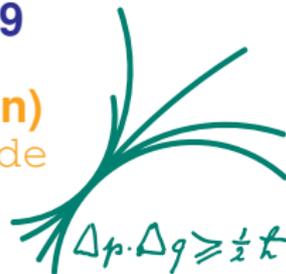


Experimentelle Teilchenphysik am MPP am Beispiel von ATLAS ...



München, 10. Dezember 2009

Richard Nisius (MPP München)
Richard.Nisius@mpp.mpg.de



Das MPP - Aufgabe und Geschichte

Die Ziele

- Am MPP betreiben wir Grundlagenforschung in Elementarteilchen- and Astroteilchenphysik, sowohl auf theoretischem als auch auf experimentellem Gebiet.

Die Geschichte

- 1917 Gegründet als **Kaiser-Wilhelm Institut für Physik** in Berlin.
Der Vorsitzende des Direktoriums war Albert Einstein.
- 1946 Wieder-gegründet in Göttingen. Seit 1948 ist das Institut Teil der MPG, und zwar als **MPI für Physik (MPP)**. Der Direktor war Werner Heisenberg.
- 1958 Umzug von Göttingen zum heutigen Standort (Architekt Sep Ruf) in München.
- 1960 Ausgliederung des Instituts für Plasmaphysik (IPP) in Garching.
- 1991 Ausgliederung der Institute für Extraterrestrische Physik (MPE) and für Astrophysik (MPA) in Garching.

Einige frühere Kollegen

- Peter Debye, Albert Einstein (NP 1922), Werner Heisenberg (NP 1933), Léon van Hove, Max von Laue (NP 1914), Gerhart Lüders, Carl Friedrich von Weizsäcker, Julius Wess, ...

Das MPP - Personal und Forschungsgebiete

Die heutigen Kollegen

- Das MPP hat etwa 160 festangestellte Mitarbeiter, von denen sind etwa 60 Wissenschaftler, 80 Personen arbeiten in den technischen Abteilungen, und 20 Personen in der Verwaltung.
- Zusätzlich haben wir im Mittel etwa 15 Gastwissenschaftler.
- Zur Zeit haben wir 60 Doktoranden und Diplomanden sowie 20 Auszubildende (Mechaniker, Elektroniker, Mechatroniker, ...).

Die Haupt-Forschungsgebiete

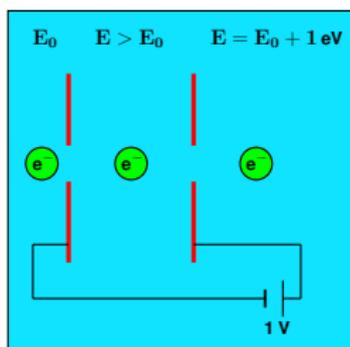
- Die Forschungsarbeiten umfassen theoretische Arbeiten auf verschiedenen Gebieten des Standardmodells und darüberhinaus, sowie Forschung in der Astroteilchenphysik, z.B. WIMPS (dunkle Materie) und Neutrinos, aber auch Stringtheorie.
- Das MPP has Beteiligungen an verschiedenen Experimenten der Hochenergiephysik an Beschleunigern, aber auch in einer Reihe von Nicht-Beschleuniger Experimenten.
- Zusätzlich betreiben MPE und MPP ein Halbleiterlabor (HLL) in München-Neuperlach zur Entwicklung neuer, strahlenharter Spurdetektoren zum Nachweis geladener Teilchen.



Das MPP hat ein breites Forschungsspektrum in theoretischer und experimenteller Physik.

Die Elementarladung und das Elektronenvolt

- Die Elementarladung $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb ist die elektrische Ladung Q eines Elektrons ($Q_{\text{Elektron}} = -Q_{\text{proton}}$ ein ungelöstes Rätsel!).
- Ein Teilchen der Ladung e , z.B. ein Elektron, das eine Spannung von einem Volt durchläuft, erhält eine Energie von $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Joule.



Gebäuchliche Einheiten:

| | | | | |
|-----|---|----------------------|---|--------------|
| keV | = | 1 000 eV | = | 10^3 eV |
| MeV | = | 1 000 000 eV | = | 10^6 eV |
| GeV | = | 1 000 000 000 eV | = | 10^9 eV |
| TeV | = | 1 000 000 000 000 eV | = | 10^{12} eV |

- Die Energie von 1 GeV ist viel für ein einzelnes Elektron, aber makroskopisch ist sie winzig. Sie reicht gerade mal, um eine Taschenlampe (1.6 Watt) für 0.000 000 000 1 s zum Leuchten zu bringen.

