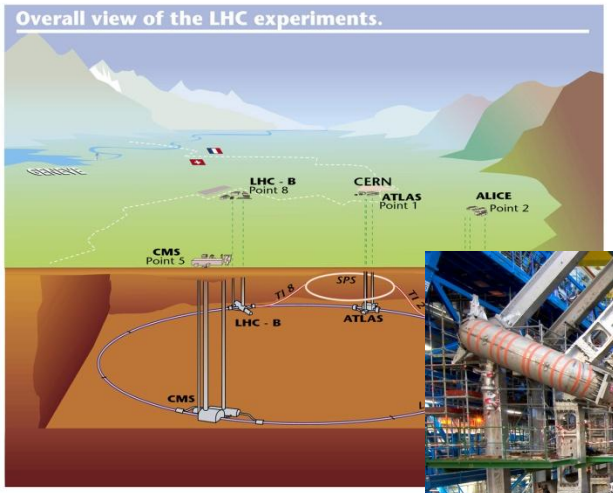
LHC: Beschleuniger, Experimente, physikalische Ziele

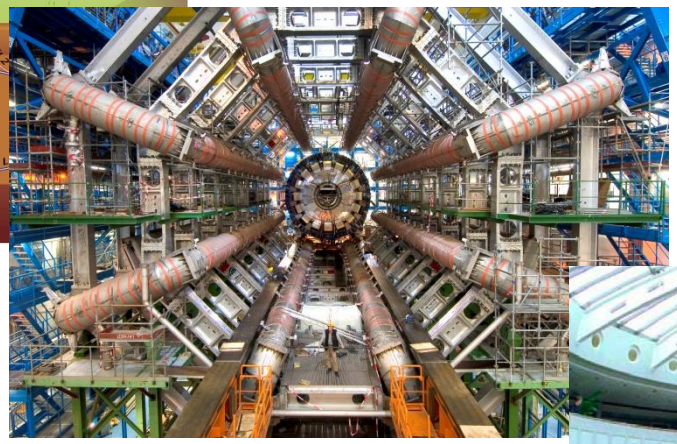
Peter Mättig

Bergische Universität Wuppertal

Das (?) größte Wissenschaftsprojekt



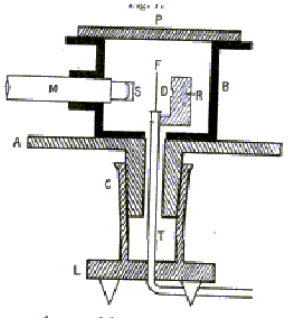
LHC Beschleuniger: 26 km Umfang

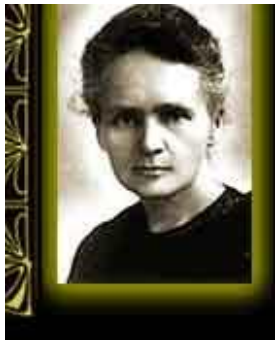


Experimente groß wie 5 Stockwerke

10000 Physiker aus allen Kontinenten,25 Jahre Arbeit

Atom ==> Kern ==> Quark





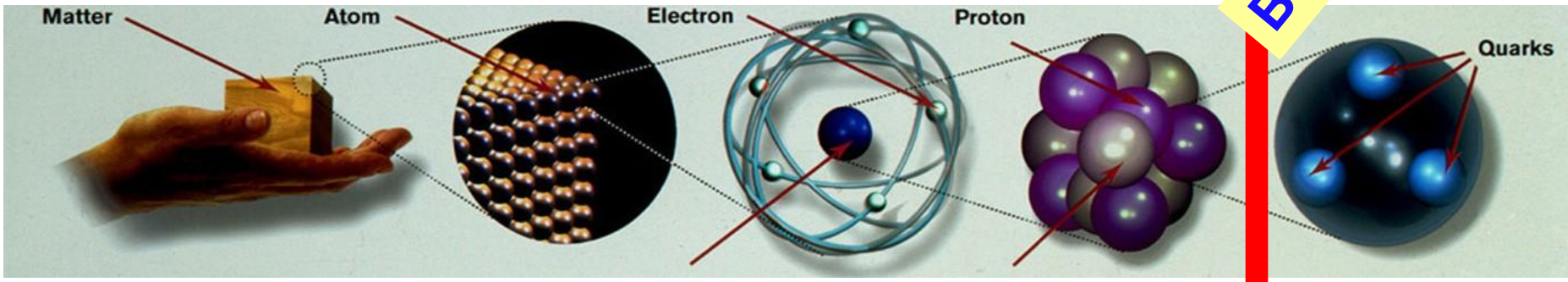
Mikroskop 1650

Atome 1850

Atomkern 1912

Kernstruktur 1920 - 1950

Beschleuniger



10^{-4} m

10^{-8} m

10^{-14} m

10^{-15} m

??

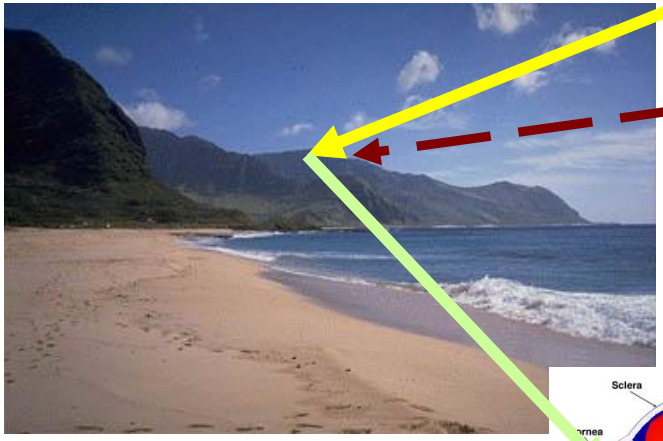
Newtons Mechanik

Quanten/Relativitäts theorie

???

