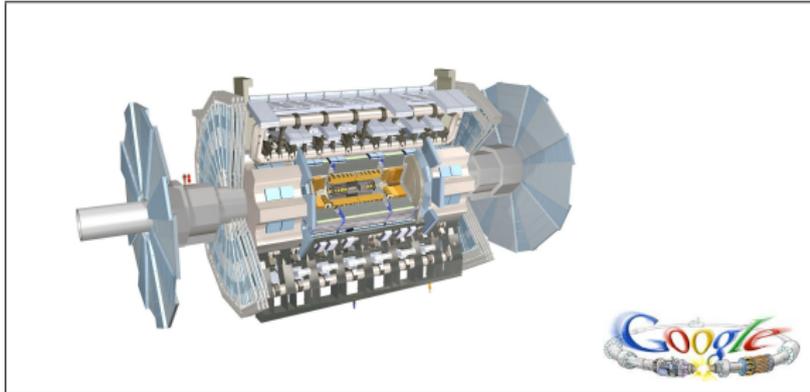


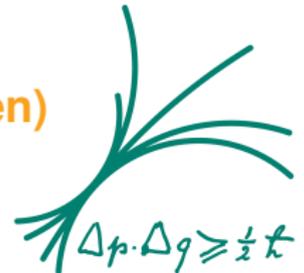
Probleme mit der Masse - gibt es da nicht was von ATLAS



München, 25. Juni 2009

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

EXPEDITIONZUKUNFT
SCIENCE EXPRESS



Probleme mit der Masse?

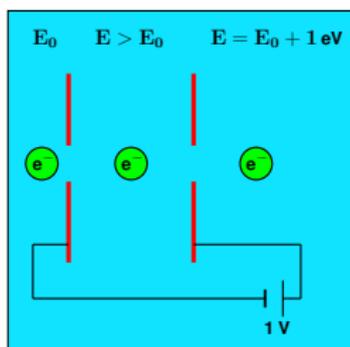


- Wieso habe ich eine so große Masse? **Wildschweine?**
- Klar, Wildschweine haben innere Struktur, sie bestehen z.B. aus **Fleisch**. Fleisch hat eine Masse, also haben Wildschweine eine Masse. Aber wieso hat Fleisch eine Masse?
- Klar, Fleisch besteht aus **Eiweißen**. Eiweiße haben eine Masse, also 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:

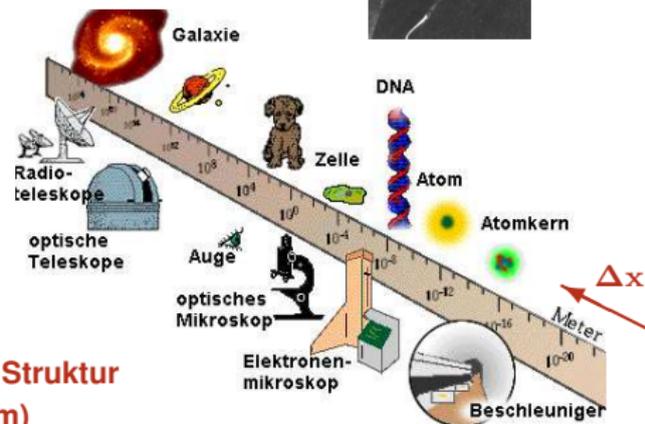
keV	=	1 000 eV	=	10^3 eV
MeV	=	1 000 000 eV	=	10^6 eV
GeV	=	1 000 000 000 eV	=	10^9 eV
TeV	=	1 000 000 000 000 eV	=	10^{12} eV

- 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 angegeben.

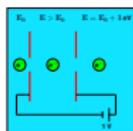
Die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation

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

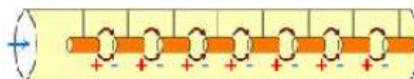


- Um diese kleinen Strukturen sehen zu können, müssen wir demzufolge

unsere



durch einen



ersetzen.

