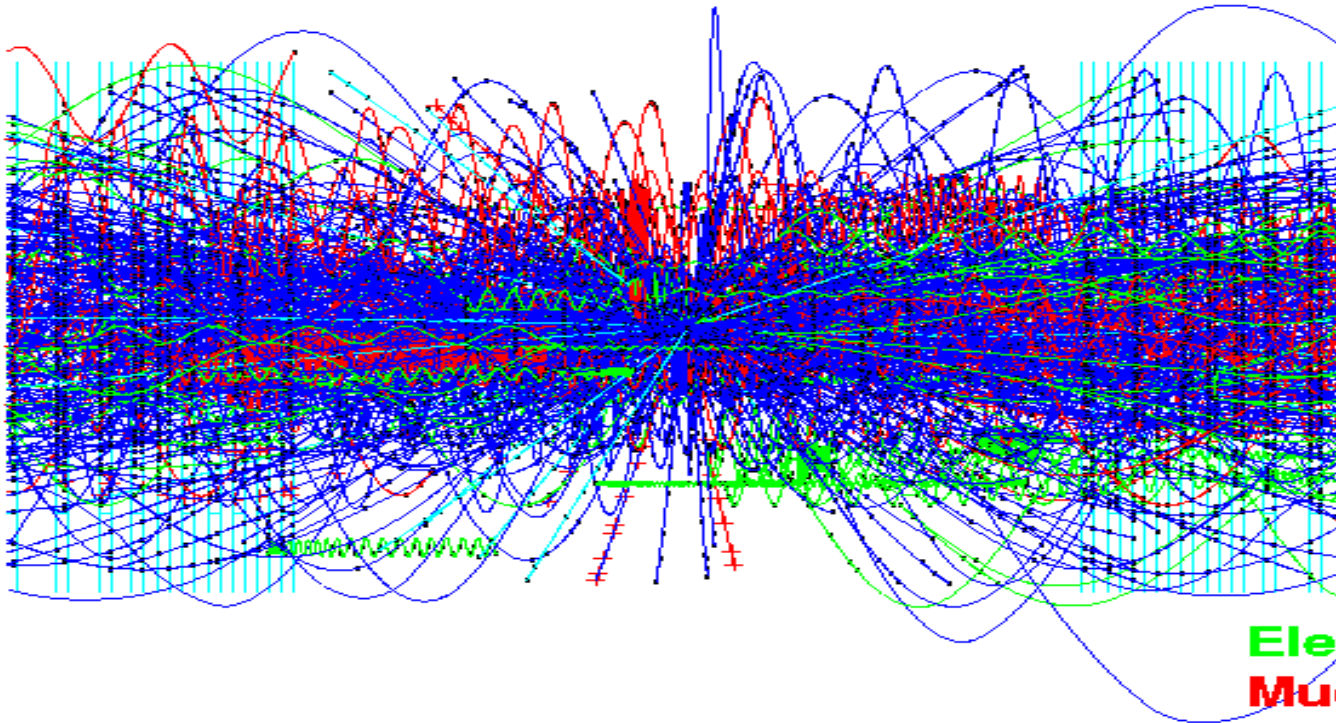
**H \rightarrow $\mu\mu\mu\mu$
m(H)=150GeV
+ 20 Min bias**

