

LHC – Beschleuniger und Detektoren

Seminarvortrag 6.5.2010

Philipp Hofmann

Inhalt

- Allgemeine Fakten
- Die Beschleuniger
- Die Detektoren
- Der LHC in der Öffentlichkeit

1.1 Gründe für den LHC

- Wesentliche Eigenschaften des LHC
 - Mehr Energie als Vorgänger (14 TeV ggü 1 TeV (Tevatron))
 - Sehr große Luminosität
 - **$R = \sigma \cdot L$**
 - R: Ereignisrate, σ = Wirkungsquerschnitt, L = Luminosität
 - Also: Akzeptable Ereignisraten bei kleinen Wirkungsquerschnitten

1.1 Gründe für den LHC

- Potentielle Entdeckungen:
 - Nachweis des Higgs-Bosons
 - Physik jenseits des Standardmodells (Supersymmetrie)
 - Mehrdimensionalität der Gravitationskraft
 - Neue Trägerteilchen für die schwache Kernkraft: W' und Z'
 - Unterschiede zwischen Materie und Anti-Materie
 - Viele weitere

1.2. Vorgänger des LHC

- Lange Liste der Collider vor dem LHC – **TeVatron** als Hadron-Collider-Vorgänger
 - TeVatron: Vorgänger des LHC
 - Geplante Ablösung des TeVatron durch LHC
 - Maximale Energie: 1 TeV
- Unmittelbarer Vorgänger im CERN: Large Electron-Positron Collider (LEP)
 - Laufzeit 1989 bis 2000
 - e^+e^- - Collider
 - LHC in Tunnel des LEP eingebaut

1.3. Zeitlinie: LHC

- 1984: Offizielle Planungen (Lausanne)
- 1994: Genehmigung durch CERN
- 1995: Zuschüsse fließen, beginnend mit Japan
- 1996: ATLAS und CMS genehmigt
- 1997: Magnetentwicklungsbeginn
- 1998: Baubeginn mit ATLAS, erste Komponententests

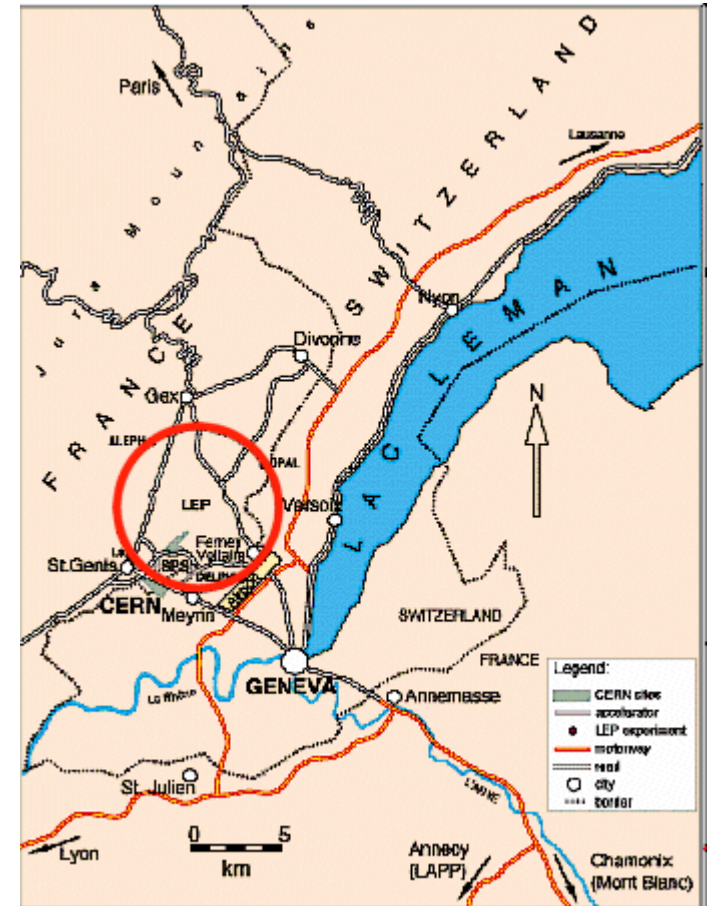


1.3. Zeitlinie: LHC

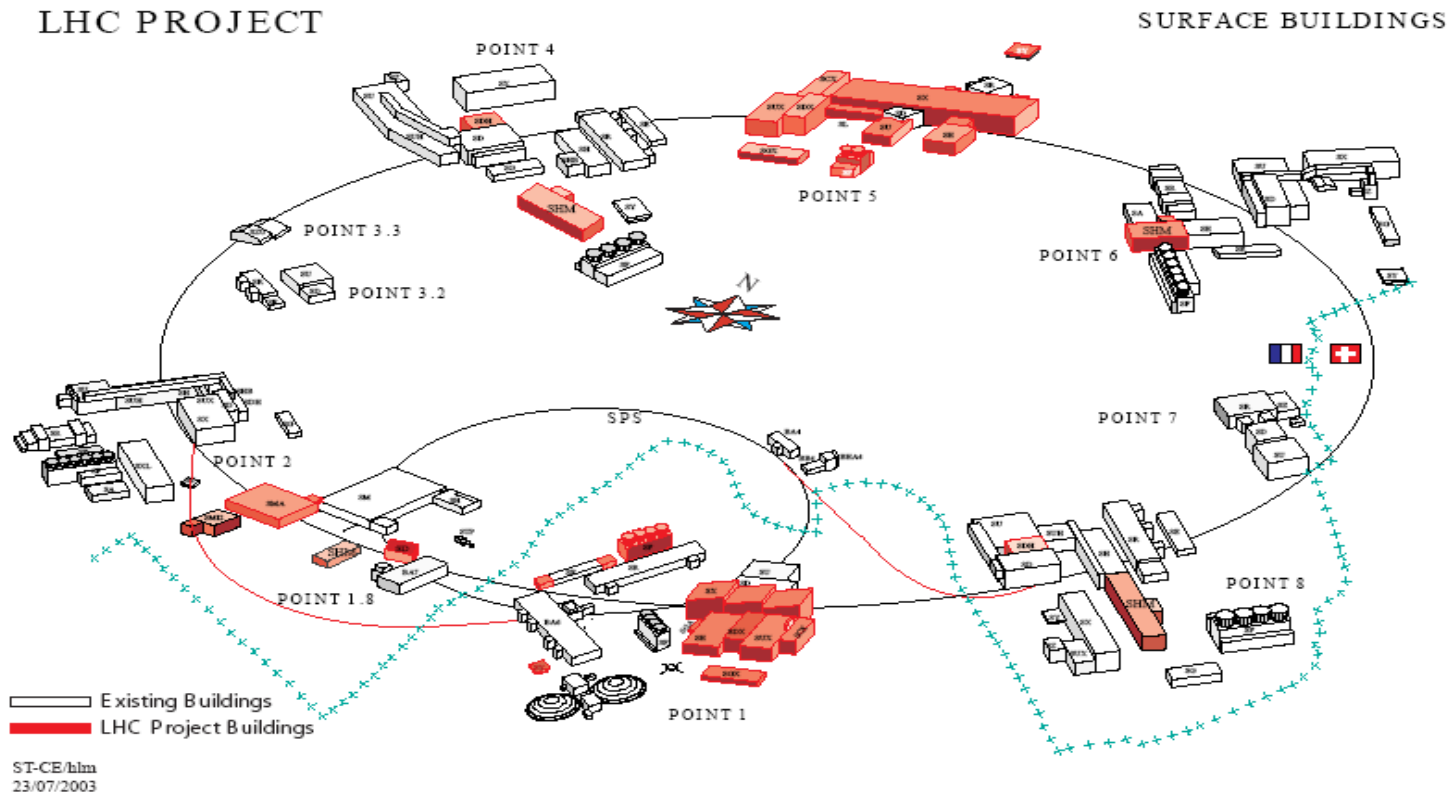
- 2000: Abbau des LEP
- 2001: Beginn des EDG
- 2003: Abschluss der Grabarbeiten, erste Testläufe
- 2004: Installationsbeginn der Detektoren
- 2005: Installationsbeginn des LHC selbst, CMS nimmt Betrieb auf
- 2006: Magnetproduktion abgeschlossen
- 2008: ATLAS und ALICE fertig gestellt, LHC-Ring geschlossen; 10.9. Betriebsbeginn, 19.9. „magnet quench“
- 2010: Neustart des LHC am 30.3. auf 3,5 TeV

