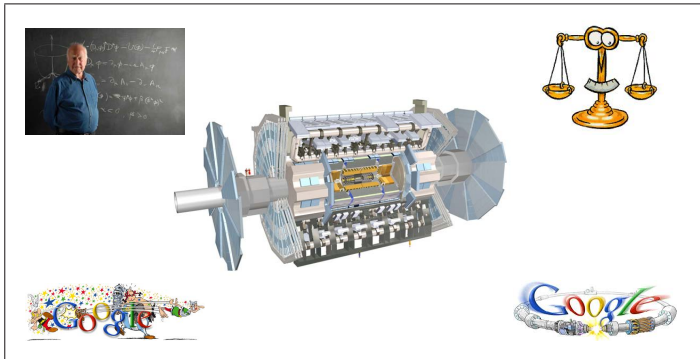


Obelix und Higgs - zwei Männer ein Problem?

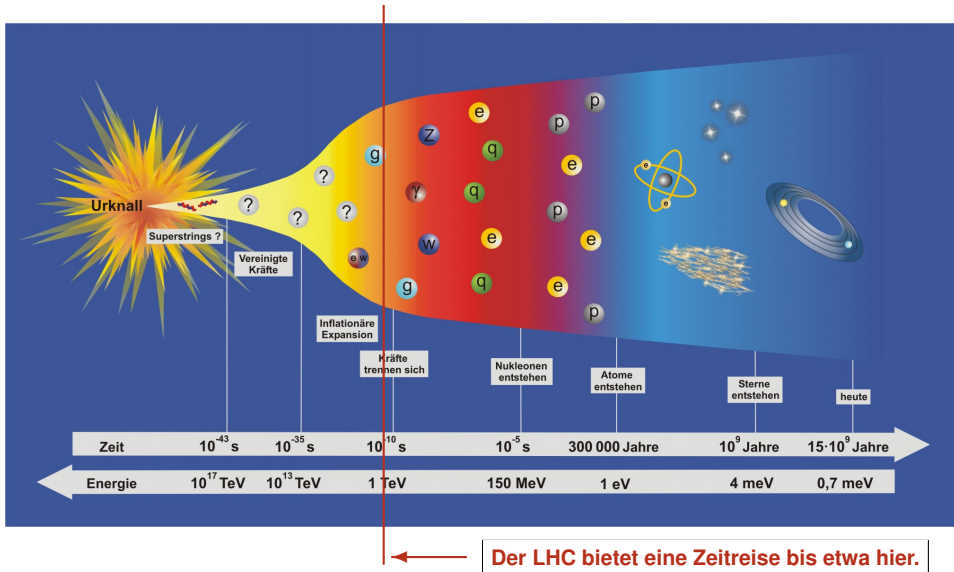


München, 11. November 2010

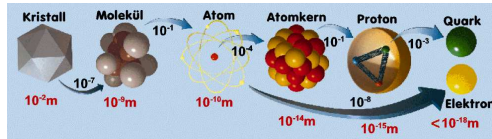
Richard.Nisius@mpp.mpg.de
(MPP München)



Mit dem Large Hadron Collider (LHC) in Richtung Urknall



Dass ich erkenne, was die Welt, im Innersten zusammenhält

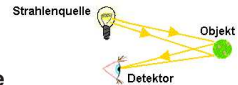


Die zwei Hauptfragen der Elementarteilchenphysik

- Welches sind die kleinsten Bausteine der Natur, und was sind ihre Eigenschaften?
- Was sind die fundamentalen Wechselwirkungen dieser Bausteine?

Der Weg der Beschleunigerphysik

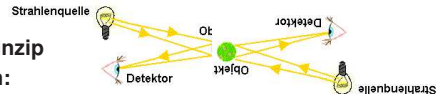
- Zur Lösung braucht man einen Weg kleinste Strukturen und ihre Wechselwirkungen zu sehen, d.h. in irgendeiner Form zu messen.



- Wir machen zwar ein



aber das Prinzip bleibt gleich:



Was immer man tut, sehen ist und bleibt ein Streuprozess.

Probleme mit der Masse?