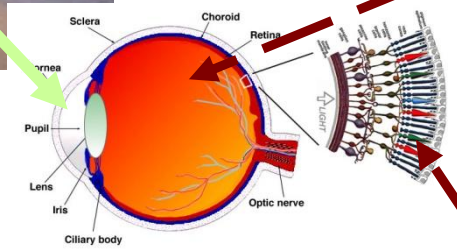
Wie wir sehen ...

Quelle von Licht



Streuung von Licht an Molekülen

Nachweis des gestreuten Lichts



Detailschärfe hängt von Anzahl der Zäpfchen ab

In kleine Räume

Hohe Auflösung erfordert kleine Wellenlänge

Quantenmechanik: $E = h/\lambda$

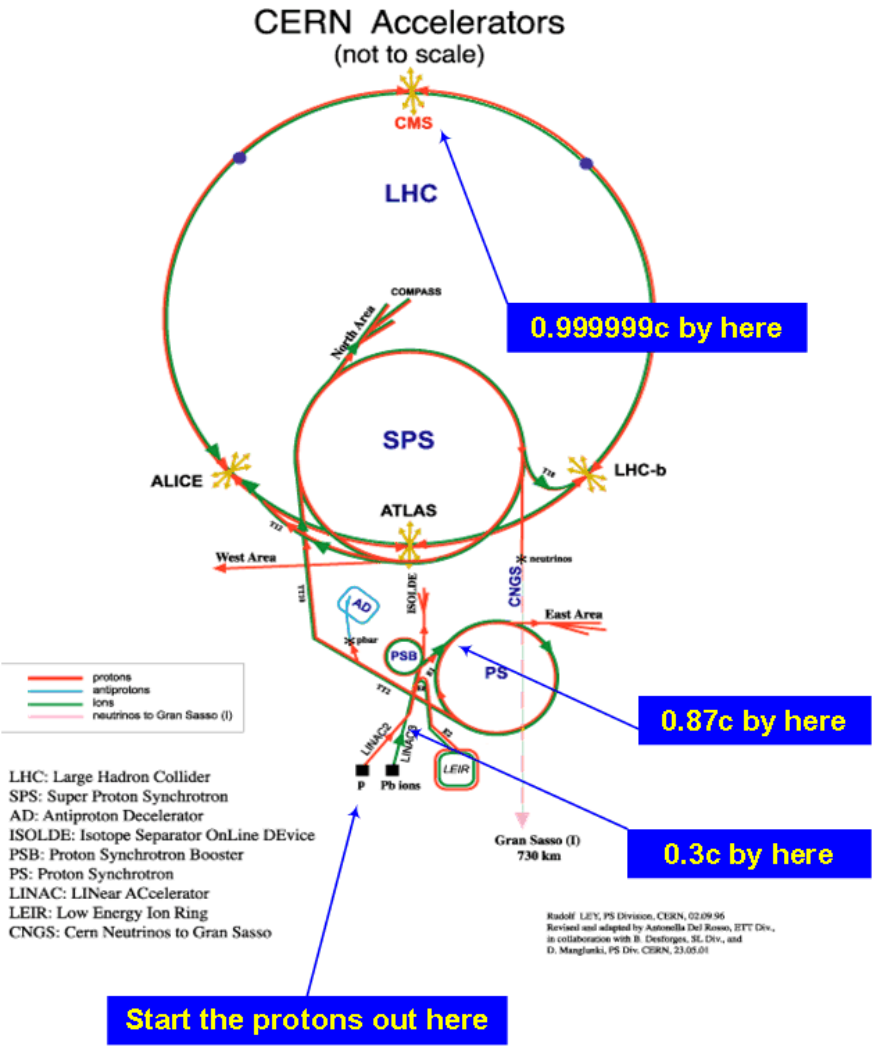
==> kleine Wellenlänge = hohe Energie

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „Cinepak“ benötigt.

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „Cinepak“ benötigt.

Beschleunigung auf 99,99999% der Lichtgeschwindigkeit

Der LHC I

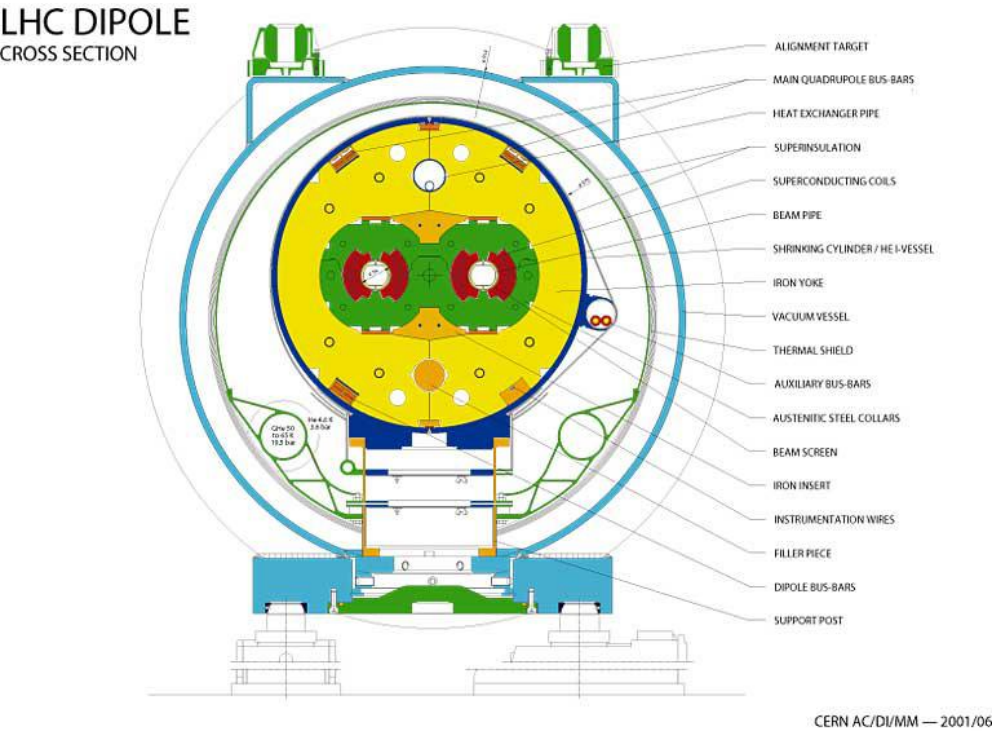


‚Pakete‘ von 10^{11} Protonen
0,015 mm Durchmesser

Gegenläufig
Zusammenstoß an 4 Punkten

Beachte:
Technologie der 60er Jahre
==> 120000 km !