1.4. Lage und Aufbau

- CERN: Bei Genf an der Grenze zu Frankreich
- Von UNESCO als „extraterritoriales Gebiet“ ausgewiesen
- Auf französischem und schweizer Boden

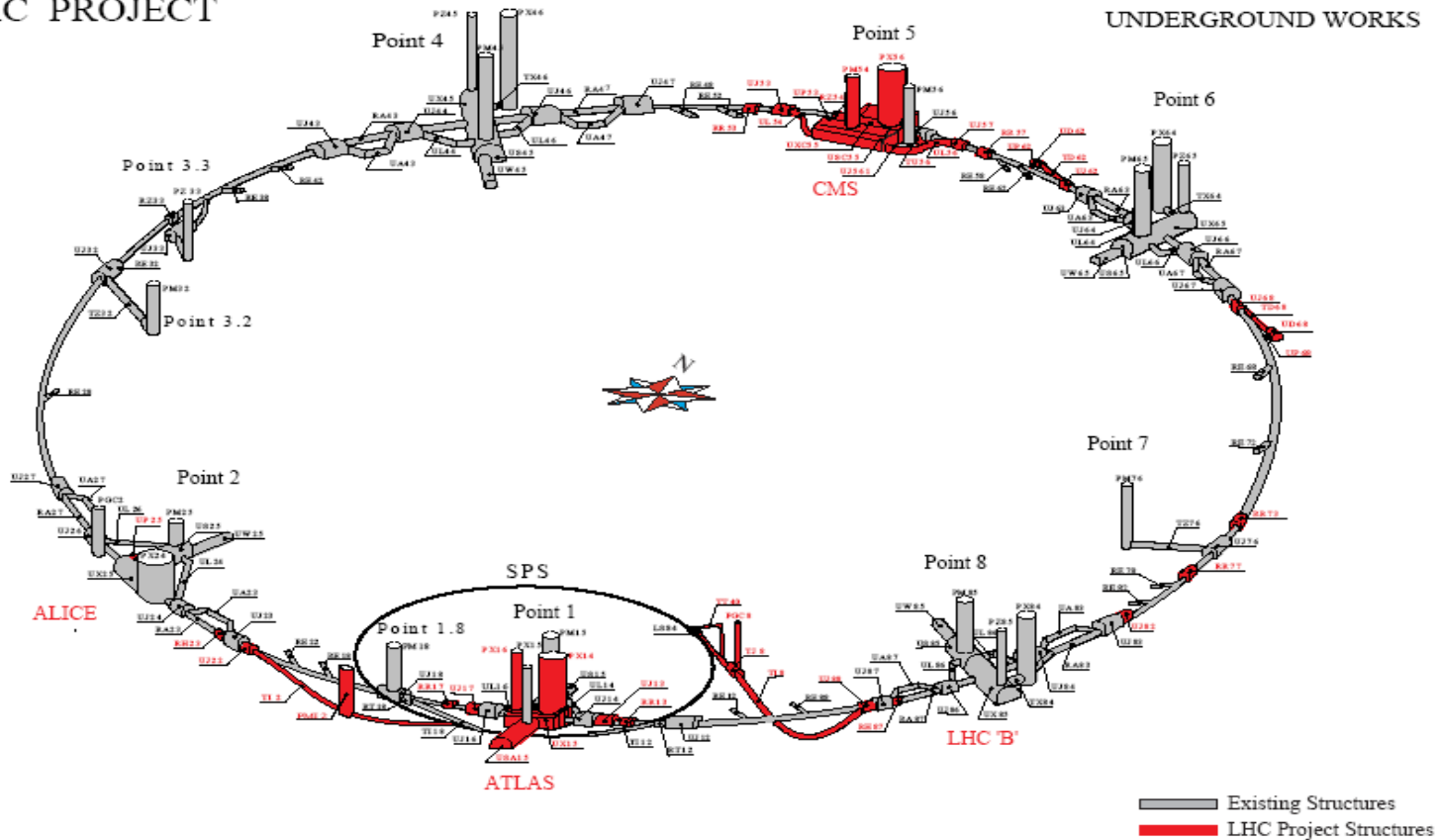


1.4. Lage und Aufbau



1.4. Lage und Aufbau

LHC PROJECT



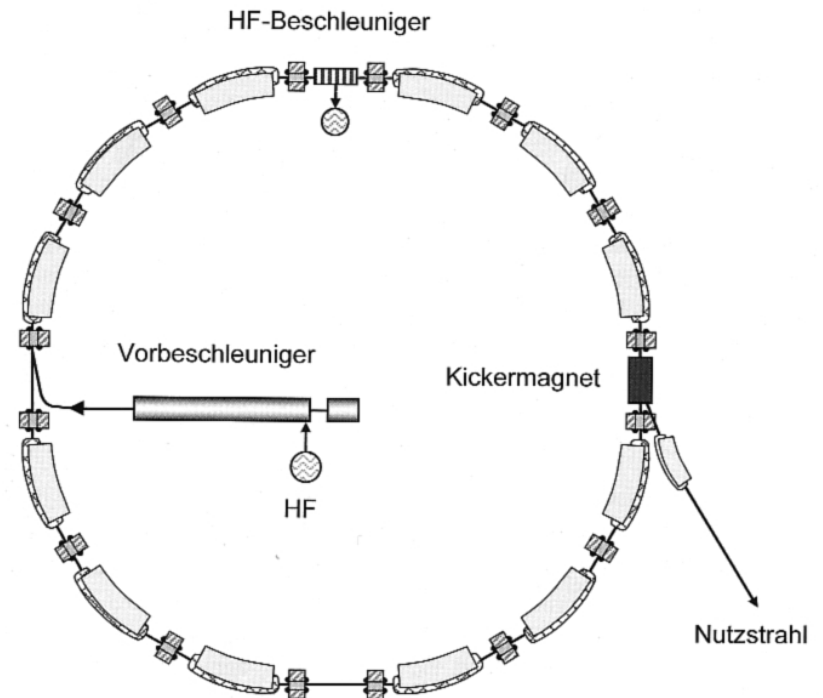
1.5. Komponenten

- Genehmigung des LHC-Budgets 1996 von 2,6 Mrd. Franken (ca. 1,8 Mrd €)
- Kosten des LHC bis heute: 4,5 Mrd. €
- Finanzierung:
 - Beiträge vieler Nationen
 - Beiträge nicht nur finanziell, bspw. Grundmaterial (Stahl, Kabel) aus Japan: „Jigsaw Puzzle“
 - Große Beiträge von Schweiz und Frankreich als Standortländer

1.5. Komponenten

- Prinzip des Synchrotrons:
- Beschleunigte Teilchen auf Kreisbahn gezwungen → Magnetfelder:
- 9132 Magneten im LHC verbaut zwecks:
- Kollimation, Ablenkung in Kreisbahn, Auskopplung
- Viele Kryomagneten, aber nicht alle

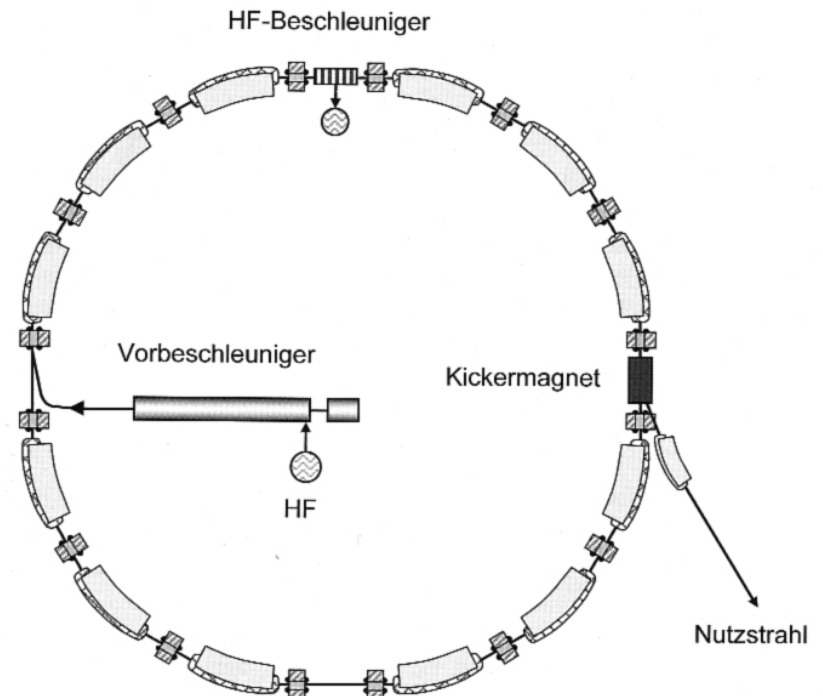
Prinzip eines Synchrotrons



1.5. Komponenten

- Daher: Hohe Ströme nötig
 - 1700 Typen Spannungswandler verbaut
- Kühlsysteme nötig für Supraleitung:
 - 700 000 l He im Kreislauf
- Strahl-Ende: „Beam Dump“