Electrons
Muons
Hadrons pt<2GeV
Hadrons pt>2GeV

Higgs Ereigniss: Longitudinale Projektion

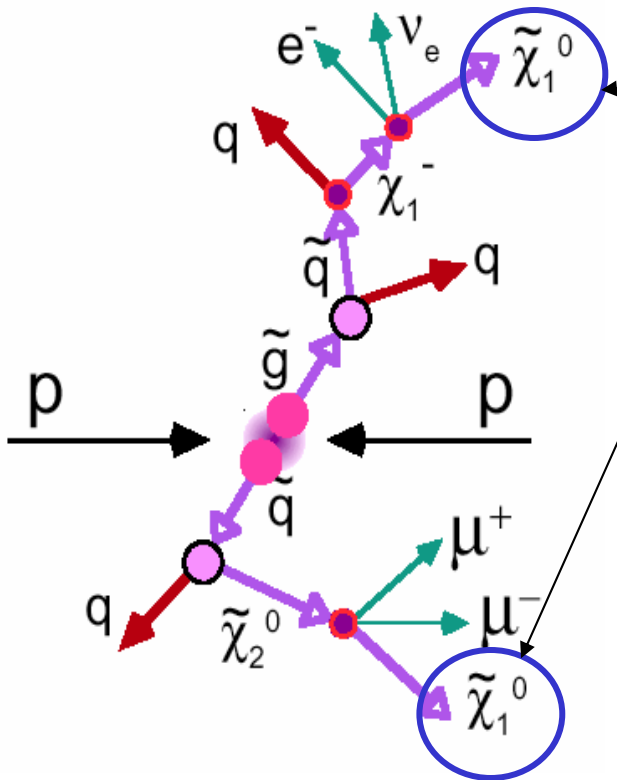
CMS

$H \rightarrow \mu\mu\mu\mu$
 $m(H)=150\text{GeV}$
+ 20 Min bias



Electrons
Muons
Hadrons $pt < 2\text{GeV}$
Hadrons $pt > 2\text{GeV}$

Beispiel: Supersymmetrische Teilchen



Dieses Teilchen (Neutralino) ist ein guter Kandidat für die dunkle Materie im Universum

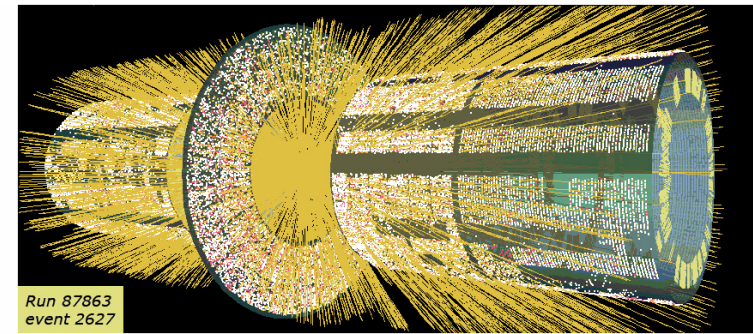
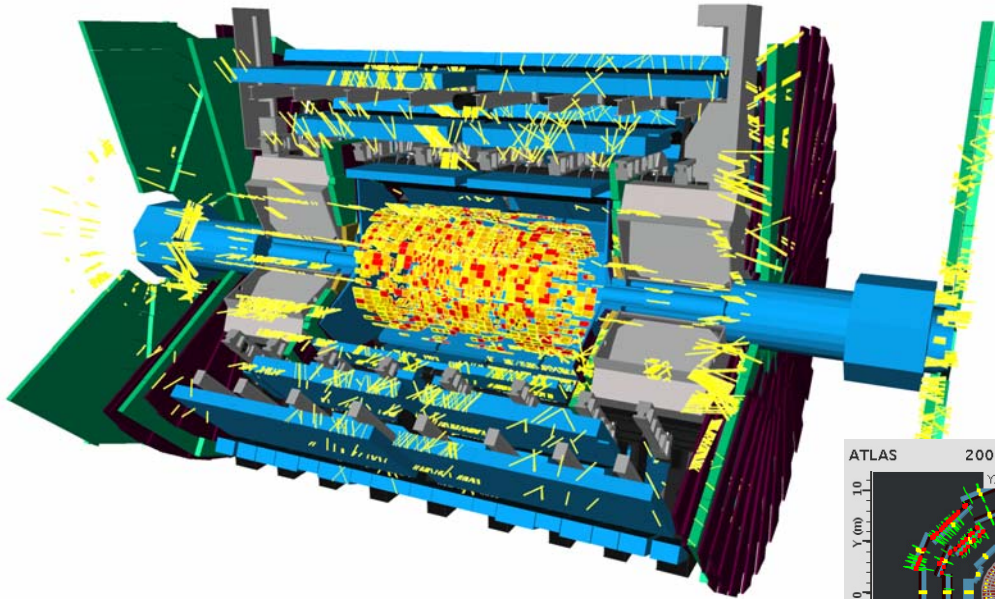
LHC Entdeckungspotential

Messzeit	Massenbereich
1 Monat	~ 1.3 TeV
1 Jahr	~ 1.8 TeV
3 Jahre	~ 2.5 TeV
Obergrenze	~ 3 TeV

Neutralinomassen bei LHC messbar

→ Entdeckung von SUSY und Messung der Neutralinomasse am LHC kann das Problem der kalten dunklen Materie im Universum lösen.