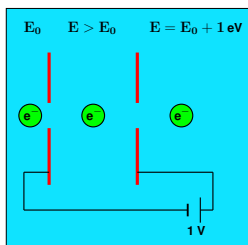


- Wieso habe ich eine so große Masse? **Wildschweine!**
- Klar, Wildschweine haben innere Struktur, sie bestehen z.B. aus **Fleisch**. Fleisch hat eine Masse, also haben Wildschweine eine Masse. Aber wieso hat Fleisch eine Masse?
- Klar, Fleisch besteht aus **Eiweißen**. Eiweiße haben eine Masse, also Aber wieso ... ?
- Klar, Eiweiße bestehen aus **Molekülen**. Moleküle haben eine Masse, also Aber wieso ... ?
- Klar, Moleküle bestehen aus **Atomen**. Atome haben eine Masse, also Aber wieso ... ?
- Klar, Atome bestehen aus **Protonen** und **Neutronen**. P und n haben eine Masse, also Aber wieso ... ?
- Klar, Protonen und Neutronen bestehen aus **Quarks**.
Aber wieso haben Quarks eine Masse?

Wir brauchen eine andere Erklärung als den Aufbau aus kleineren massiven Bausteinen.

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:

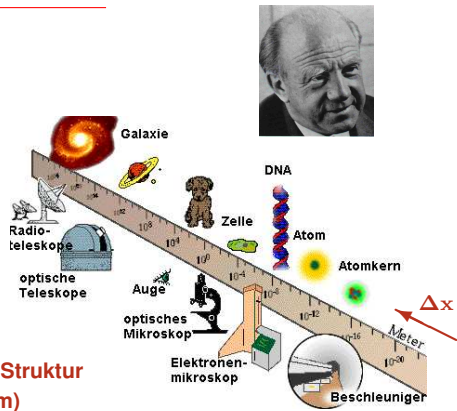
keV	=	1 000 eV	=	10^3 eV
MeV	=	1 000 000 eV	=	10^6 eV
GeV	=	1 000 000 000 eV	=	10^9 eV
TeV	=	1 000 000 000 000 eV	=	10^{12} eV

- 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 oder TeV 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)

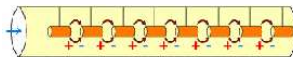


- Um diese kleinen Strukturen sehen zu können, müssen wir demzufolge

unsere



durch einen



ersetzen.

Vom Hausbeschleuniger zum Kreisbeschleuniger



Funktionsprinzip

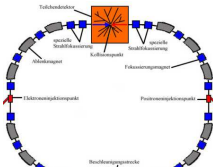
Energiezufuhr durch elektrisches Feld und Ablenkung durch Magnetfeld $\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

Leistungsmerkmale

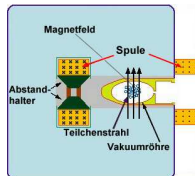
Beschleunigtes Objekt: Elektron
 Spannung: 20 kV
 Auflösungsvermögen: 10 000 fm

Im Prinzip nicht schlecht, aber ein bißchen mehr sollte es schon sein!

Prinzipskizze



Ablenkung

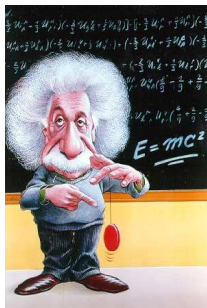


Beschleunigung



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 Brems Scheiben beim Abbremsen).
- Eine im Alltag nicht so gebräuchliche Form der Energie ist die Masse.