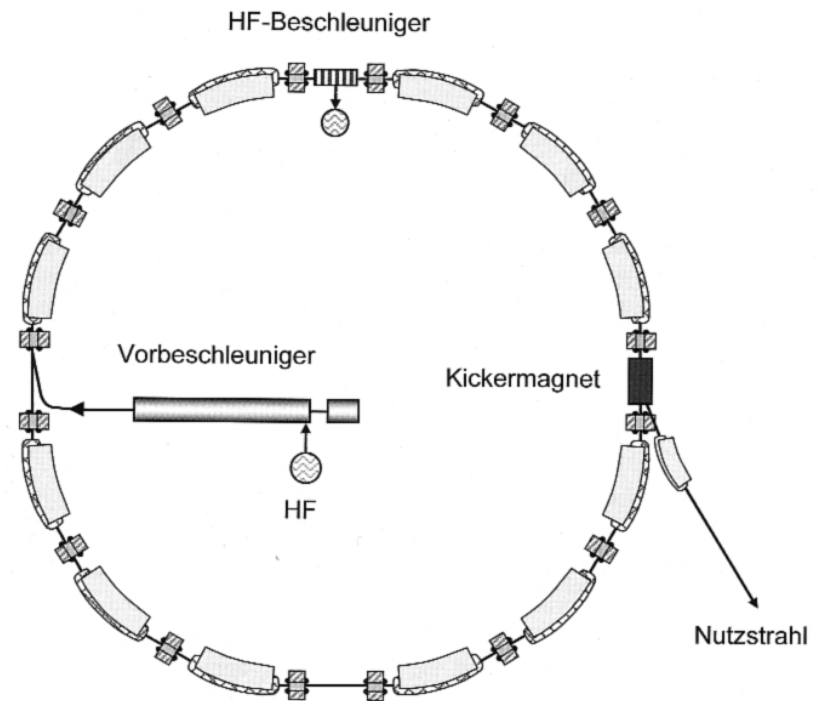
Prinzip eines Synchrotrons



1.5. Komponenten

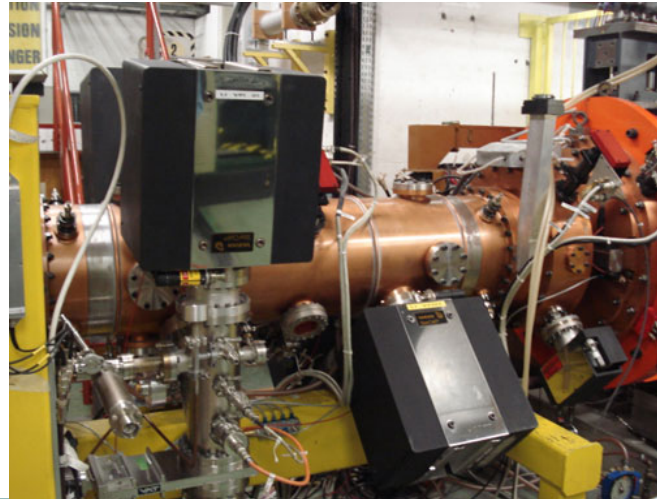
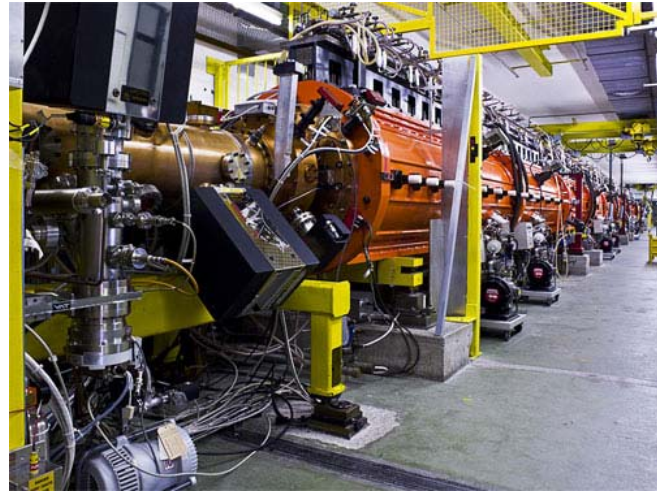
- Vakuum in der Strahlbahn nötig: 3 Vakuumsysteme statt 1
- Kollimatoren – Fokussierung des Strahles
- Teilchenbeschleunigung über Hohlraumresonatoren
- Über 50 000 t Stahl verbaut

Prinzip eines Synchrotrons



2. Beschleuniger

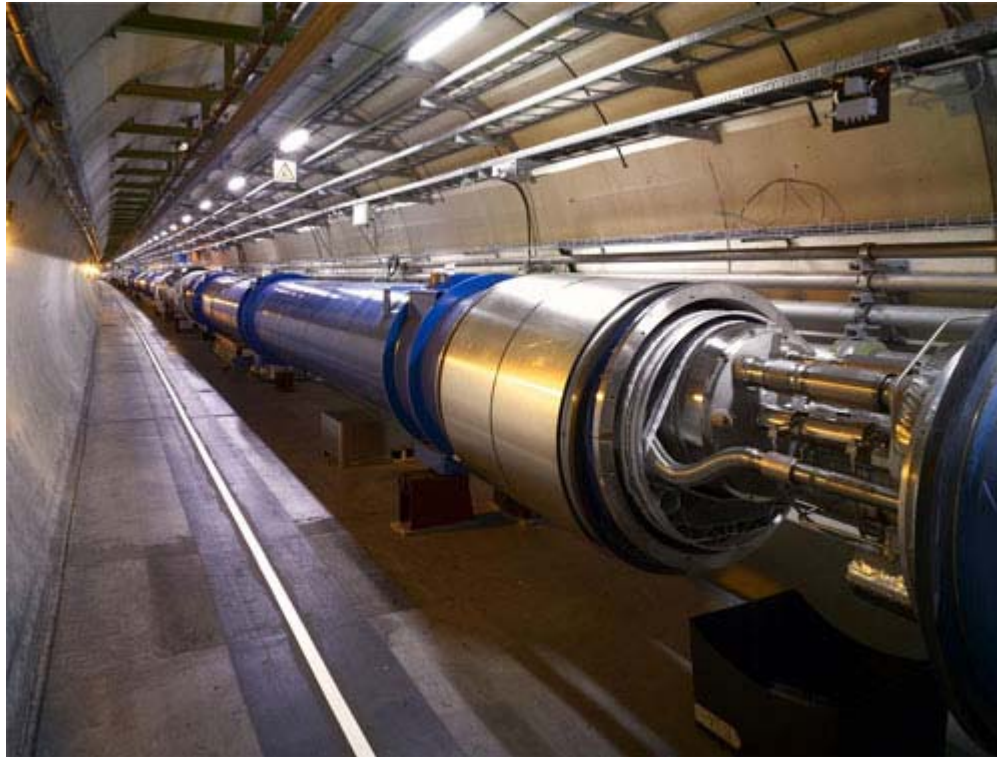
- Hohe Energien nicht über einen einzelnen Beschleuniger erreicht:
 - Vorbeschleunigung über Linearbeschleuniger



2. Beschleuniger

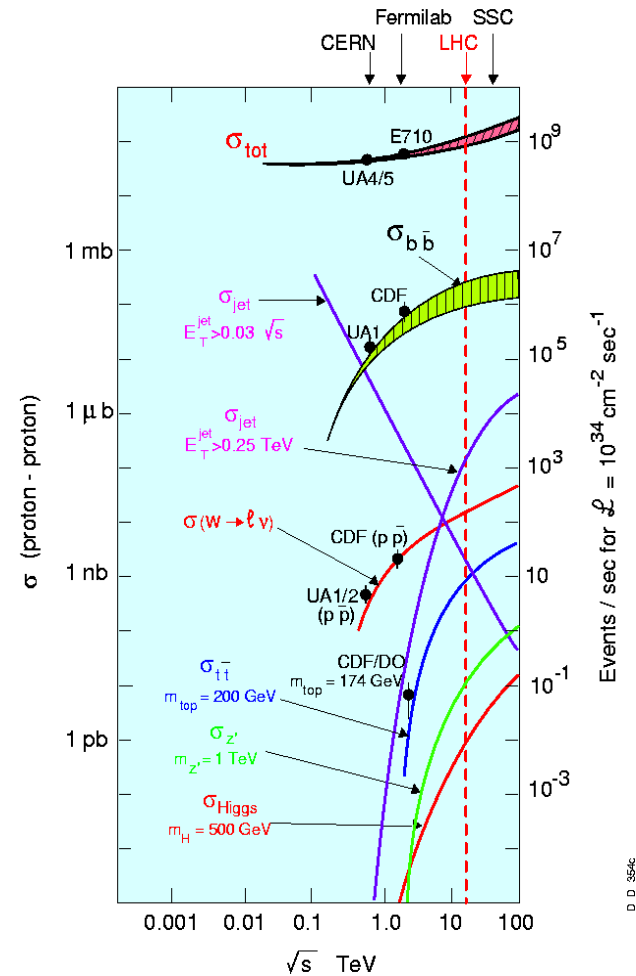
- Energieerhöhung in Ringbeschleunigern mit Hohlraumresonatoren
 - LEIR: Low Energy Ion Ring – Nur für Bleiionen: 72,2 MeV/u
 - PSB: Proton Synchrotron Booster, erhält Teilchen aus LINAC2, 1,4 GeV
 - PS: Proton Synchrotron – 25 GeV, Änderungen in Paketstruktur
 - SPS: Super Proton Synchrotron – 216 Pakete, 450 GeV in 21,6 Sek.
 - Injektion in Speicherringe des LHC über 2 Kanäle
 - LHC – 7 TeV in 20 min