Erste Strahlen in LHC am 10. September 2008

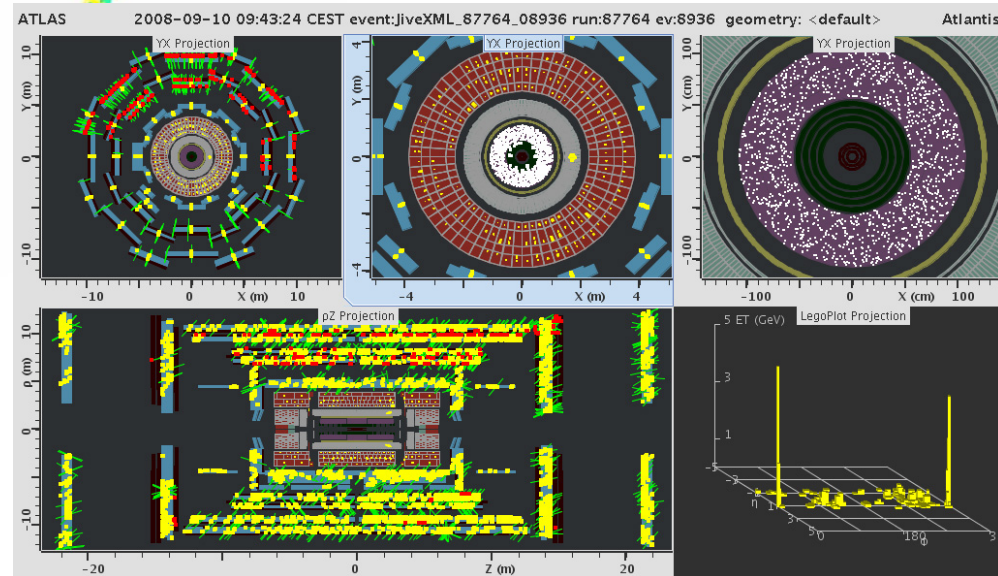


Spurkammersystem

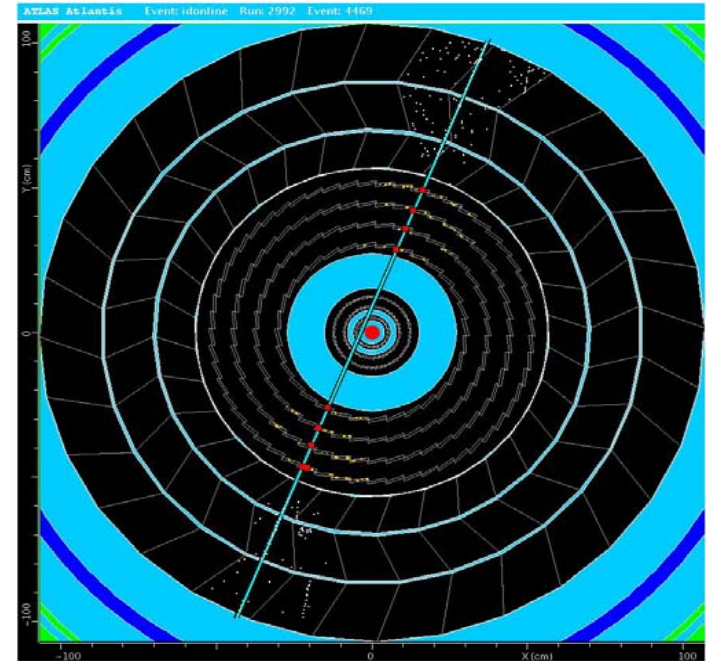
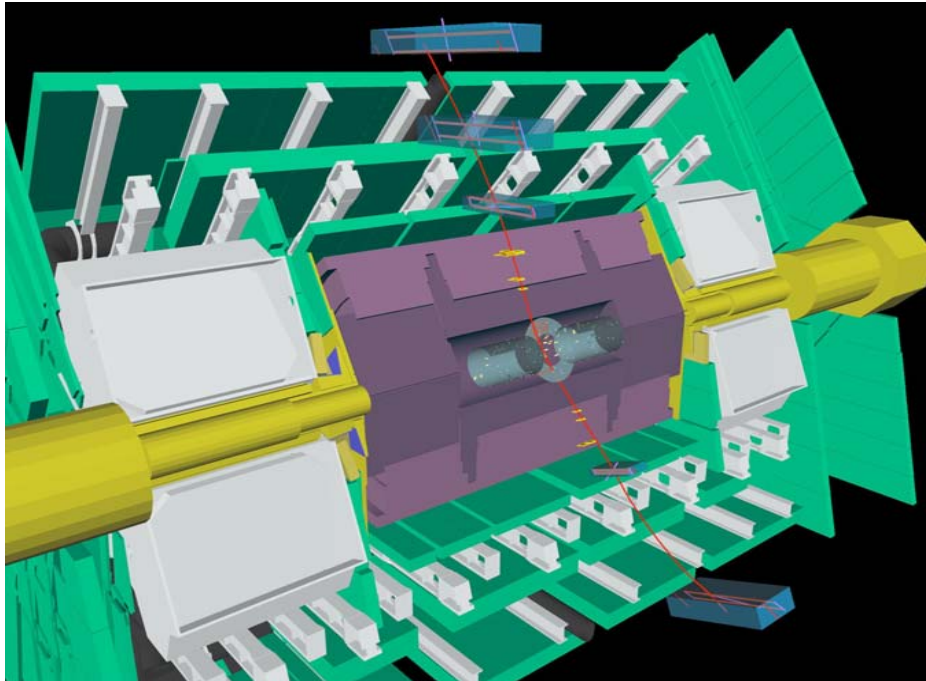
Erste Strahlen im Beschleuniger (September 2008)

