

"Die Natur liebt sich zu verbergen" Heraklit, 500 v. Chr.

ZWEI FUNDAMENTALE FRAGEN :

WIE IST DAS UNIVERSUM ENTSTANDEN ?

WORAUS BESTEHT DIE MATERIE MIT IHREN KRÄFTEN ?

BEIDE FRAGEN SIND MITEINANDER VERKNÜPFT :

VERSTÄNDNIS VON DER STRUKTUR DER MATERIE UND IHRER KRÄFTE

↔ BESSERES WISSEN ÜBER IHREN URSPRUNG

FÜR DIE SUCHE NACH DIESEM VERSTÄNDNIS :

SCHAFTE ZUSTÄNDE WIE IN DEN ERSTEN ANFÄNGEN DES UNIVERSUMS

**DAS UNIVERSUM IST VOR 13,7 MILLIARDEN JAHREN
IN EINEM URKNALL ENTSTANDEN ("BIG BANG")**



DIES BERUHT AUF DREI BEOBACHTUNGEN . . .

1. BEOBACHTUNG:

PRIMORDIALE HÄUFIGKEIT DER ELEMENTE 75% H, 24% He, <1% Li, ...

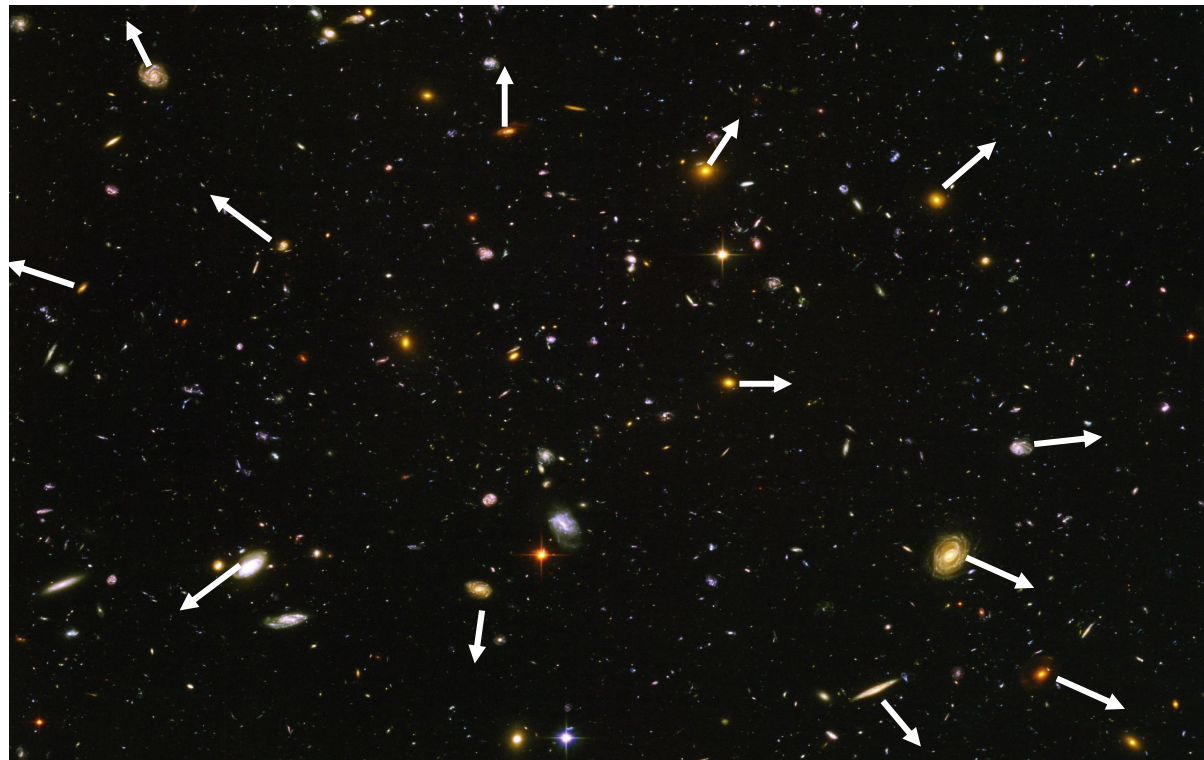
→ ELEMENTSYNTHESE IN DEN ERSTEN DREI MINUTEN