2. Beschleuniger



2. Beschleuniger

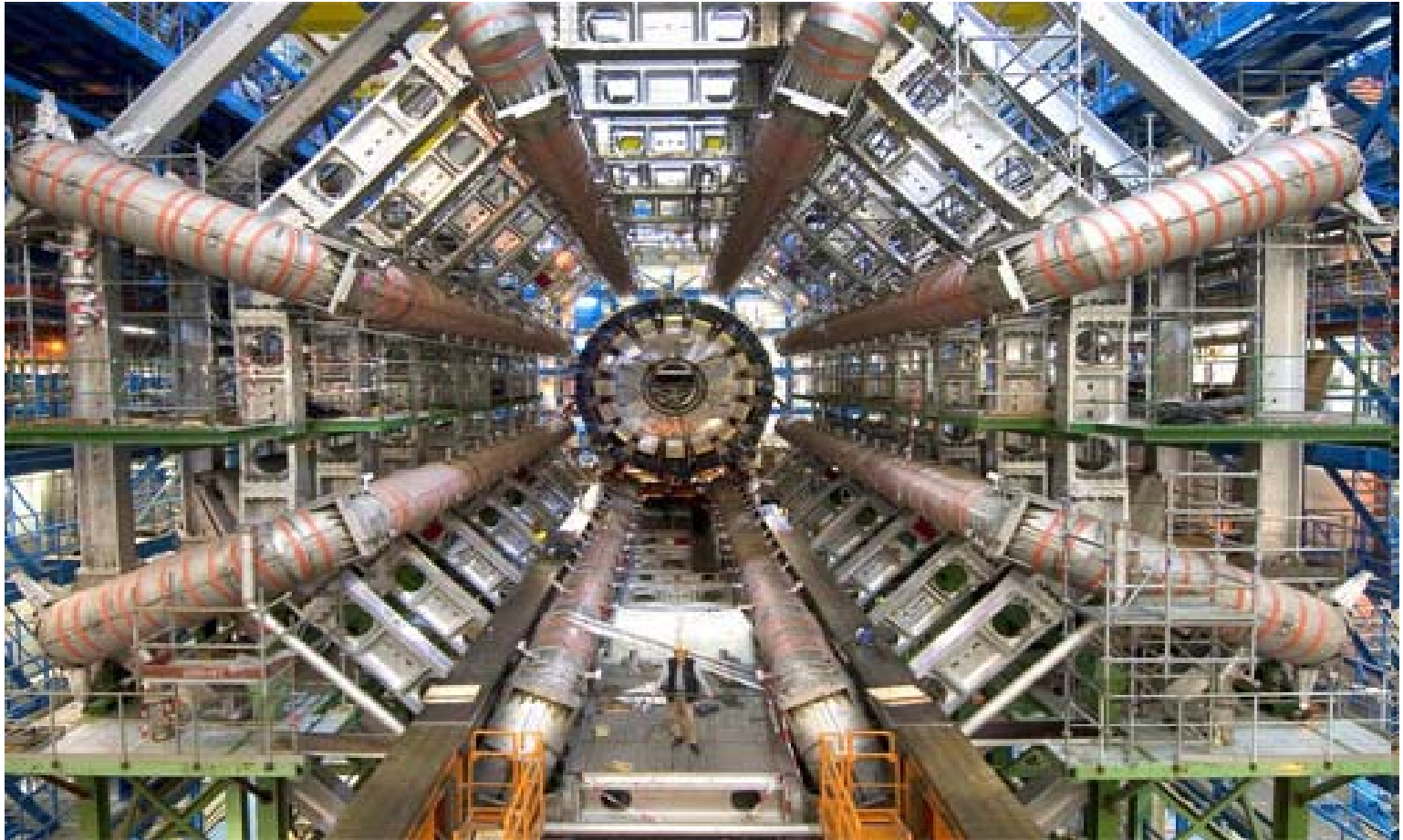
- Zweck der ganzen Technik?
 - Hohe Energie, hohe Luminosität
 - → akzeptable Reaktionsraten bei kleinen Wirkungsquerschnitten
- 20 Pakete alle 25 ns
 - → Effiziente Detektoren nötig



3. Detektoren

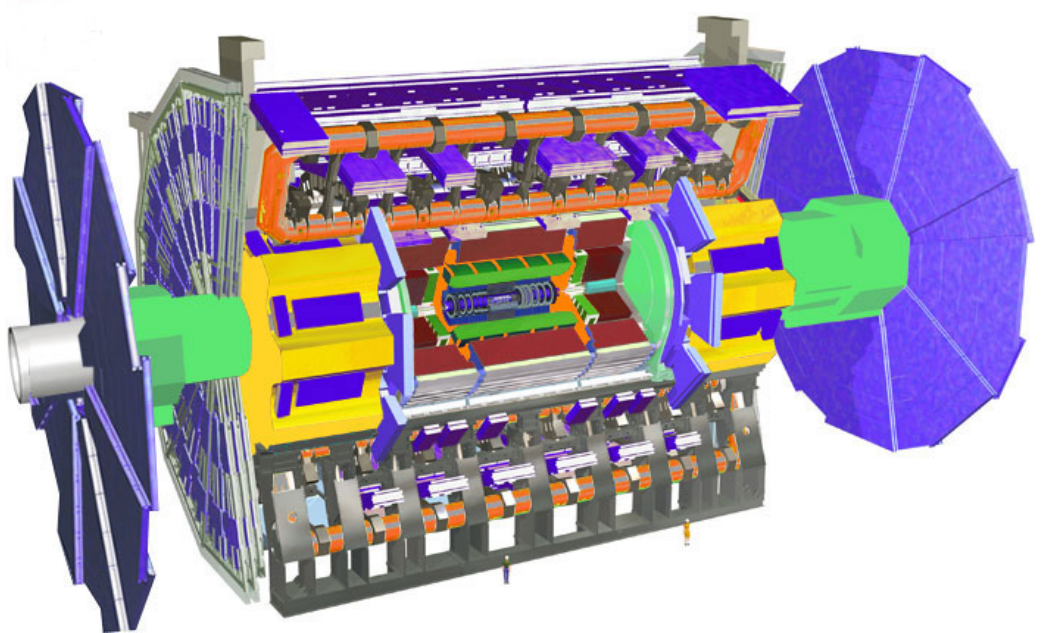
- Anforderungen:
 - Detektorsystem zur Aufnahme **aller** Ereignisse
 - Also Umschließen des Ereignispunktes wichtig
 - Feststellung von Energie und Impuls des gleichen Teilchens
 - Daher: Schichtanordnung der Detektoren
 - Möglichst hohe Genauigkeit
 - Filterung der relevanten Ereignisse