Vom Hausbeschleuniger zum Kreisbeschleuniger



Funktionsprinzip

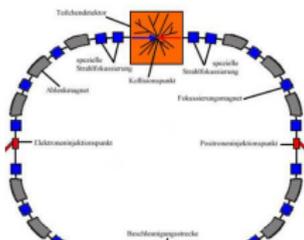
Energiezufuhr durch elektrisches Feld und Ablenkung durch Magnetfeld $\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

Leistungsmerkmale

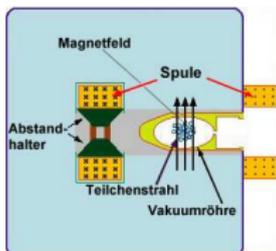
Beschleunigtes Objekt: Elektron
Spannung: 20 kV
Auflösungsvermögen: 10 000 fm

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

Prinzipskizze



Ablenkung

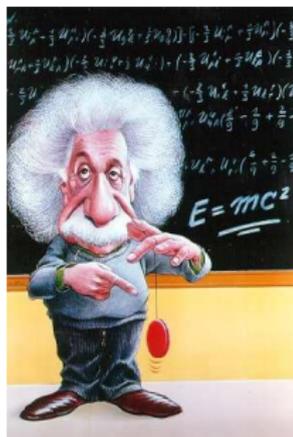


Beschleunigung



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



$$E = mc^2$$

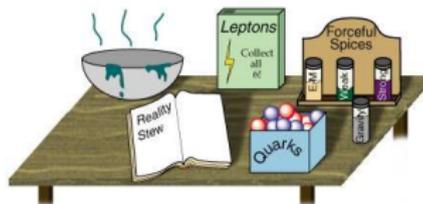
m = Masse, c = Lichtgeschwindigkeit = 1

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.

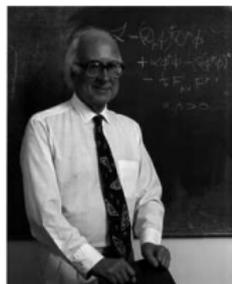
Wir wollen das Massenspektrum erklären können.

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

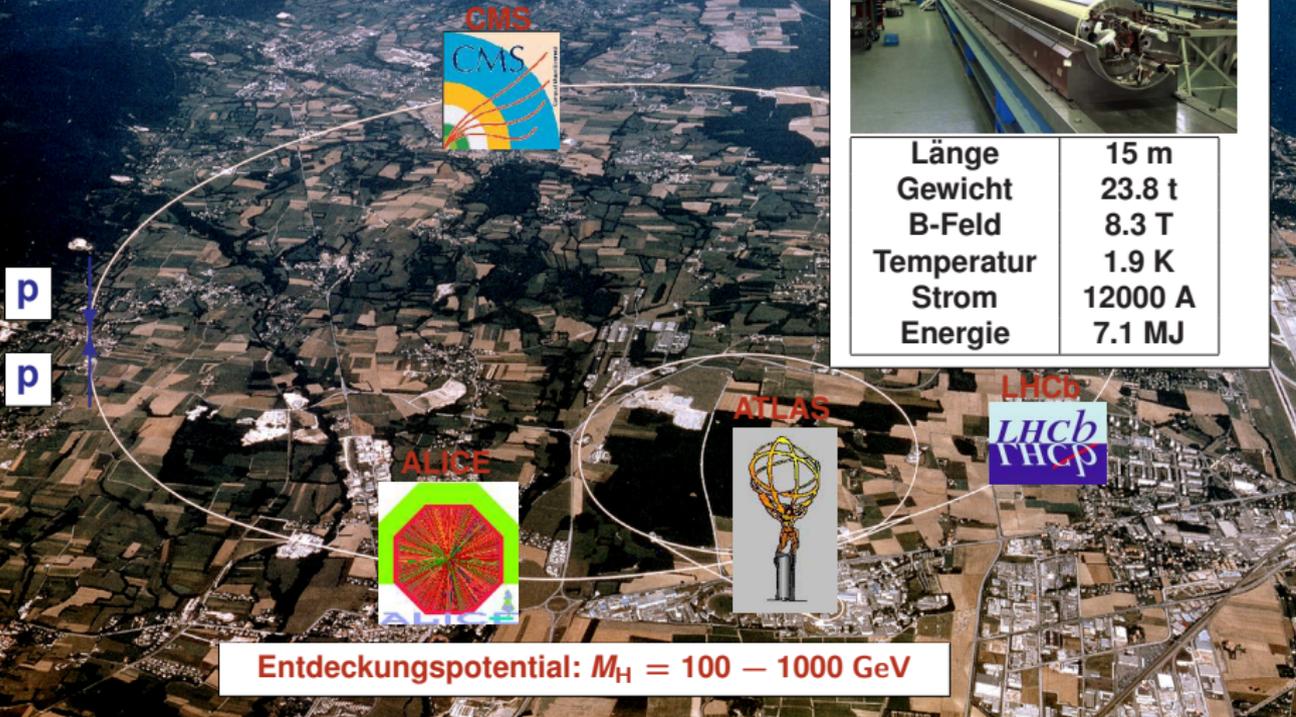
- Die Existenz des (Spin = 0) **Higgs-Bosons** als Anregung des **Higgsfeldes**.