Messung der Zusammensetzung
mit Spektralanalyse



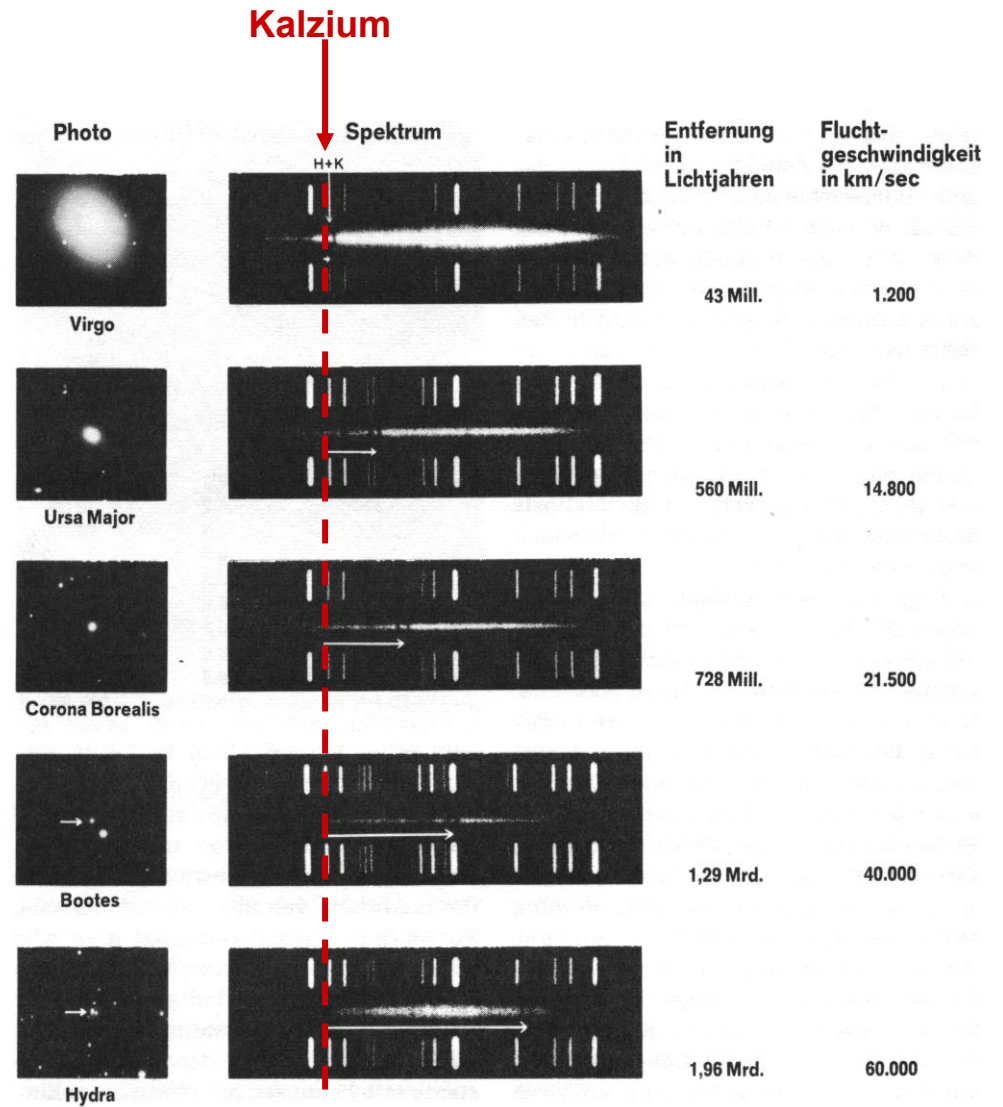
**2. BEOBACHTUNG:
DIE GALAXIEN FLIEGEN
VON EINANDER WEG
(Hubble 1930):**