3. Detektoren



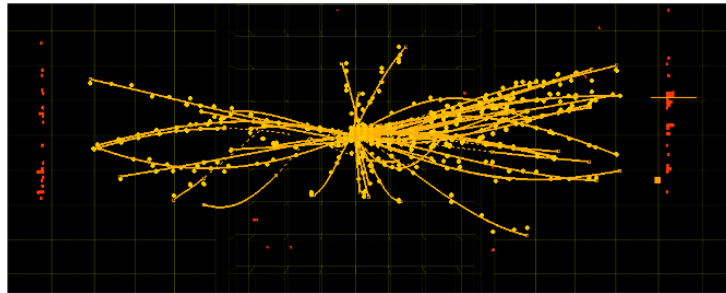
3. Detektoren

- 1. ATLAS
 - **A** Toroidal LHC Apparatus
 - 3 Detektoren:
 - Innerer Detektor
 - Kalorimeter
 - Myonsystem

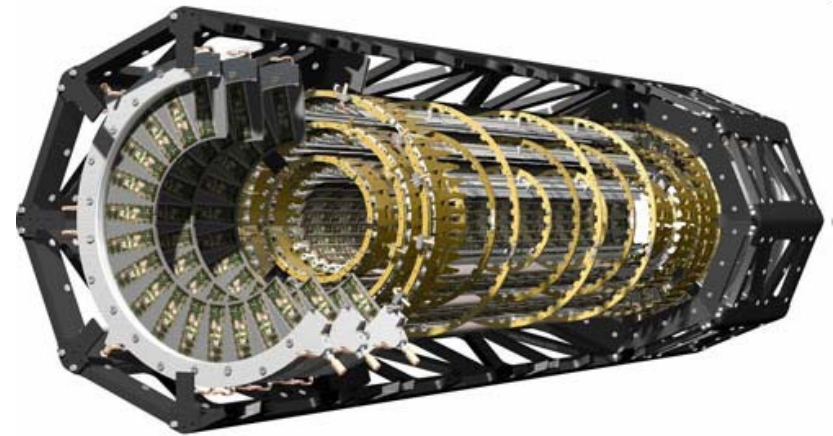
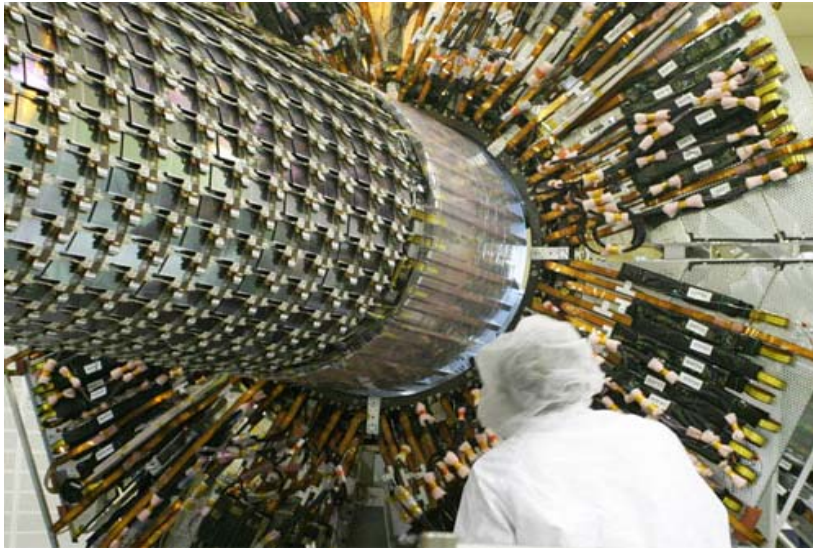


3. Detektoren

- ATLAS – Innerer Detektor
 - Prinzip: Bahnkrümmung der Teilchen durch Magnetfeld
 - Berechnung des Impulses aus bekanntem Magnetfeld, Bahn und Ladung
 - Für Bahnkurve: 3 verschiedene Detektortypen:
 - Pixeldetektor
 - Si-Streifendetektor
 - Transition-Radiation Tracker
 - Anforderung an Detektoren: 100 000 Teilchen/(s x mm²)
 - Teilchenlebensdauer: 1,5 ps (b-Quark) – sehr kurze Wege

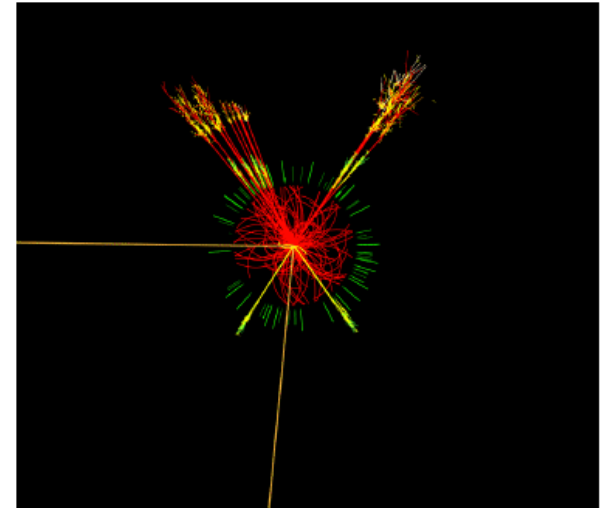


3. Detektoren



3. Detektoren

- ATLAS - Kalorimeter:
- Prinzip: Teilchen auf 0 gebremst und freigewordene Energie gemessen → Energie des Teilchens
- Dabei: Sekundärteilchen
- Teilchenschauer
 - Elektromagnetisches Kalorimeter (ECAL):
 - Wechselwirkung über EM-Kraft, Elektronen/Photonen vermessen/identifiziert
 - Hadronisches Kalorimeter (HCAL)
 - Wechselwirkung durch Ionisierung: Hadronen vermessen/identifiziert