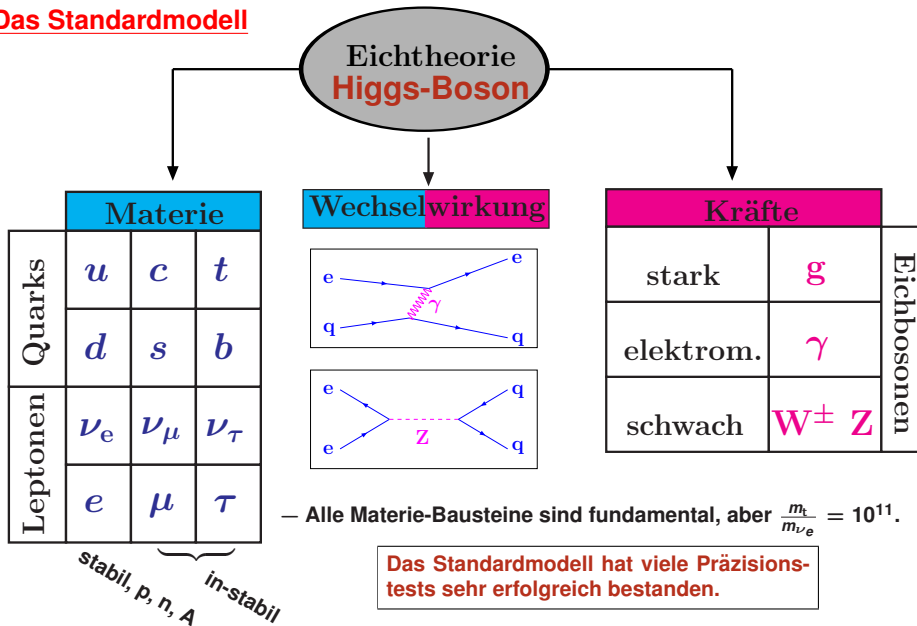
$$E = mc^2$$

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 $m_p = 0.938 \text{ GeV}$.

Das Standardmodell

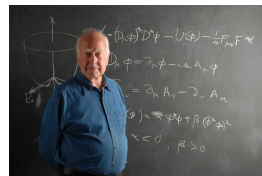


Probleme mit der Masse - eine mögliche Lösung

Die Vermutung (1965)

- Fundamentale Teilchen, sowohl Fermionen als auch Bosonen, sind an sich masselos.
- Massen werden erst durch Wechselwirkungen mit einem Hintergrundfeld, dem **Higgsfeld**, erzeugt.
- Je stärker die Kopplung, um so größer die Masse.

Der Vater des Gedankens



Peter Higgs

Die Konsequenz

- Die Existenz des **Higgs-Bosons** als Anregung des **Higgsfelds**.

Die Vorhersagen des Standardmodells

- Die Kopplungen des **Higgs-Bosons** an alle Teilchen sind vorhergesagt, und damit liegen die Zerfallskanäle und -raten des **Higgs-Bosons** bei gegebener Masse fest.

Die Masse des Higgs-Bosons ist nicht vorhergesagt und muß gemessen werden.

Ein Teilchen im Higgsfeld



Eine gleich verteilte Gruppe eifrig diskutierender Physiker am Konferenzbuffet \Leftrightarrow Higgsfeld

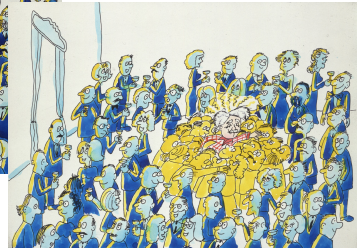


Ein sehr beliebter (an sich masseloser) Kollege betritt den Raum \Leftrightarrow Teilchen



Wildschweine? So ein Unsinn ich bin einfach nur seeeeeehr beliebt.

Cartoons © CERN, Uderzo



Die erfreut mitgehenden Physiker behindern ihn in seiner Bewegung in Raum und Zeit. Er (das Teilchen) bekommt dadurch seine Masse.

Das Higgs Boson als Anregung des Higgsfelds



Das baldige Erscheinen eines Nobelpreisträgers wird angekündigt
 \Leftrightarrow Anregung des Higgsfelds



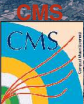
Was, hier ist kein Platz für mich? Die spinnen die ...

Cartoons ©CERN, Uderzo



Die neugierigen Kollegen sammeln sich spontan lokal an einem Platz in der Hoffnung auf ein kurzes Gespräch mit dem Nobelpreisträger. Diese Anregung des Felds \Leftrightarrow Higgs-Boson

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



p

p

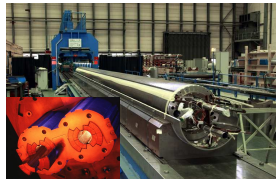


ATLAS



LHCb
THCP
LHCb

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



590 t

$v=18(620)$ km/h

Beschleunigung und Teilchenkollisionen



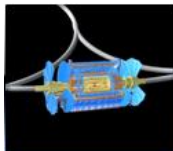
Cable Car

- Masse = 7 t.
- $F = 5 \text{ m}^2$.