**JE WEITER WEG,
DESTO SCHNELLER**





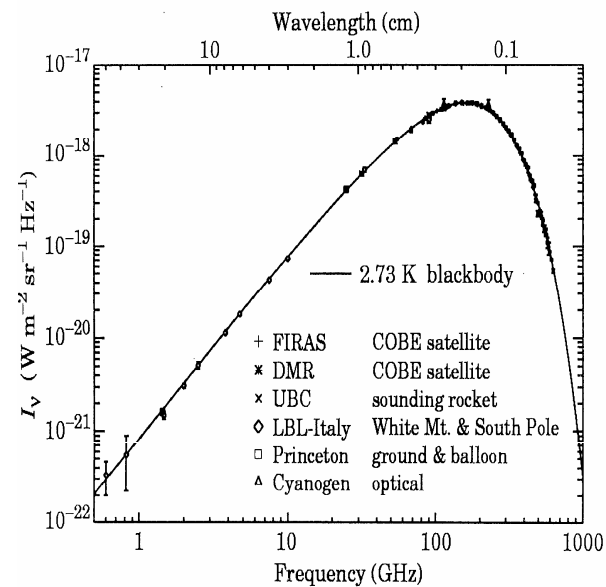
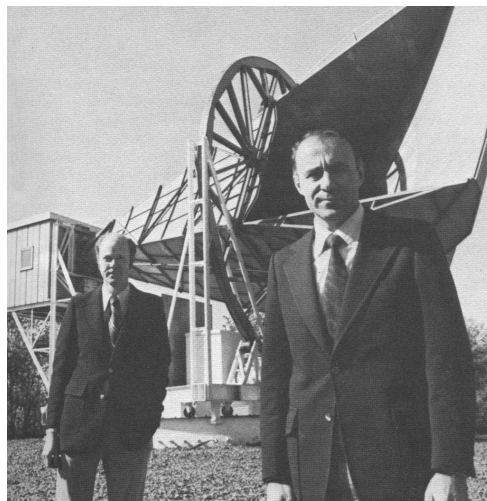
Hubble