3. Detektoren

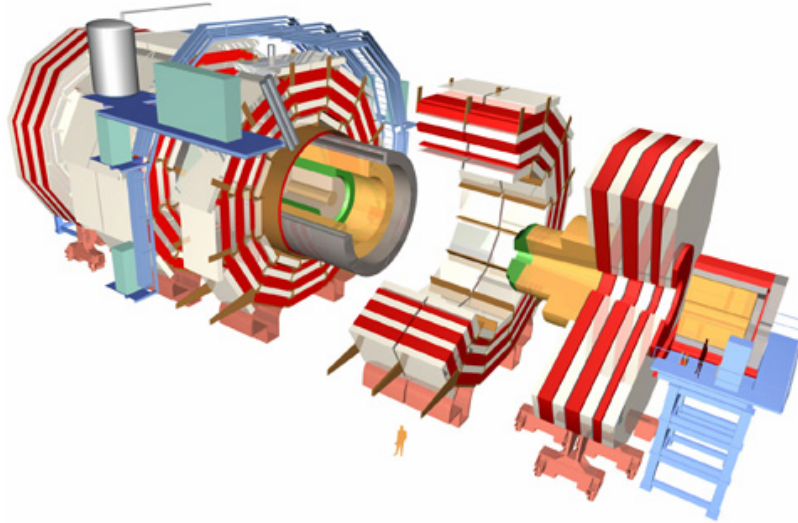
- ATLAS – Myonenspektrometer
- Umschließen Kalorimeter und Inneren Detektor
 - Für Impulsbestimmung der Teilchen
 - O(1 Mio.) Auslesekanäle/5500 m²
 - Höhere Impulsauflösung durch Größe
 - 3 Lagen verschiedener Myonendetektoren übereinander:
 - MDT-Kammern: Driftrohrkammern
- Danach: Datenflut durch Triggersystem auf <1000 Ereignisse/Sekunde reduziert

3. Detektoren

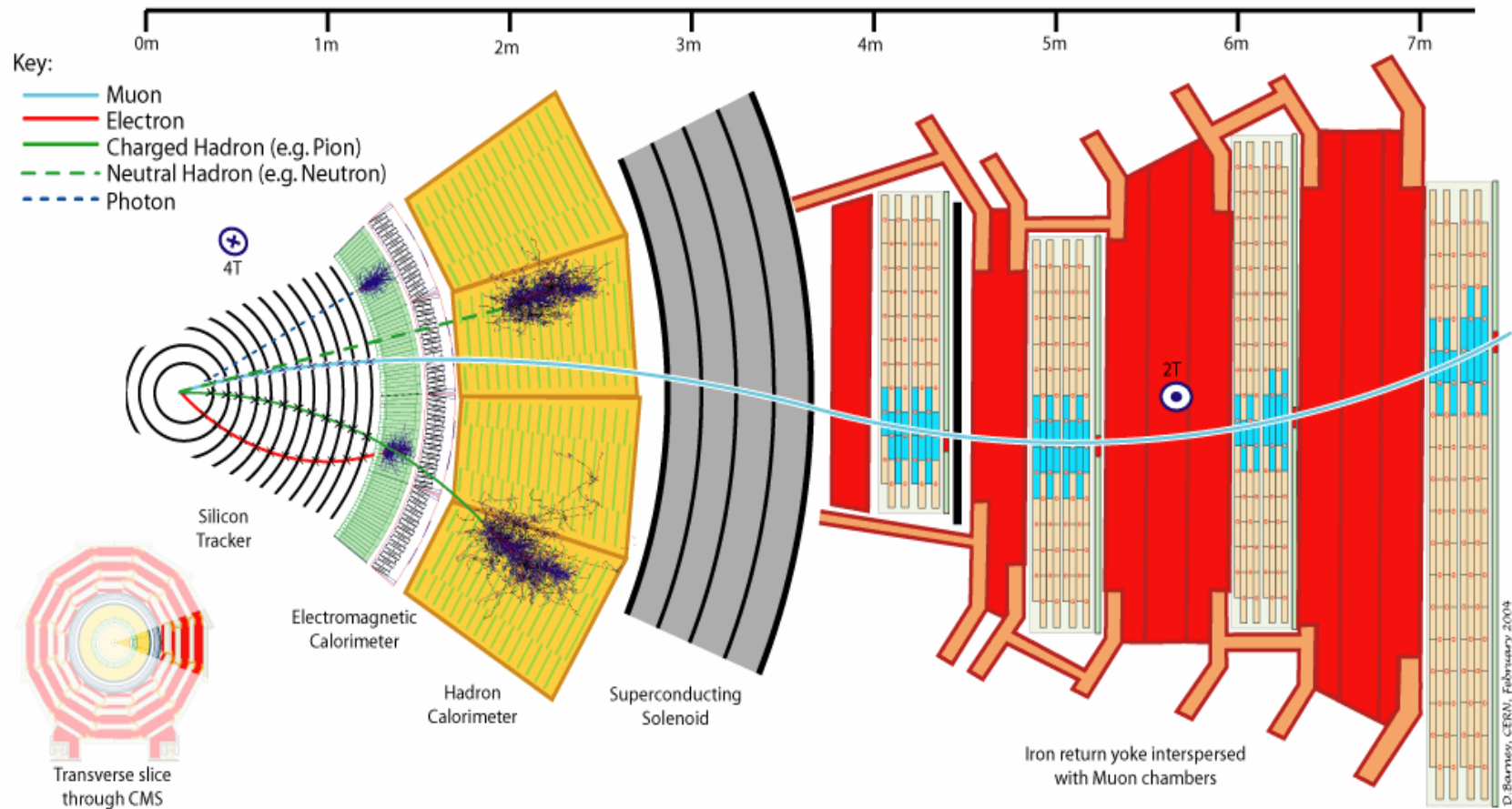
- Experimente von ATLAS:
 - Supersymmetrie: Nachweis von supersymmetrischen Gegenstücken von Elementarteilchen (v.a. „Squarks“, „Gluiinos“)
 - Dadurch: Supersymmetrie bestätigt
 - Nachweis des Higgs-Bosons
 - Einsichten in Dunkle Materie durch Energiediskrepanzen erhofft („Fußabdrücke“)
 - Verbesserte Massebestimmung des t-Quarks