Energien werden typischerweise in GeV angegeben.

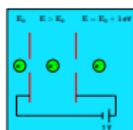
Die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation

- Die Quantenmechanik macht nur Wahrscheinlichkeitsaussagen, d.h. Aussagen über das mittlere Ergebnis vieler Ereignisse. Das Einzelereignis jedoch ist völlig unbestimmt!
- Mit der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation kann man das Auflösungsvermögen abschätzen.

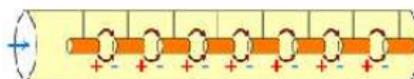
Faustformel: $\Delta x \Delta p = 0.2 \text{ GeV}$. Ein Teilchen mit Impuls 1 GeV kann also eine Struktur der Größe 0.2 fm auflösen. (1 fm = 10^{-15} m)

- Um diese kleinen Strukturen sehen zu können, müssen wir demzufolge

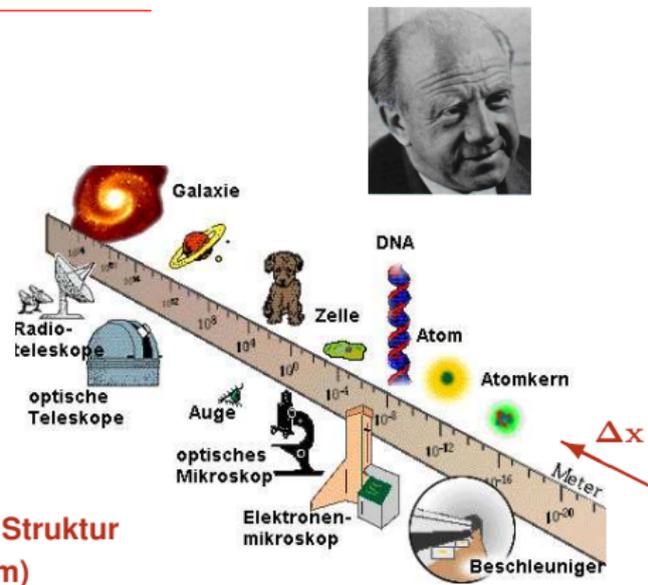
unsere



durch einen

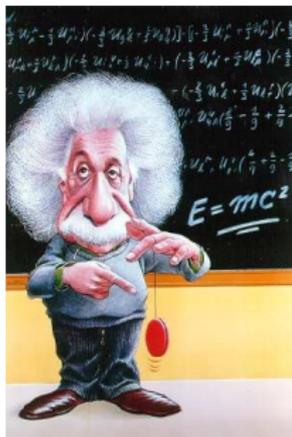


ersetzen.



Der Energiebegriff

- Energie hat viele Formen, die ineinander umgewandelt werden können.
Beispiele sind:
 - Die Bewegungsenergie (z.B. Wind zum Segeln).
 - Die Lage- oder potentielle Energie (z.B. Skilift).
 - Die Wärme (z.B. Aufheizen der Bremsscheiben beim Abbremsen).
- Eine im Alltag nicht so gebräuchliche Form der Energie ist die Masse.



$$E = mc^2$$

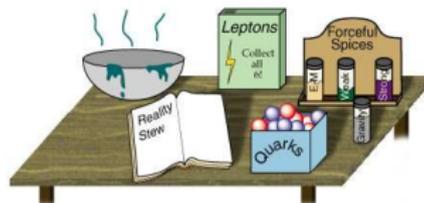
m = Masse, c = Lichtgeschwindigkeit = 1

Masse und Energie sind äquivalent (d.h. proportional)! Energie lässt sich in Teilchen / Masse umwandeln und umgekehrt!

- Massen von Teilchen werden in eV gemessen,
z.B. $m_e = 0.511 \text{ MeV}$ und $m_p = 0.938 \text{ GeV}$.