3. BEOBACHTUNG:

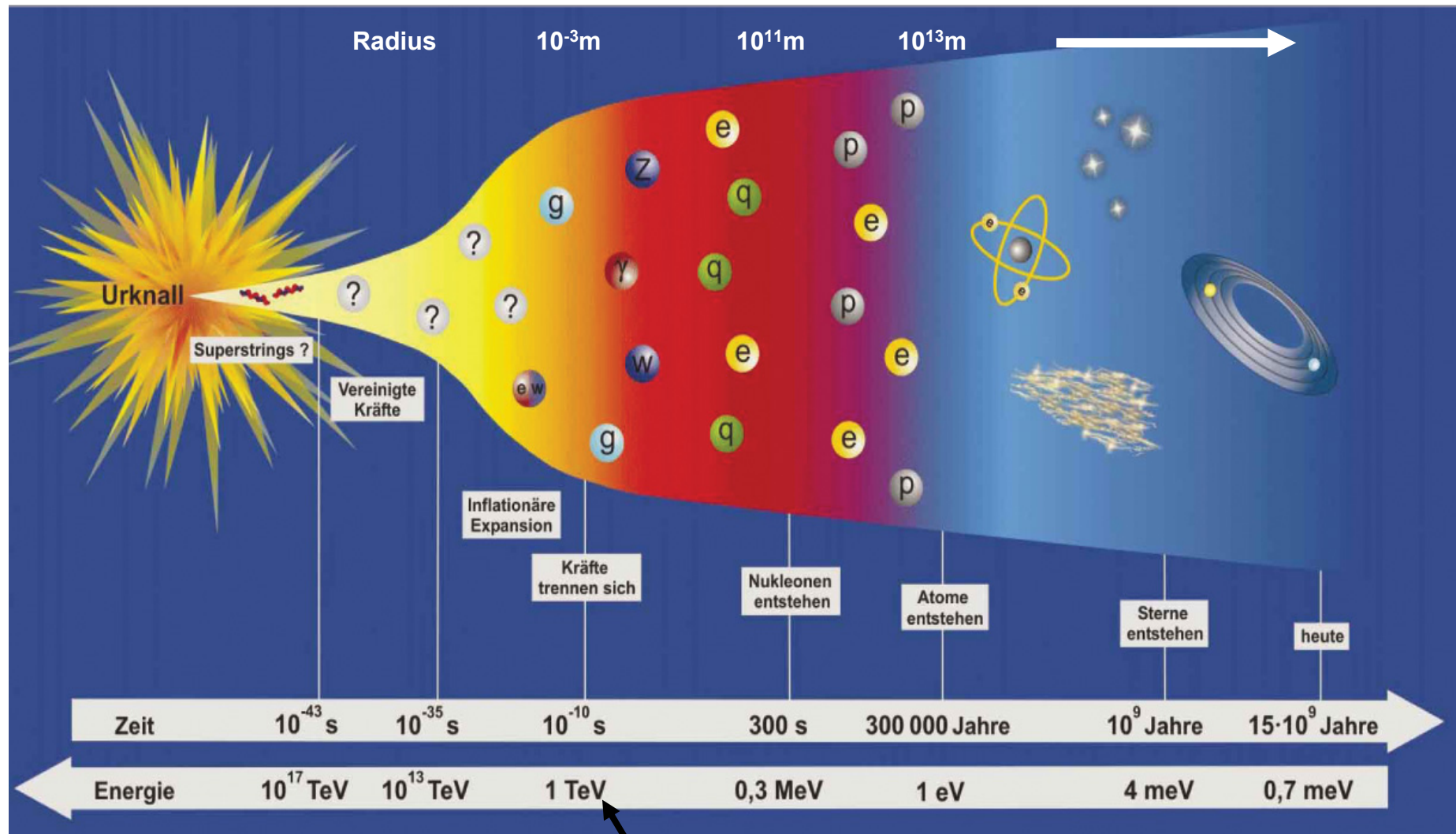
KOSMISCHE HINTERGRUNDSTRAHLUNG (Penzias, Wilson 1956)

2.7 K TEMPERATURSTRAHLUNG → LICHTBLITZ DES URKNALLS



Max
Planck

Körper mit Temperatur T [K] strahlen mit Frequenzverteilung ν



Teilchenbeschleuniger

UNSER HEUTIGES VERSTÄNDNIS VON DER NATUR IST VON GRIECHISCHEN PHILOSOPHEN GEPRÄGT:

**"Denn weder gibt es beim Kleinen ja ein Kleinstes, sondern stets ein noch
Kleineres (denn es ist unmöglich, daß das Seiende zu sein aufhöre) - aber
auch beim Großen gibt es immer ein Größeres."**

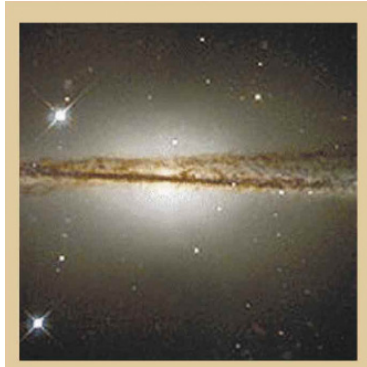
Anaxagoras, 500-425 v. Chr.

**"Der gebräuchlichen Redeweise nach gibt es Farbe, Süßes,
Bitteres, in Wahrheit aber nur die Atome und das Leere."
(ατομος = unteilbar)**

Démokrit, 460-370 v. Chr.