Die Vorhersagen des Standardmodells

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

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

Der Large Hadron Collider, 2009⁺⁺, $E_p = 7 \text{ TeV}$



Die supraleitenden Magnete

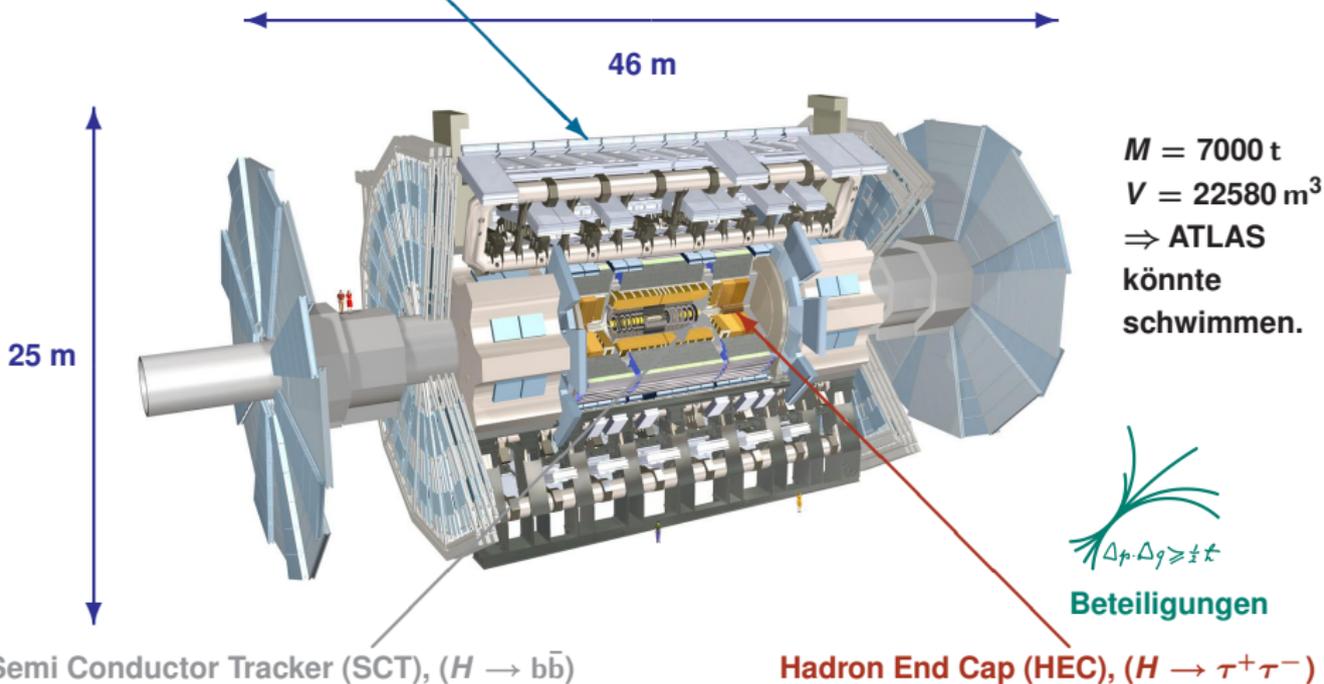


Länge	15 m
Gewicht	23.8 t
B-Feld	8.3 T
Temperatur	1.9 K
Strom	12000 A
Energie	7.1 MJ