Der Stand der Dinge

– Unser heutiges Bild der Rezeptur



der Natur, ist:

| | | | |
|---------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Quarks | u up | c charm | t top |
| | d down | s strange | b bottom |
| Leptons | ν_e e- Neutrino | ν_μ μ - Neutrino | ν_τ τ - Neutrino |
| | e electron | μ muon | τ tau |
| | I | II | III |

- Es gibt drei Familien von Leptonen und Quarks.
- Sie sind Fermionen (Spin = 1/2), und nur die erste Familie bildet stabile Materie, $p = uud$ und $n = udd$.
- Zu jedem Teilchen gibt es ein Antiteilchen mit umgekehrten Ladungen aber sonst identischen Eigenschaften.
- Die Massen sind sehr verschieden und niemand weiß warum. Die Massen reichen von weniger als 1 eV für das ν_e bis zu 175 GeV (fast die Masse eines Gold-Atoms) für das top Quark.
- Eine Theorie zur Erklärung der Massen ist der Higgs-Mechanismus. In dieser Theorie wird ein zusätzliches Teilchen, das noch zu findende Higgs-Boson, vorhersagt.

Wir wollen das Massenspektrum erklären können.

Der Large Hadron Collider, 2009⁺⁺, $E_p = 7$ TeV



p

p



ATLAS



Die supraleitenden Magnete



| | |
|------------|---------|
| Anzahl | 1232 |
| Länge | 14.3 m |
| Gewicht | 35 t |
| B-Feld | 8.4 T |
| Temperatur | 1.9 K |
| Strom | 11700 A |
| Energie | 7.1 MJ |

Einzelheiten



Entdeckungspotential: $M_H = 100 - 1000$ GeV

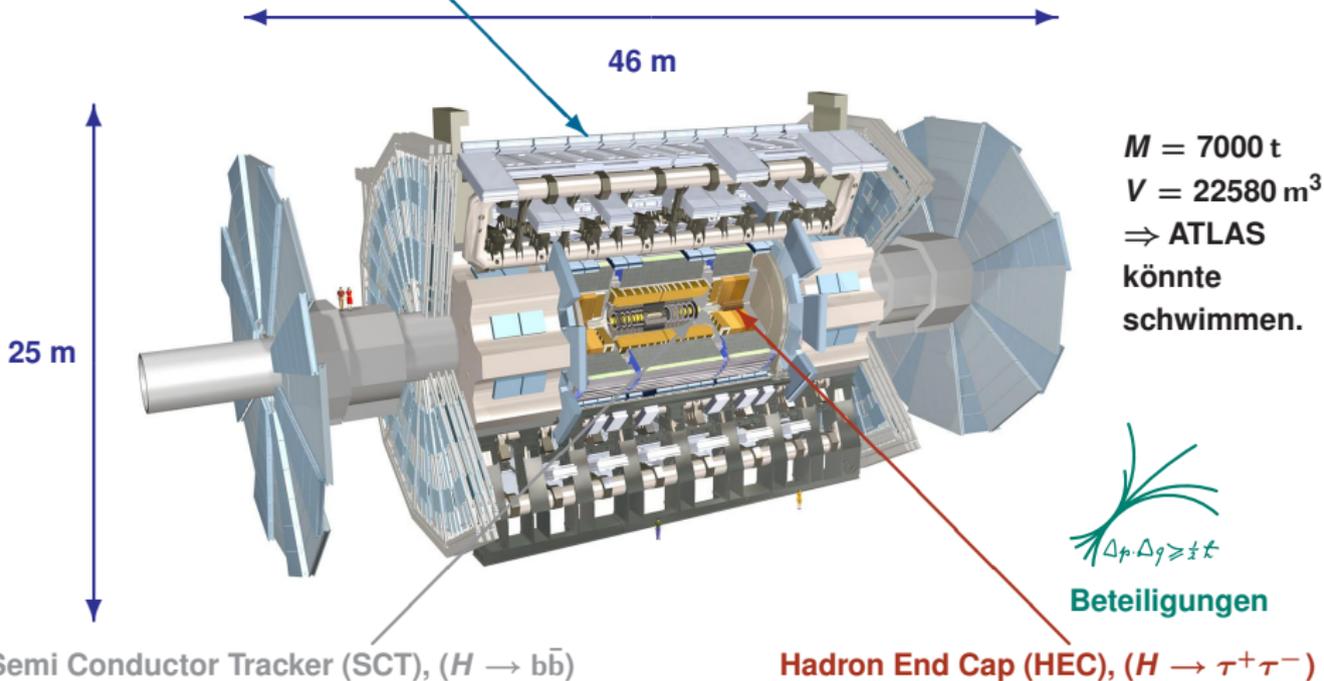
Ein Vergleichsobjekt



$M=7.5$ t, $v=150$ km/h

Der ATLAS Detektor

Monitored Drift Tubes (MDT), ($H \rightarrow ZZ \rightarrow 2\mu^+\mu^-$)