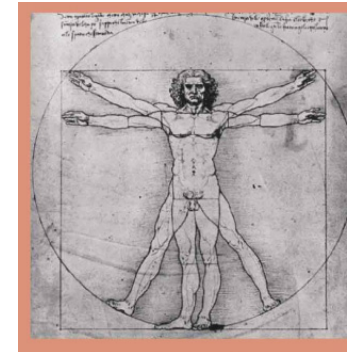
$10^{26} \text{ m} = 100.000.000.000.000.000.000.000.000 \text{ m}$



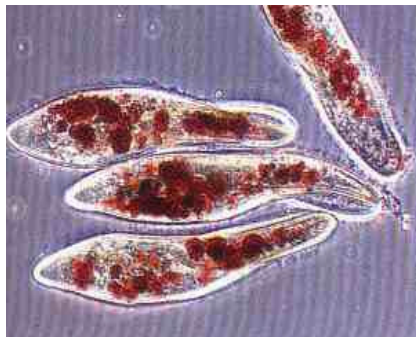
10^{26} m
Teleskop



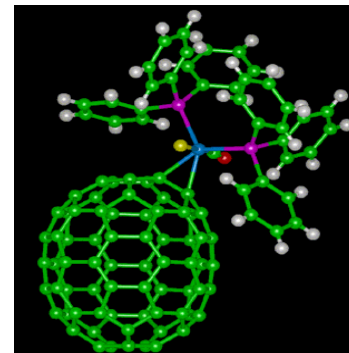
10^7 m
Fernrohr



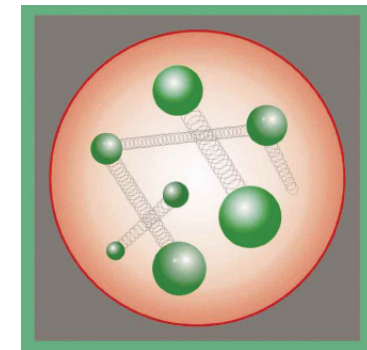
10^1 m
Auge



10^{-4} m
Mikroskop



10^{-8} m
Elektronenmikroskop



10^{-15} m
Teilchenbeschleuniger

$10^{-15} \text{ m} = 0.000.000.000.000.001 \text{ m}$

Dalton 1803-1808

**Lehre von den Atomen als
Grundbausteinen der Stoffe**

Meyer/Mendelejev 1869-1871

Periodensystem der Elemente

10^7 Chemische Verbindungen $\rightarrow$ 112 Atome

Rutherford (1871-1937)

Atome: kompakter Kern mit Elektronenhülle

Bothe, Chadwick, Joliot (um 1932)