Untergrundreaktionen

Ereignis-Display



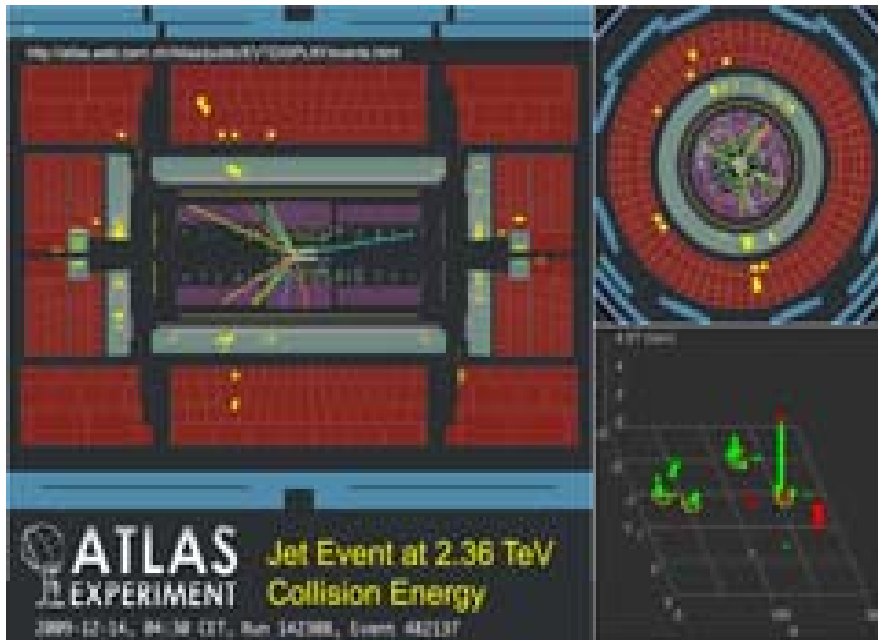
Kosmische Myonen bei ATLAS



Testmessungen mit kosmischen Teilchen (Myonen):

- sehr guter Test aller Detektorsysteme in Echtzeit
- wichtiger Referenzpunkt zur Eichung
- **erfolgreiche Tests von Oktober bis Dezember 2008**