Ein paar Daten

- 26.6 km Umfang.
- 3300 Umläufe je Blinzeln.
- $1.15 \cdot 10^{11}$ Protonen je Paket.
- 2808 Pakete je Strahl.
- 7 TeV Endenergie je Proton.
- 362 MJ Energie je Strahl.
- $F = 10^{-11} \text{ m}^2$ Strahlquerschnitt

LHC und ATLAS



LHC 2009++

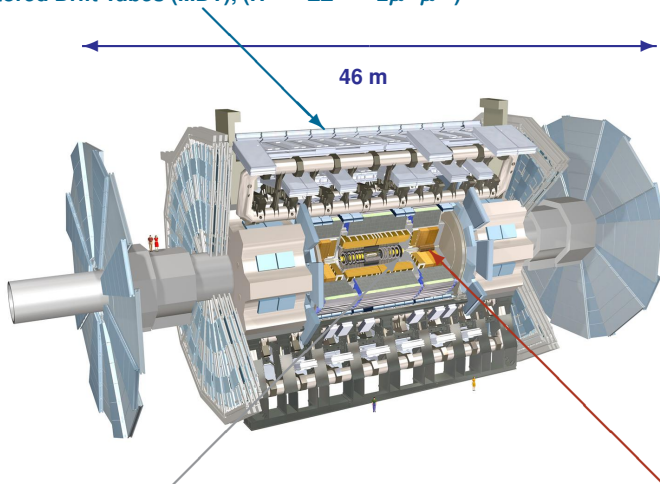
Eine immense Energiedichte

$$\frac{F_{\text{CableCar}}}{F_{\text{Strahl}}} = \frac{\text{Image of Earth}}{\text{Image of Hot Air Balloon}}$$

Die Kollision der Strahlen entspricht der zweier Cable Cars mit $v=1150 \text{ km/h}=\text{Mach } 0.94$.

Der ATLAS Detektor

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



$M = 7000 \text{ t}$
 $V = 22580 \text{ m}^3$
 \Rightarrow ATLAS
 könnte
 schwimmen.



Beteiligungen

Semi Conductor Tracker (SCT), ($H \rightarrow b\bar{b}$)

Hadron End Cap (HEC), ($H \rightarrow \tau^+\tau^-$)

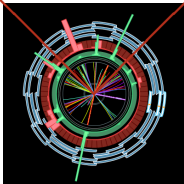
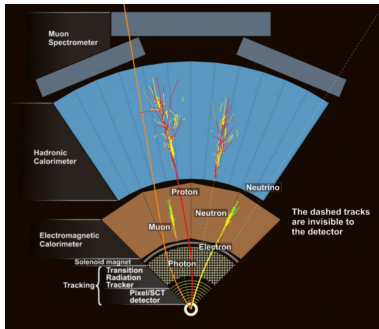
Das Bauprinzip von Teilchen-Detektoren

Das Prinzip

- In einer Art Zwiebelschalendesign um die Strahlröhre werden die verschiedenen Teilchen an Hand ihrer typischen Wechselwirkungen nachgewiesen.
- Die Messgrößen sind Ort, Impuls, Ladung, Energie...
- Bei komplizierten Zerfällen wird aus der Summe aller Zerfallsprodukte auf die Eigenschaften der primär erzeugten Teilchen geschlossen.
- Datenmenge einer 100 Megapixel Kamera mit 40 Millionen Schnappschussmöglichkeiten pro Sekunde.
- Ein 3-stufiger Entscheidungsprozess bringt uns von

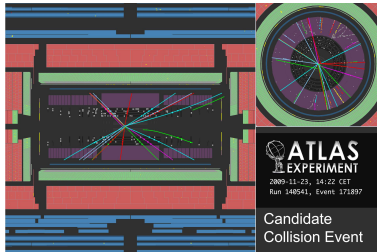
40 MHz →  ,  ,  → 200 Hz.

- Die jährliche Rohdatenmenge: 1000  à 2 TB.



Bau- und Betrieb von Teilchendetektoren sind sehr komplexe Aufgaben.

Die Chronologie der Ereignisse



<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/Public/EVTDISPLAY/events.html>

20.11.09 — Start von LHC.

← 23.11.09 — Kollisionen 2 x 0.45 TeV.

08.12.09 — Kollisionen 2 x 1.18 TeV.

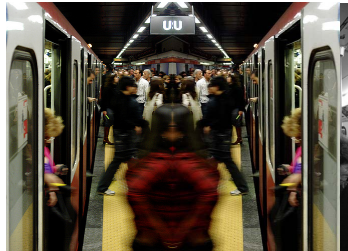
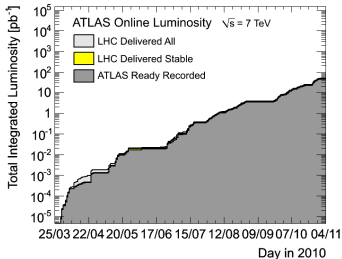
17.12.09 — Ende der Datennahme 2009.