Der LHC II



Teilchen müssen auf einem Kreis gehalten werden:

Ca. 8000 supraleitende Magnete:
1,9 K = -271,3 Celsius

Beachte: Technologie der 80er Jahre ==> 120 km !

Der LHC III

Wie oft treffen sich Teilchen im attometer Bereich?

Fläche = πr^2

==> Höherer Energie kleine Wahrscheinlichkeit

VIELE Teilchen:

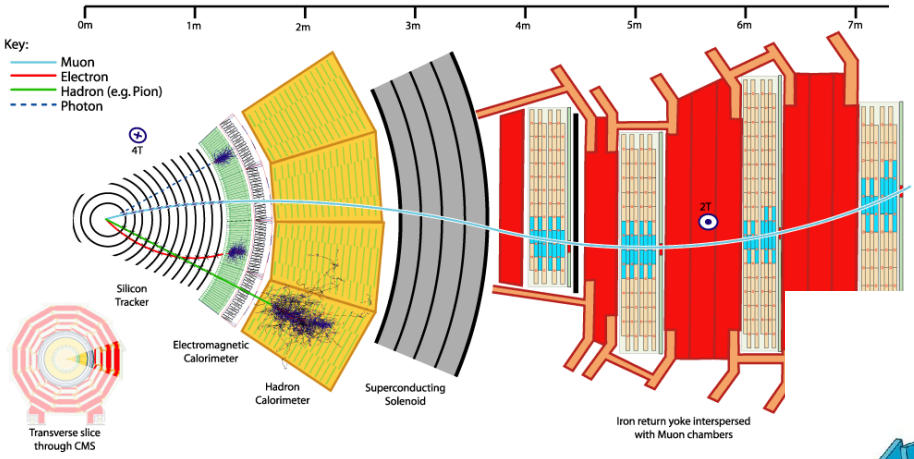
Alle 7 m: 10^{11} Protonen in 0.015 mm

==> Gesamte Energie im Strahl 700 MJ

i.e. Schmelzen von 1000 kg Kupfer

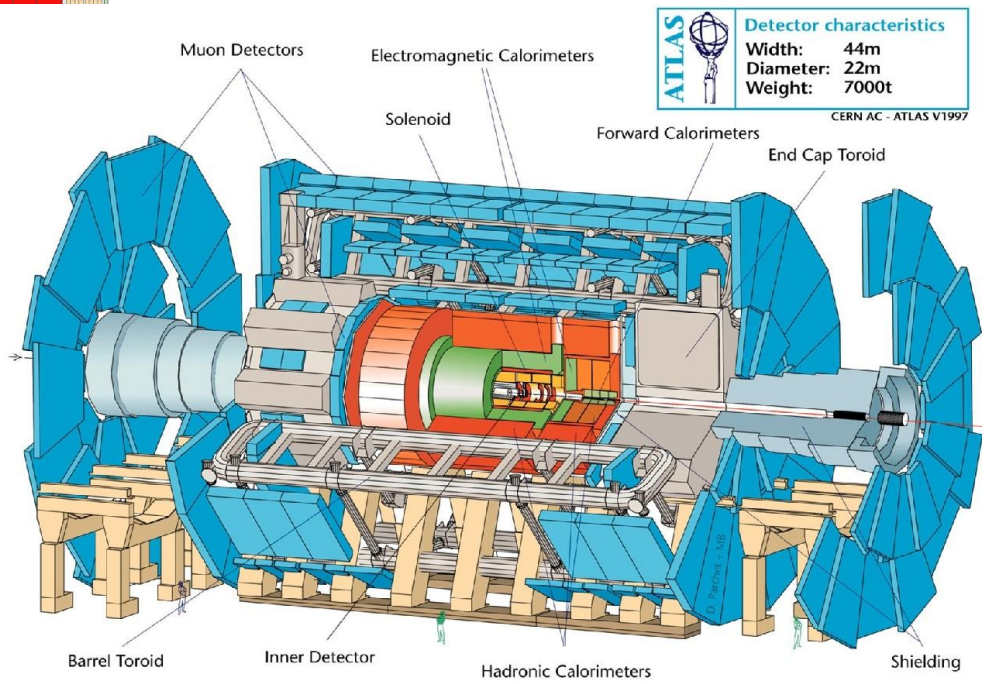
(beachte: trotzdem supraleitende Umgebung!)

Die Auge der Teilchenphysik



Detektoren:

Schalenförmig, hermetisch

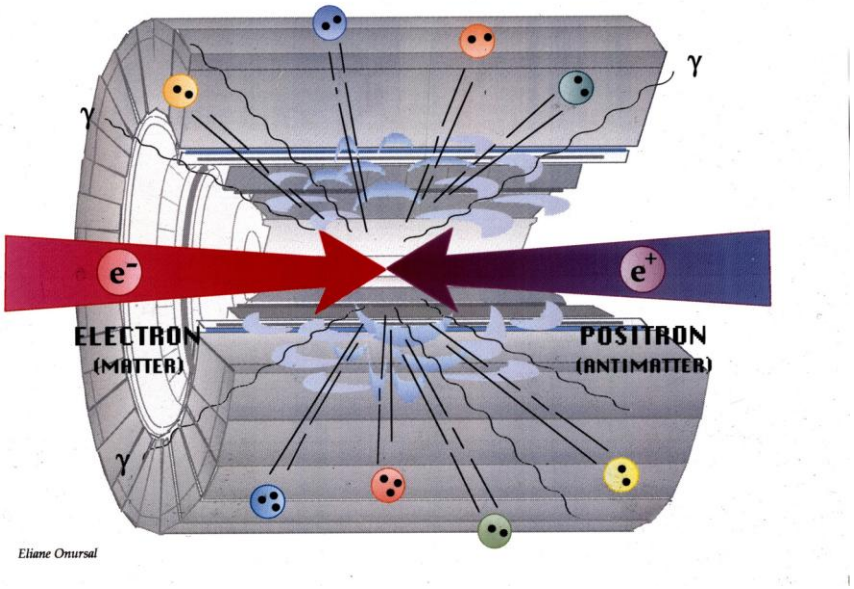


$E = mc^2$

Kinetische Energie kollidierende Teilchen

==> Umwandlung in Masse

==> Umwandlung in andere Teilchen



Vermessung der Art und Energie der Teilchen:

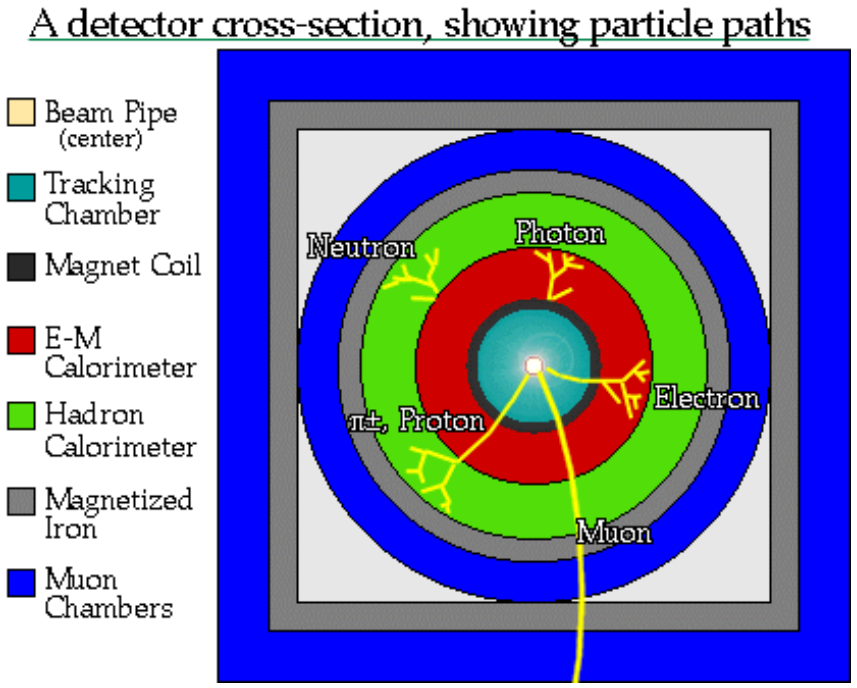
Bild des Attometers

Detektorschalen/Teilchenart

Ein Detektor:

Sehr viele einzelne Komponenten für umfassendes Bild

An Universitäten und Instituten gebaut ==> am CERN zusammengebaut

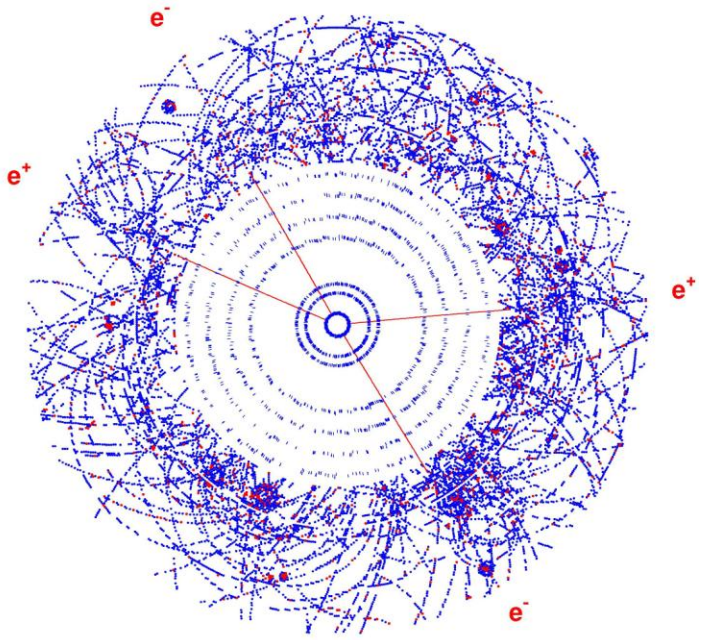


Präzision

- **Präzision: Teilchendurchgang auf 0,01 mm genau**
- **Frequenz: 40 Millionen Mal/Sekunde neue Kollision**
- **Zuverlässigkeit: Trotz Strahlenbelastung über 10-20 Jahre Betrieb**

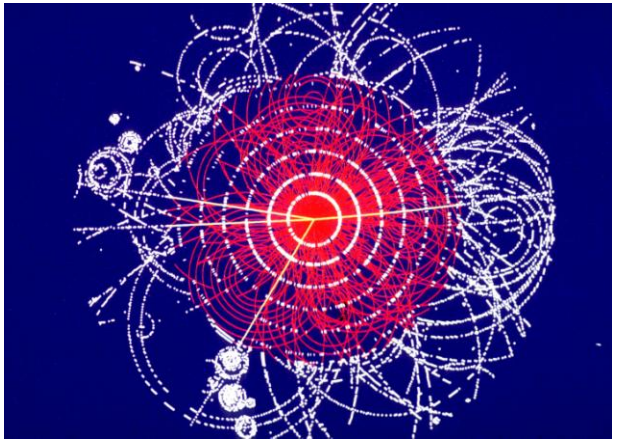
Mit Technologie der 80er Jahre:
Detektoren ca. 5x so groß!
(und langsamer)

Bild eines Zusammenstoßes:



Datenmenge und Algorithmen

- **Datenmenge: 40 Pbyte/Sekunde**
  ==> schnelle Reduzierung durch intelligente Elektronik
- **Selektion: nur 1 in 1 Millionen Ereignisse ‚interessant'**
- **Was übrig bleibt: 10 Petabyte/Jahr**
  (ca. 100000 PC - Daten)
- **Auswertung durch komplizierte Algorithmen**
- **Weltweites Computingzentrum**



Unmöglich mit Technologie der 80er Jahre!