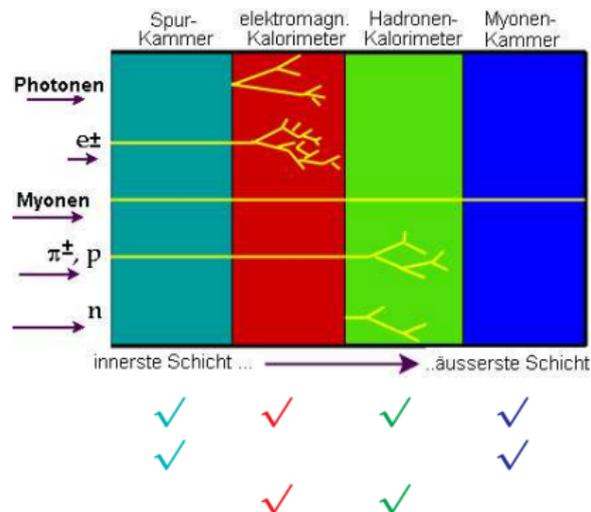
Das Bauprinzip von Teilchen-Detektoren und ein Beispiel

Das Prinzip

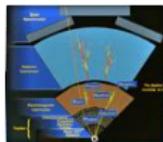
- Mit einer Art Zwiebelschalenanordnung um die Strahlröhre werden die verschiedenen Teilchen an Hand ihrer typischen Wechselwirkungen nachgewiesen.

Die Messgrößen

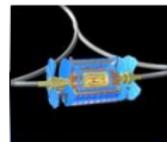
- Ort
- Impuls bzw. Geschwindigkeit
- Energie



Ein Beispiel LHC und der ATLAS Detektor



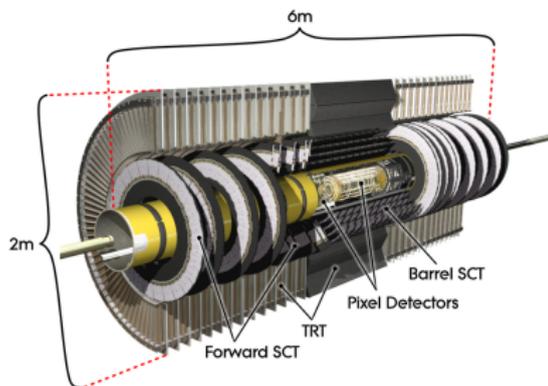
- Bei komplizierten Zerfällen wird aus der Summe aller Zerfallsprodukte auf die Eigenschaften der primär erzeugten Teilchen geschlossen.



Erst die Rekonstruktion aller Reaktionsprodukte gibt Aufschluß über die Reaktion.

Der ATLAS Siliziumstreifendetektor SCT

Schemazeichnung des Spurdetektors



Moduldetails

- 768 Streifen pro Seite
- Doppelseitige Elektronik mit 6 Chips pro Seite.

Ein paar Daten zum SCT

- Barrel: 4 Lagen.
- Endkappen: 2x9 Scheiben.
- Module: 4088, Barrel 2112, Endkappen 1976 (vier Sorten).

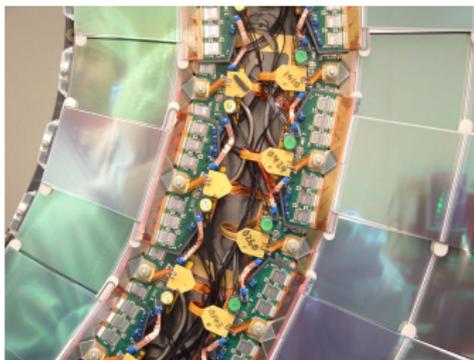
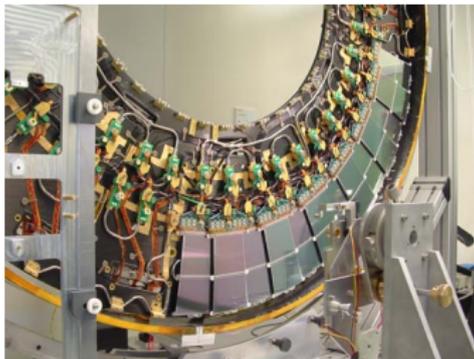
Ein SCT Endkappenmodul