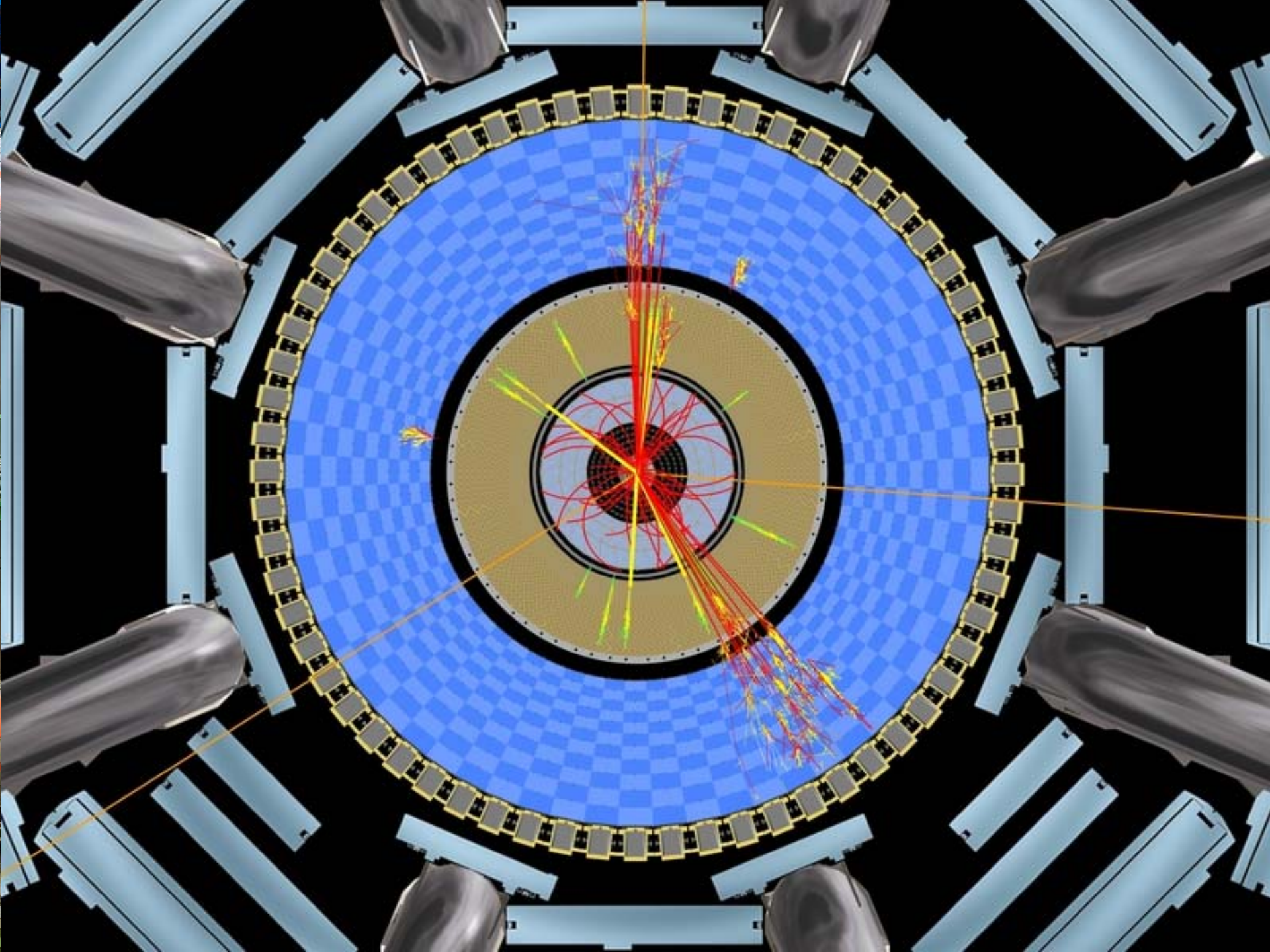
Kollisionen bei höchsten Energien, 2009



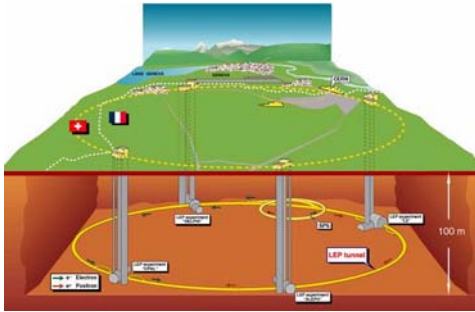
Ereignis mit zwei Teilchenjets bei 2360 GeV

Schwerpunktsenergie, aufgezeichnet im Dezember 2009

Höchste je an einem Beschleuniger erzeugte Energie!



Zusammenfassung



- große Beschleuniger sind nötig, um kleinste Teilchen zu erzeugen
- große Detektoren sind notwendig, um die Teilchen und ihre Zerfallsprodukte zu vermessen
- es gibt immer noch Neues zu entdecken und Rätsel zu lösen