3. Detektoren

- CMS (Compact Muon Solenoid)
 - Prinzipiell gleiche Teilchensorten wie ATLAS gemessen
 - Myonendetektor massiver als bei ATLAS
 - Kein Transition-Radiation-Tracker
 - Schwerer als Eiffelturm: 12000 t

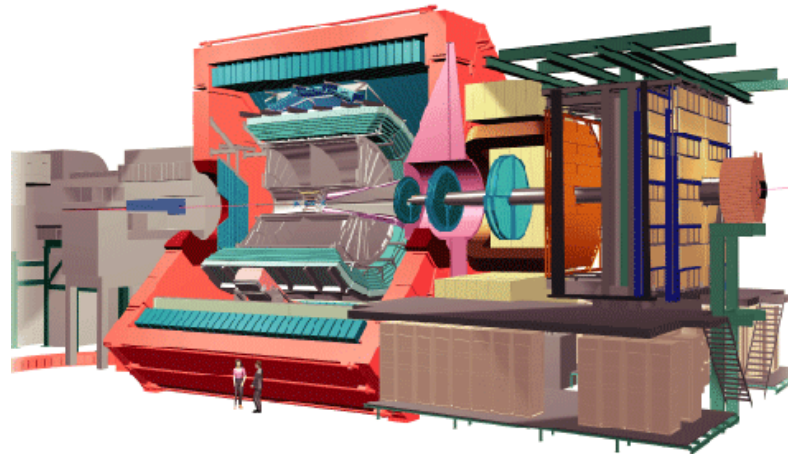


3. Detektoren



3. Detektoren

- ALICE
 - **A Large Ion Collider Experiment**
 - Kollision von Bleiionen bei 5,5 TeV
 - Erzeugung von Quark-Gluon-Plasma
 - Rehadronisierung → Mesonen und Baryonen



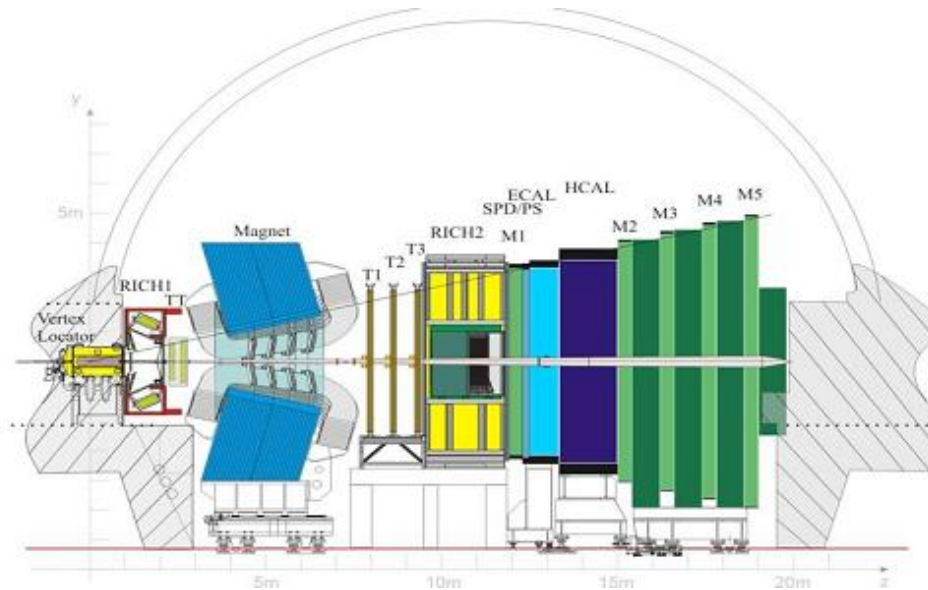
3. Detektoren



Bildquelle: www.lhc-facts.ch

3. Detektoren

- LHCb: **L**arge **H**adron **C**ollider **B**eauty
 - b-Meson-Zerfälle als Spezialgebiet
- Unterschiedlicher Aufbau zu anderen Detektoren:
 - Vorwärtsspektrometer



4.1. LHC in der Öffentlichkeit

- LHC in den Medien:
 - Großes Interesse an technischen und wissenschaftlichen Details des LHC
 - Überwiegend positive Reaktionen
- Allerdings auch Gerüchte:
 - Neuer Urknall am LHC → Erde zerstört
 - Schwarze Löcher am LHC → Erde zerstört
 - Antimaterie → Erde auch zerstört
 - Bildung eines stabilen Strangelets → Erde in strange matter verwandelt (zerstört)
 - Noch wesentlich weiter hergeholte Theorien

4.1. LHC in der Öffentlichkeit

- Reaktionen der Öffentlichkeit auf die Gerüchte:
 - Morddrohungen gegen Physiker, z.B. Frank Wilczek vom MIT
 - Klagen gegen Start des LHC
- Gegenargumente:
 - Wichtigstes: Kosmische Strahlung wesentlich energiereicher
 - Strangelets nicht erschaffbar, schon gar nicht in ausreichender Menge
 - Schwarze Löcher: zu klein, zerstrahlen in Hawking-Strahlung

4.2. „Magnet Quench“

- 19.9.2008: Schwere Unfall am LHC:
 - Widerstand zw. Dipol und Quadrupol bei Stromtest: 1V Spannung
 - Magnet nicht mehr supraleitend: „Quench“
 - Leck durch Lichtbogen in der Heliumhülle
 - Heliumeinstrom ins Vakuum des Kryostates, Vakuum degradiert rapide auch in Nachbarbereichen
 - Außerdem Druckerhöhung im Helium durch Lichtbogen

4.2. „Magnet Quench“



- Quenches in Nachbarsektoren ausgelöst
- Drücke zu hoch für Überdruckventile
- Gewaltige Kräfte durch nicht abgelassenen Druck des He-Kreislaufes
- Teilweise Dipole verschoben und Betonanker ausgerissen
- 2 t Helium in Tunnel: Notstopp ausgelöst, 6 t Gesamtverlust
- 235 Mio. \$ direkter Schaden

Ausblick

- LHC jetzt wieder lauffähig bei 7 TeV Schwerpunktsenergie
- Was kommt nach dem LHC?
 - International Linear Collider (ILC) als Komplement
 - Elektron-Positron-Collider
 - Höhere Präzision
 - 31 km linearer Collider
- Upgrade für den LHC: SLHC
 - Super Large Hadron Collider: Luminosität um Faktor 10 erhöht (laut Planung)
- 17.5 Physik-Kolloquium: Rolf Heuer, „Die Weltmaschine LHC am CERN – Einblicke in das frühe Universum“ 17:00

Quellen:

- lhc.web.cern.ch
- www.lhc-facts.ch
- www.medien-monitor.com
- www.weltderphysik.de