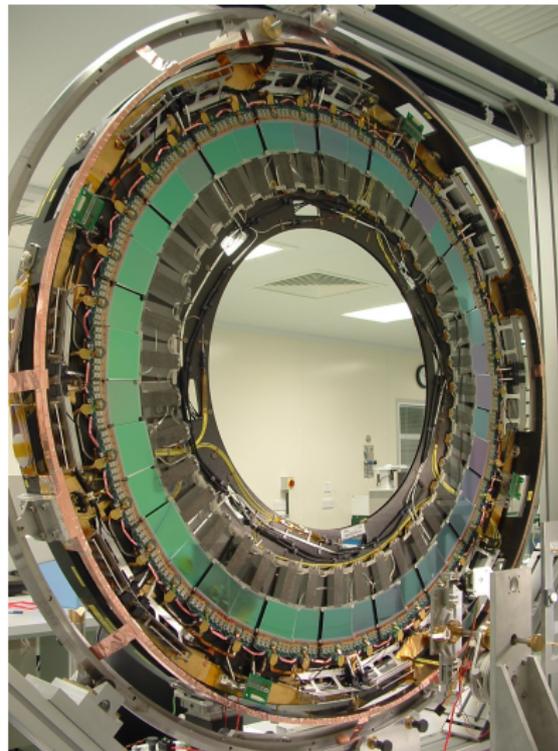
Am MPP München wurden 420 SCT Endkappenmodule gebaut.

Von Modulen zu Scheiben

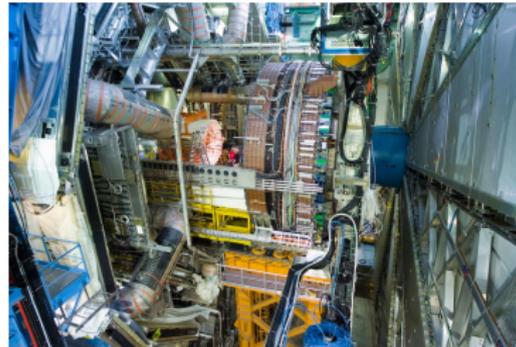
Die Vorderseite einer Scheibe



Die Rückseite einer Scheibe



Der Weg des SCT hinein in ATLAS



Der Zusammenbau des ATLAS Detektors erfolgte Stück um Stück über 6 Jahre.

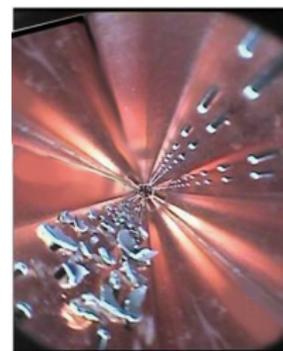
Der Betriebsunfall am 19. September 2008



Der Unfallablauf

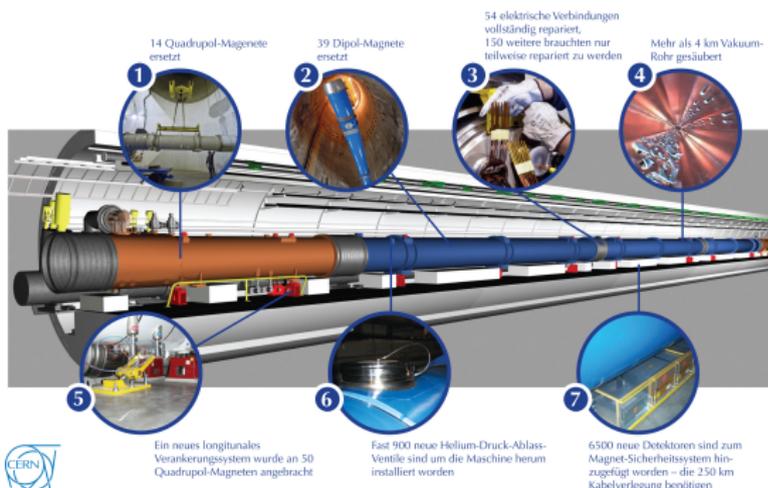
- Eine supra-leitende Verbindung wurde normal-leitend. Die Verbindung ist geschmolzen und der Lichtbogen hat die Heliumleitung perforiert.
- 6 t Helium sind in wenigen Sekunden verdampft. Die Druckwelle hat größere Bereiche des Beschleunigers aus der Verankerung gerissen.