Die Welt in 0,01 femtometern

Die Struktur der Materie in 1/100 des Atomkerns

0,00000000000000002 m

- **12 Materieteilchen**
- **3 Teilchen zur Übertragung der Kräfte**
- **1 Teilchen zur Erzeugung von Masse**

Ein einfaches und konsistentes Bild!

DAS STANDARD MODELL

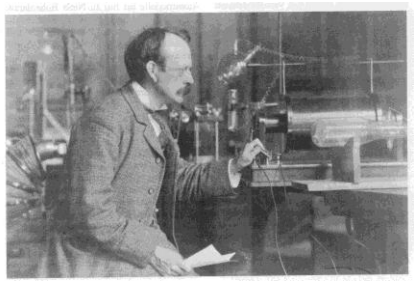
Alle Messungen sind verstanden!

Abschluß von 100 Jahren Wissenschaft

(Quantenmechanik, Relativitätstheorie, ...)

Einmalig in der Wissenschaftsgeschichte

12 Materie - Teilchen



Erstes Lepton 1896:

Elektron

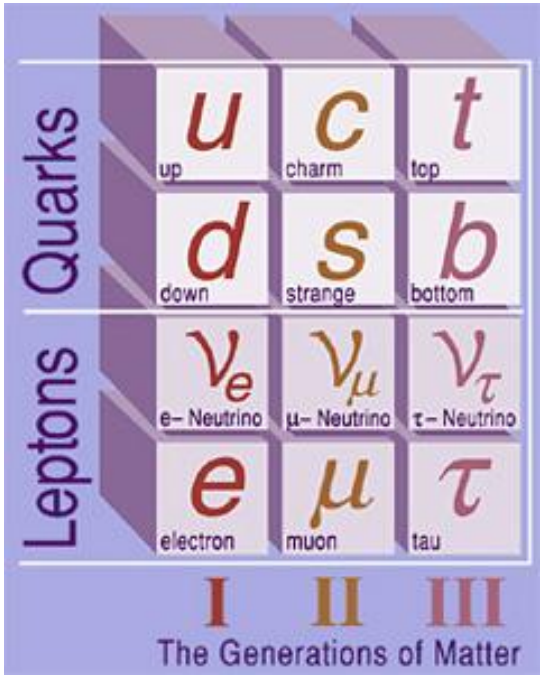
1/2000 atomarer Masse

Einhundert Jahre Forschung

Letztes Quark 1996

Top Quark

schwer wie Gold!



Alle Materie aus diesen 12 Teilchen aufgebaut !!

Massen bekannt: m(Neutrino)/m(top) = 10^{-12} !!!!

Von den Kräften

Starke Kraft

Schwache Kraft

elektromagnetische Kraft:

Kernkräfte

Gravitation

Gegenstände

Stärke der Kraft

Vermittelt durch Teilchen (Bosonen)

Kräfte: Austausch von speziellen Teilchen!

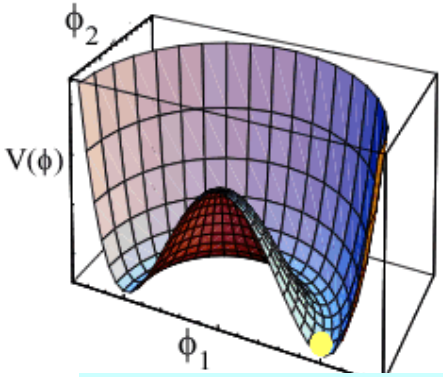
Stärke der Kräfte (‚Coulomb Konstante‘) vermessen

Gravitation anders und viel schwächer!

Erzeugung von Masse

Goldkern: ~ 1.6 x 10^{-22} g
Größe: 10^{-14} m
aus Protonen +Neutronen
Masse durch Wechselwirkung

Top Quark: ~ 1.6 x 10^{-22} g
Größe: ein Punkt!
nicht teilbar
‚Higgs - Mechanismus‘



‚Vakuum‘ = Gelee/‘Äther‘?

Einziger unbewiesener Teil des Standard Modells!

Wenn Standard Modell, wird LHC Higgs finden!

Die Weltgleichung mit 26 Unbekannten

26 Parameter müssen/sind gemessen werden: Massen ‚m', Stärken der Kraft ‚g'

‚Unsere' Welt beschrieben durch eine Gleichung .....

‚Alles was größer als 10^{-18} m' ableitbar .....

Aber: diese 26 Parameter zeigen Ähnlichkeit!

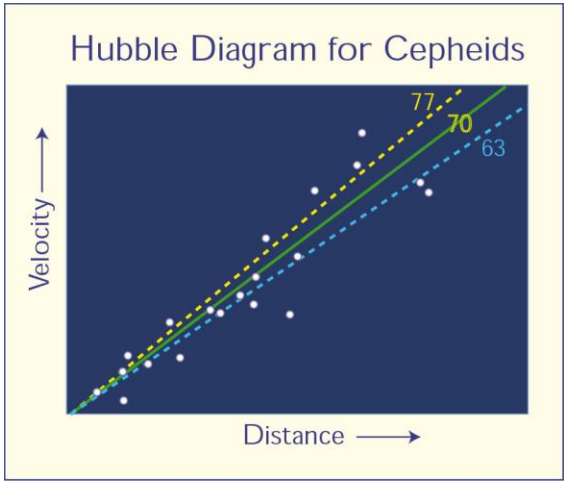
Ästhetische Prinzipien: neue Symmetrien, umfassendere Theorien .....