Entdeckungspotential: $M_H = 100 - 1000 \text{ GeV}$

Der ATLAS Detektor

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



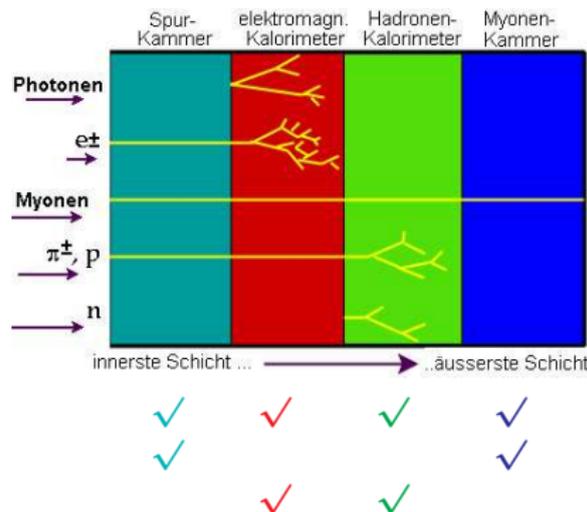
Das Bauprinzip von Teilchen-Detektoren und ein Beispiel

Das Prinzip

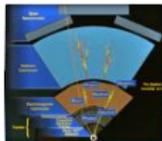
- Mit einer Art Zwiebelschalenanordnung um die Strahlröhre werden die verschiedenen Teilchen an Hand ihrer typischen Wechselwirkungen nachgewiesen.

Die Messgrößen

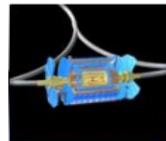
- Ort
- Impuls bzw. Geschwindigkeit
- Energie



Ein Beispiel LHC und der ATLAS Detektor



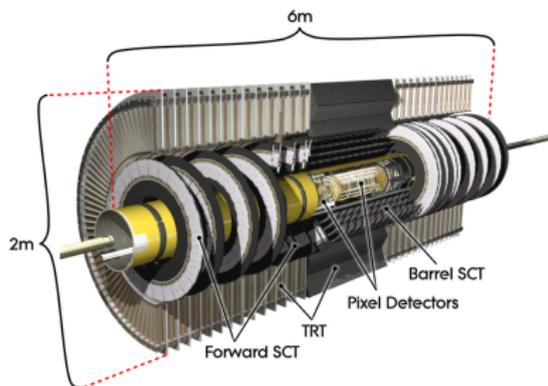
- Bei komplizierten Zerfällen wird aus der Summe aller Zerfallsprodukte auf die Eigenschaften der primär erzeugten Teilchen geschlossen.



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).

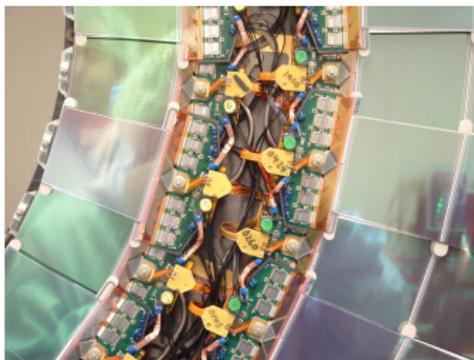
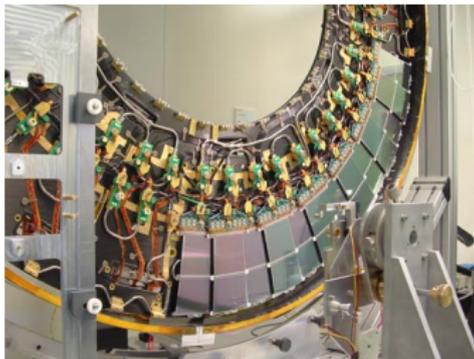
Ein SCT Endkappenmodul