28.03.10 — Start Datennahme 2 x 3.5 TeV.

11.11.10 — Gesammelte Luminosität 45 pb^{-1} .

— Luminosität = Anzahl Ereignisse für Reaktion mit
 $1 \text{ pb} = 10^{-40} \text{ m}^2$ Wirkungsquerschnitt.

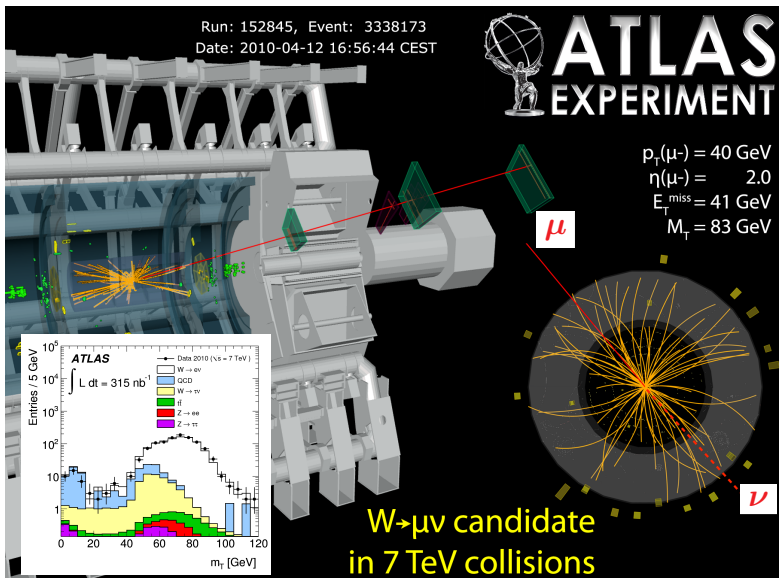
Ein simples Luminositätsmodell



Unsere Lernkurve ist etwa exponentiell, und es fehlt *nur* noch ein Faktor 100.