Schnitt!!

The (big) Big Bang

Erwin Hubble (1925)

Je entfernter Galaxien, desto schneller



Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „Cinepak“ benötigt.

Die Temperatur des Universums

Heute: unwirtlich kalt 2,73 Kelvin

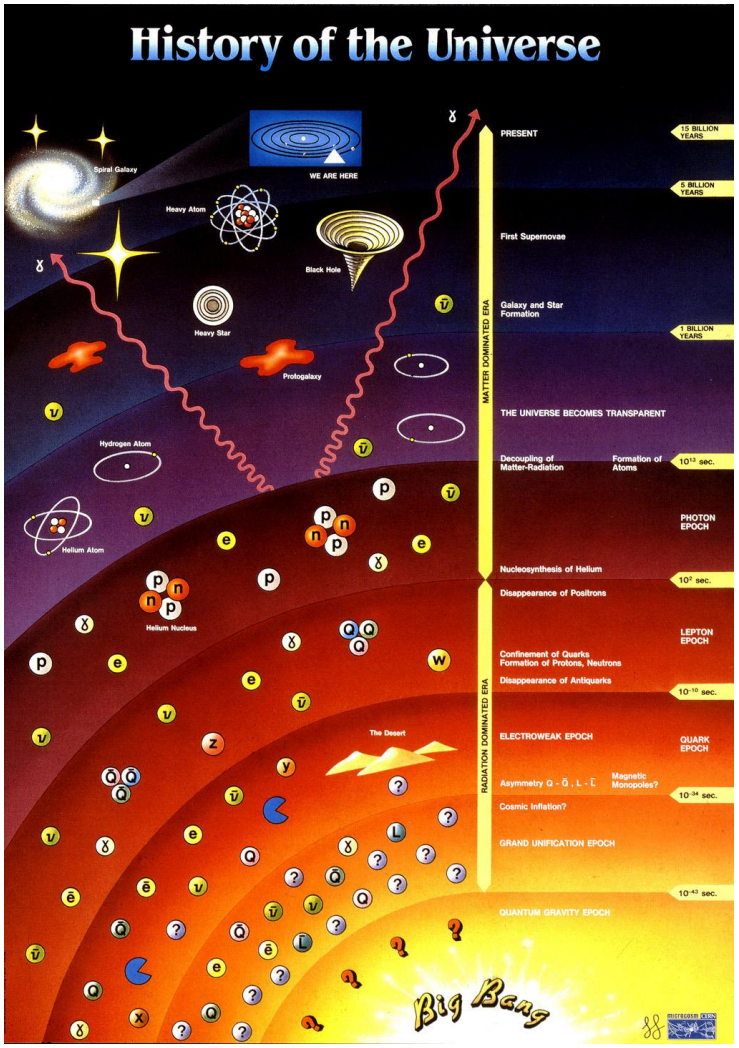
Am Anfang: enorm heiß

Heute:
14 Mrd Jahre: - 270 Grad

Sterne:
1 Milliarden J: - 255 Grad

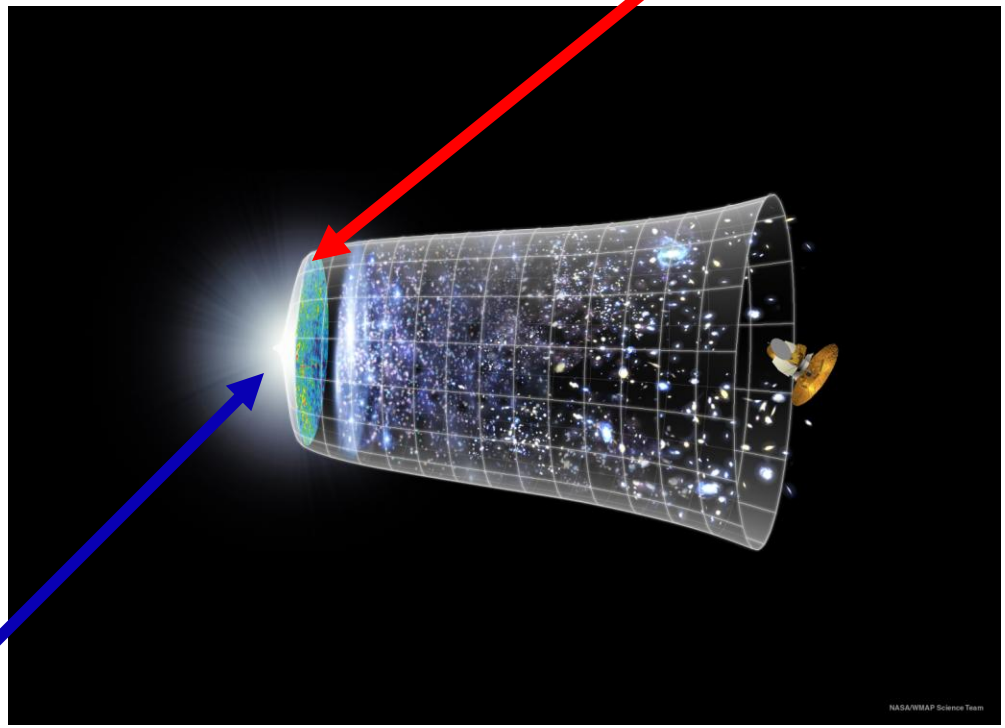
Leichte Kerne:
30 min : 10000 Grad

Deuteron
2 min 45 sec: 900 Mill Grad



Das Ende der sichtbaren Welt

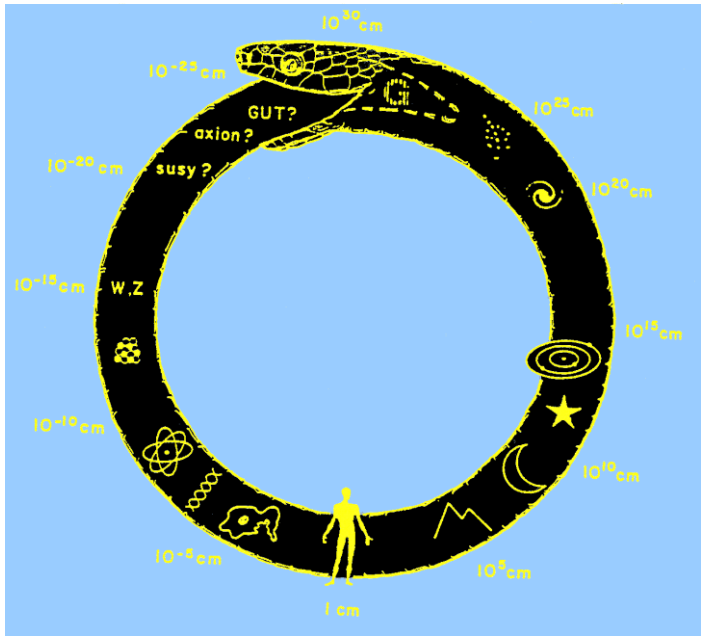