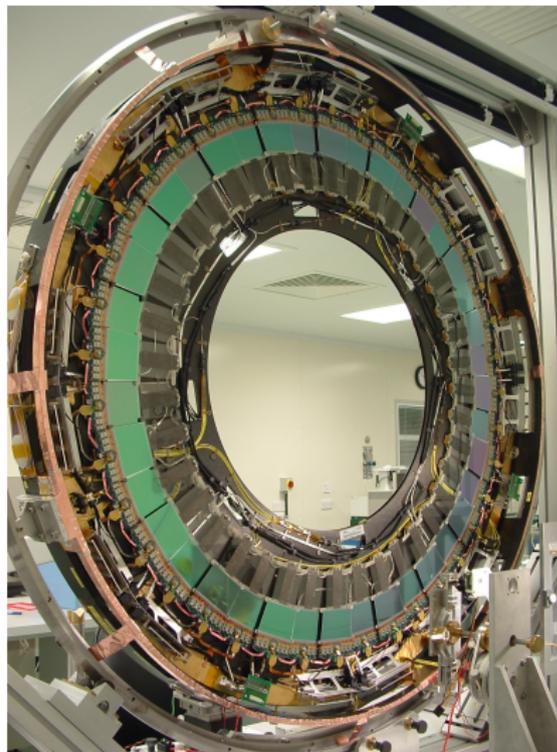
Am MPP München wurden 420 SCT Endkappenmodule gebaut.

Von Modulen zu Scheiben

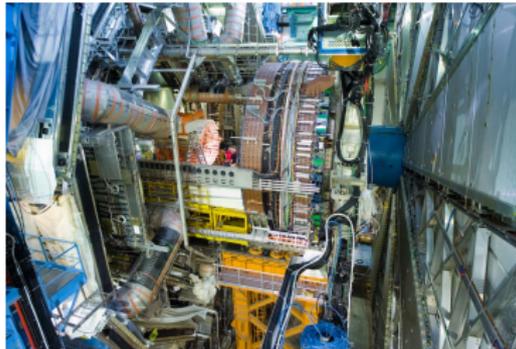
Die Vorderseite einer Scheibe



Die Rückseite einer Scheibe



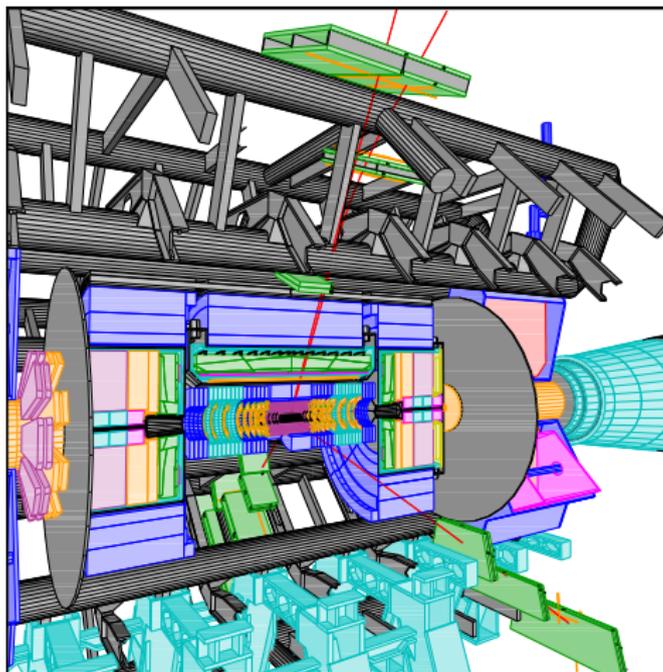
Der Weg des SCT hinein in ATLAS



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

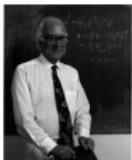
Worauf wir sehnlichst warten

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

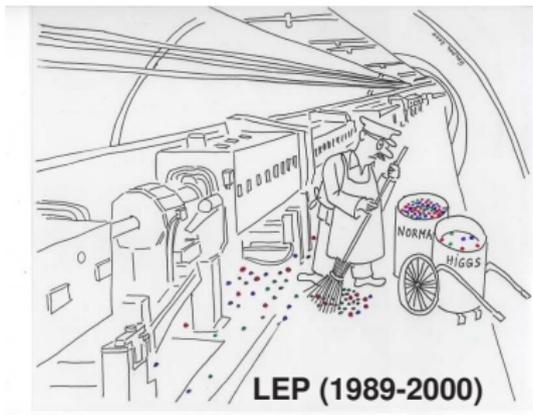


Hoffen wir, dass die Natur uns solch klare Ereignisse serviert.

Anstelle einer Zusammenfassung



Was so ... begann, ...



... nahm so

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

seinen Lauf, und endet ...



...vielleicht so



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/>



Eine Sammlung von Porträts vieler bekannter Physiker/innen

<http://th.physik.uni-frankfurt.de/jr/portraits.html>

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