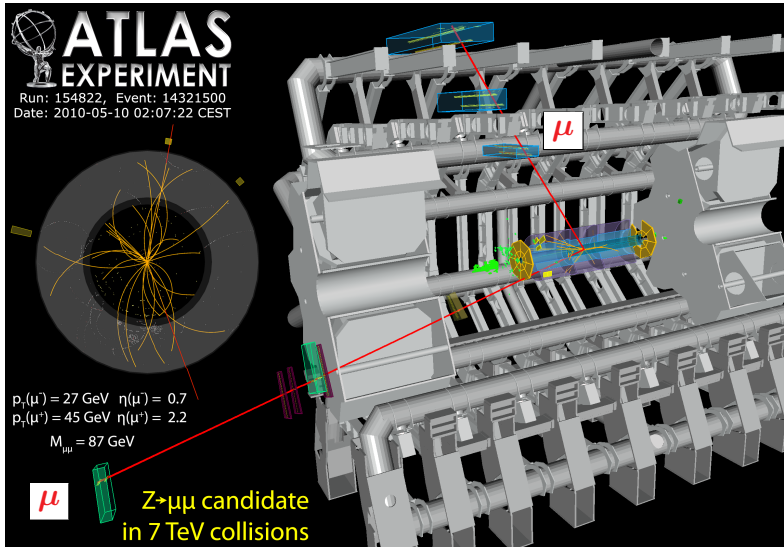
Ein W-Boson Zerfall

$$pp \rightarrow W + X \rightarrow \mu \nu + X$$



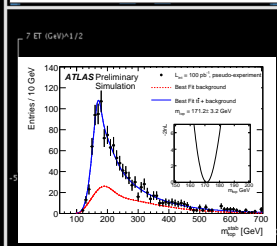
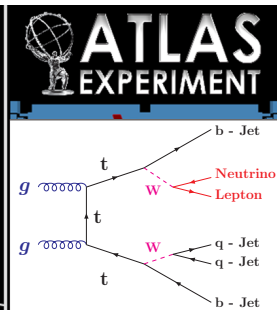
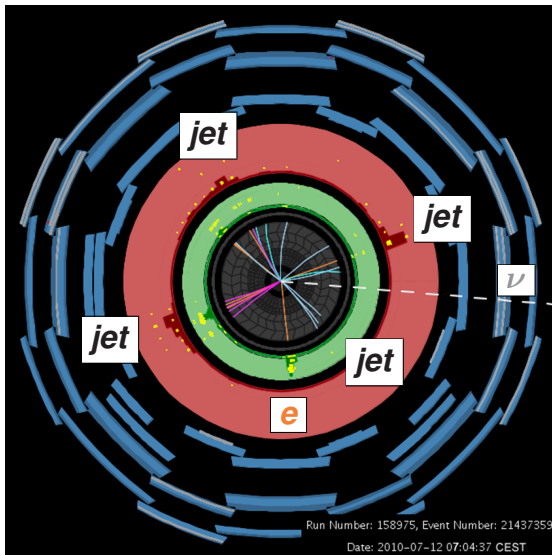
Ein Z-Boson Zerfall

$$pp \rightarrow Z + X \rightarrow \mu\mu + X$$



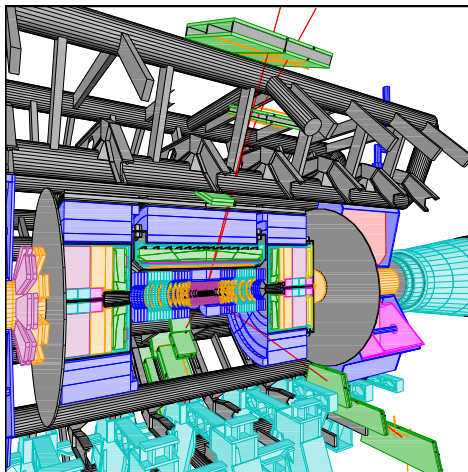
Ein Top-Quark Paarereignis

$$t\bar{t} \rightarrow b e \nu b q q$$



Worauf wir sehnlichst warten

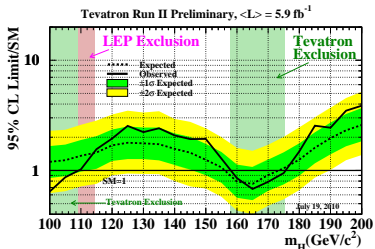
$$H \rightarrow ZZ \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$$



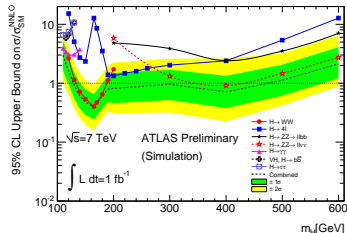
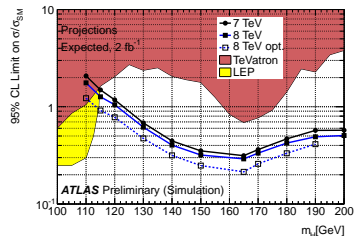
Hoffen wir, dass die Natur uns solch klare Ereignisse serviert.

Status und Erwartung in naher Zukunft

Der aktuelle Status von LEP und Tevatron



LHC Erwartung (Simulation bis 2011-2012)



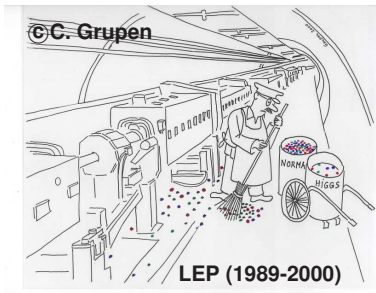
- Die Bereiche $M_H < 114.4 \text{ GeV}$ (LEP) und $158 \text{ GeV} < M_H < 175 \text{ GeV}$ (Tevatron) sind mit 95% CL ausgeschlossen.
- Higgs existiert á la SM \Rightarrow ATLAS+CMS kombiniert liefern 3σ Entdeckung für $130 \text{ GeV} < M_H < 430 \text{ GeV}$.
- Higgs existiert nicht \Rightarrow ATLAS oder CMS liefern Ausschluss für $130 \text{ GeV} < M_H < 460 \text{ GeV}$.

Die nahe Zukunft sollte die Frage nach der Existenz des Higgs-Bosons beantworten.

Anstelle einer Zusammenfassung

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

Was so  begann, ...



... nahm so

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

seinen Lauf, und endet ...



...vielleicht so