Sichtbar: Boten ~ 2 min nach Urknall



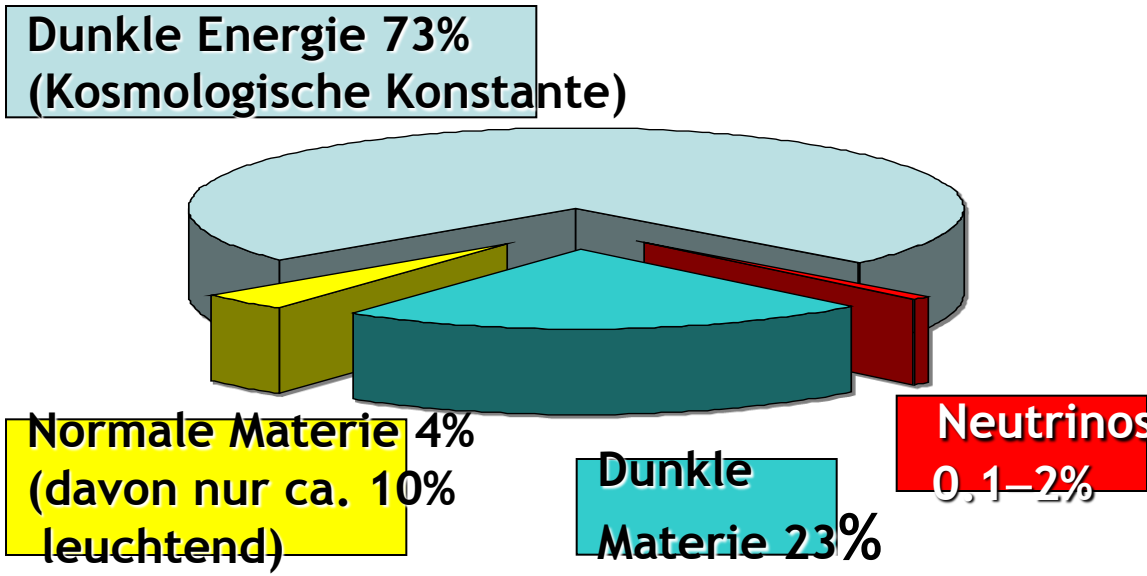
Was passierte 1/Billionstel Sekunde nach Big Bang?

URKNALL IM LABOR .....

Die kosmische Verbindung



- **Wieso keine Antimaterie?**
- **Was ist die dunkle Materie**
- **Was ist die dunkle Energie?**



Mini - Big Bangs

LHC: riesige Temperaturen auf kleinsten Räumen

Zur Anzeige wird der QuickTime™ Dekompressor „Cinepak" benötigt.

ALICE: Kern - Kern Streuung

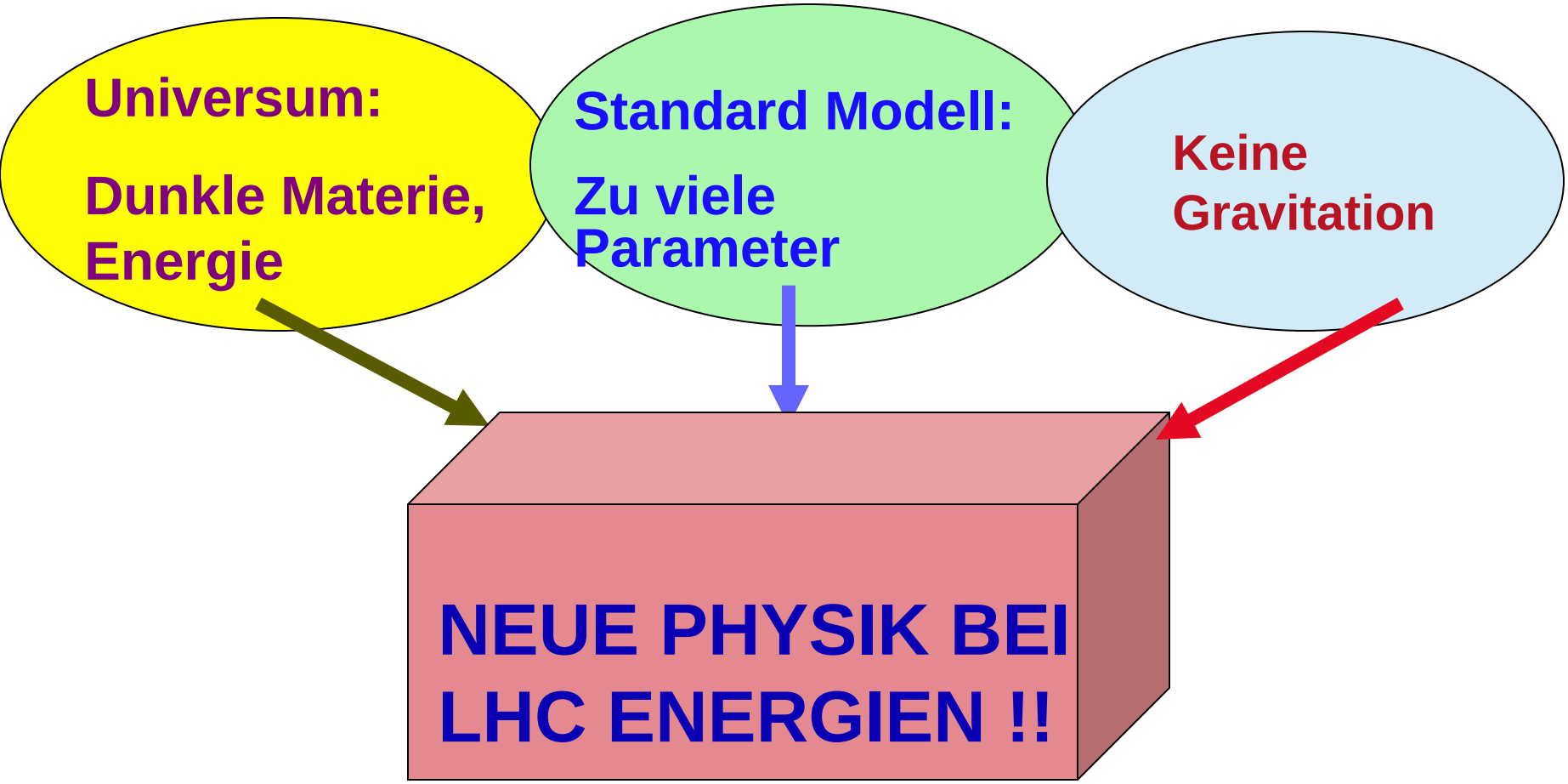
1Millionen* 1 Millionen Grad in 10 Femtometern