Ein herber Rückschlag nach dem Bilderbuchstart am 10.09.2008.



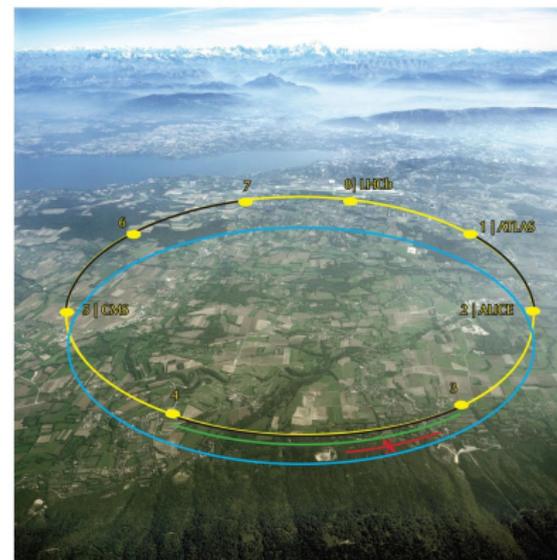
Der Weg zu einem sichereren Beschleuniger

Die Reparatur des LHC im Detail



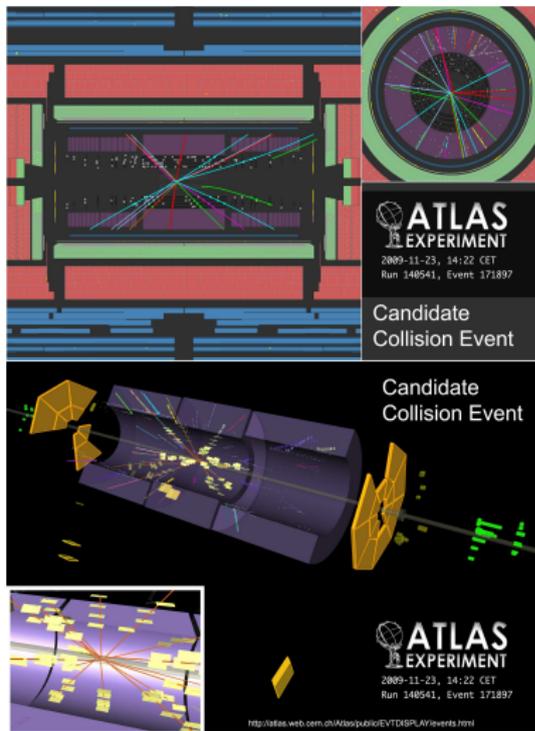
Seit dem 20. November 2009 läuft der LHC wieder.

Wo repariert wurde



- Neue Druck-Ablass-Ventile ergänzt
- Verbesserung des Magnet-Sicherheits-Systems
- Reinigung des Vakuum-Strahl-Rohrs
- Dipole- und Quadrupol-Magnete ersetzt sowie elektrische Verbindungen
- LHC-Ring
- X Störfall

Was wir schon gesehen haben



Chronologie der Ereignisse

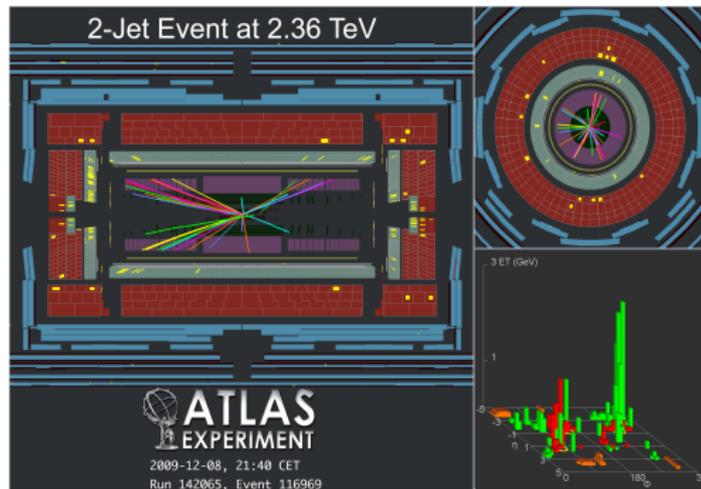
20.11.09 — Start von LHC.

23.11.09 — Kollisionen 2×0.45 TeV.

08.12.09 — Kollisionen 2×1.18 TeV.

17.12.09 — Ende der Datennahme 2009.

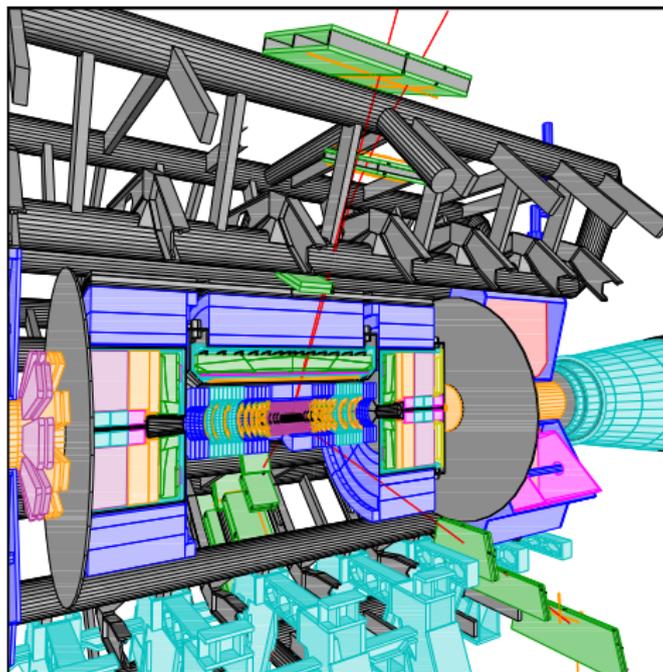
14.02.10 — Start Datennahme, Ziel 2×3.5 TeV.



Seit dem 8.12.09 hält der LHC den Energie-Weltrekord für Beschleuniger Teilchenkollisionen.

Worauf wir sehnlichst warten

$$H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$$



Hoffen wir, dass die Natur uns solch klare Ereignisse serviert.

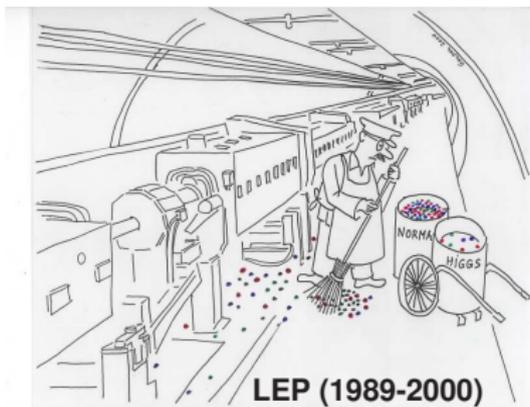
Anstelle einer Zusammenfassung

Peter Higgs



Was so  begann, ...

... nahm so



LEP (1989-2000)
Tevatron (1992-heute)

seinen Lauf, und endet ...



... LHC (2010-?)
vielleicht so

Karl Gustav von Schweden

?



Eine unvollständige Liste interessanter Links



Dieser Vortrag

<http://www.mpp.mpg.de/~nisius/welcomeaux/lehre.html>



Die Startseite der Deutschen Teilchenphysik

<http://www.teilchenphysik.de>

Ein Lernprogramm der Universität Erlangen

<http://www.solstice.de/teilchenphysik/>



Fun with ..., eine Sammlung von Cartoons von Prof. C. Grupen

<http://www.hep.physik.uni-siegen.de/grupen>



Physik mit Musik, der LHC Rap von Katie MCA Alpine (alpinecat)

<http://www.youtube.com/watch?v=j50ZssEojtM>

Danke für die Aufmerksamkeit ... und ... viel Spass beim Weiterlesen.