‚Quark - Gluon Plasma'

LHCb: Materie - Antimaterie Ungleichgewicht

ATLAS, CMS: in 1/10 attometer ca. 10^{17} Grad

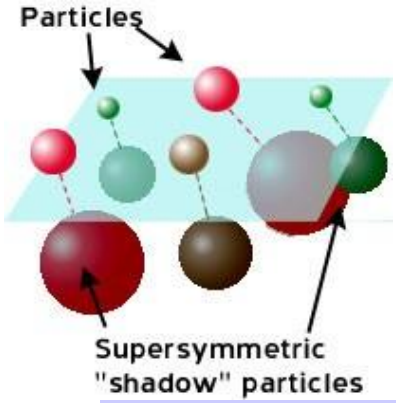
Revolution im Attouniversum ?

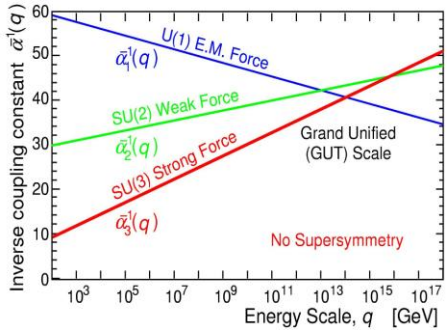


Gibt es Spiegelwelten?

Kraft und Materie durch Teilchen präsentiert:

Supersymmetrie: Kraft spezielle Form der Materie?
Materie spezielle Form der Kraft?

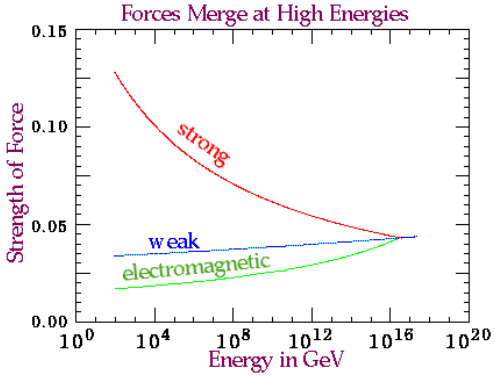




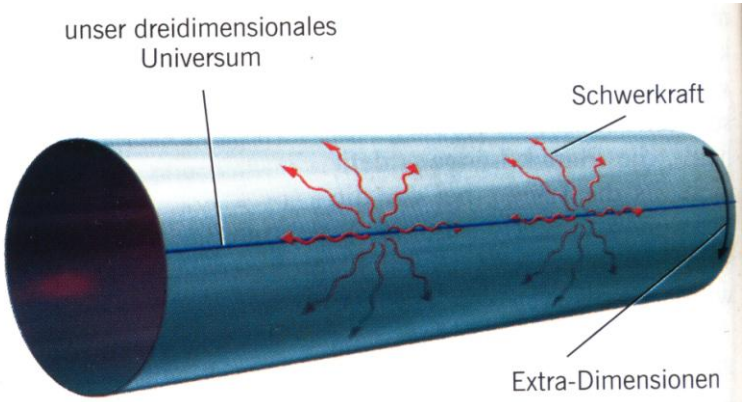
vom near – miss zur

exakten Einheit !

Neue Art von Teilchen
Exakte Vereinheitlichung der Kräfte
Erklärt dunkle Materie



Leben wir in 11 Dimensionen?



Lisa Randell

Bekannt drei Raumdimensionen:

Länge, Breite, Höhe

... **im Kleinen: 4 - 11 Dimensionen für Gravitation**

Neue Dimensionen bei 1/1000 Protonradius?

Neue Teilchen, Mini Schwarze Löcher!

Eine neue Ära?

100 Jahre nach der Entdeckung der ersten Elementarteilchen: vollständige Theorie im Raum von 1/100 eines Atomkerns

Fast vollständig getestet!

Fehlendes Glied: Higgs Teilchen

Muss am LHC gefunden werden .....

Konzeptionelle Probleme
+ Kosmologische Hinweise
==> umfassendere Theorie?

Beschleuniger und Detektoren fast bereit jahrtausende alte Fragen neu zu beantworten!