Neutronen und Protonen im Kern

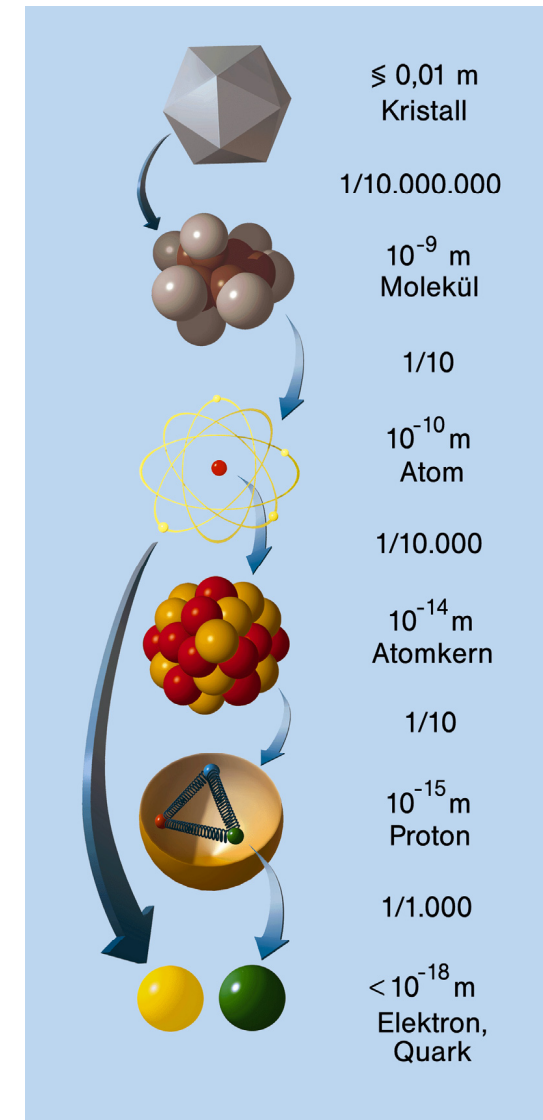
112 Atome $\longrightarrow$ 3 Bausteine

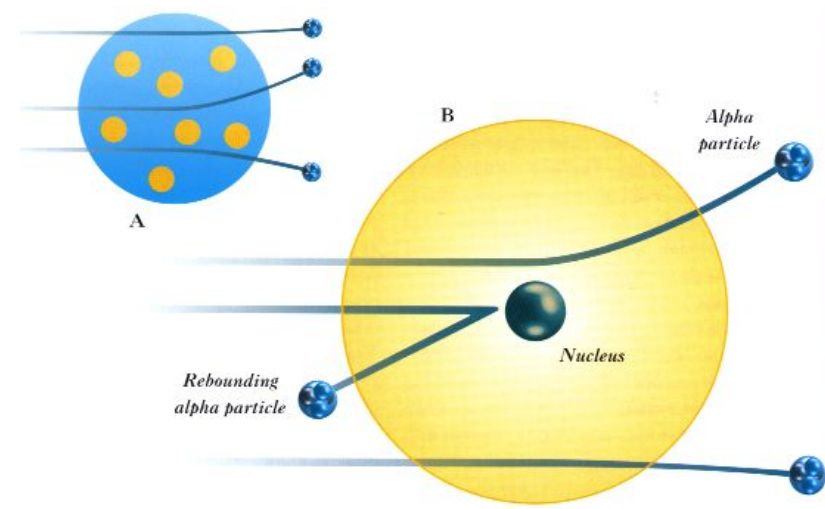
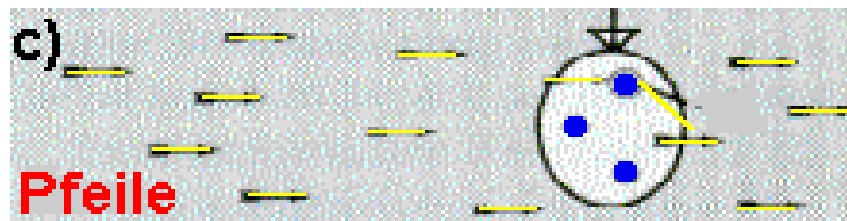
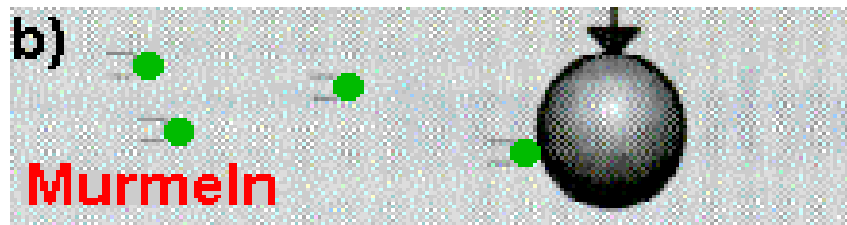
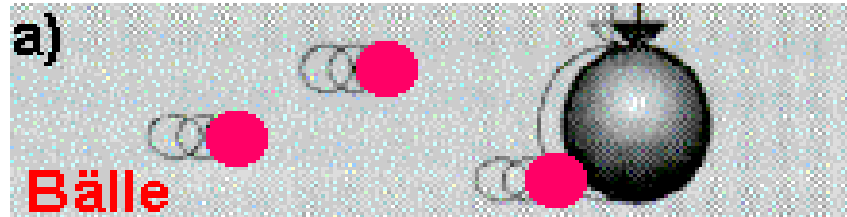
Gell-Mann, Zweig (1964)

Protonen, Neutronen, andere Hadronen

Bestehen aus Quarks

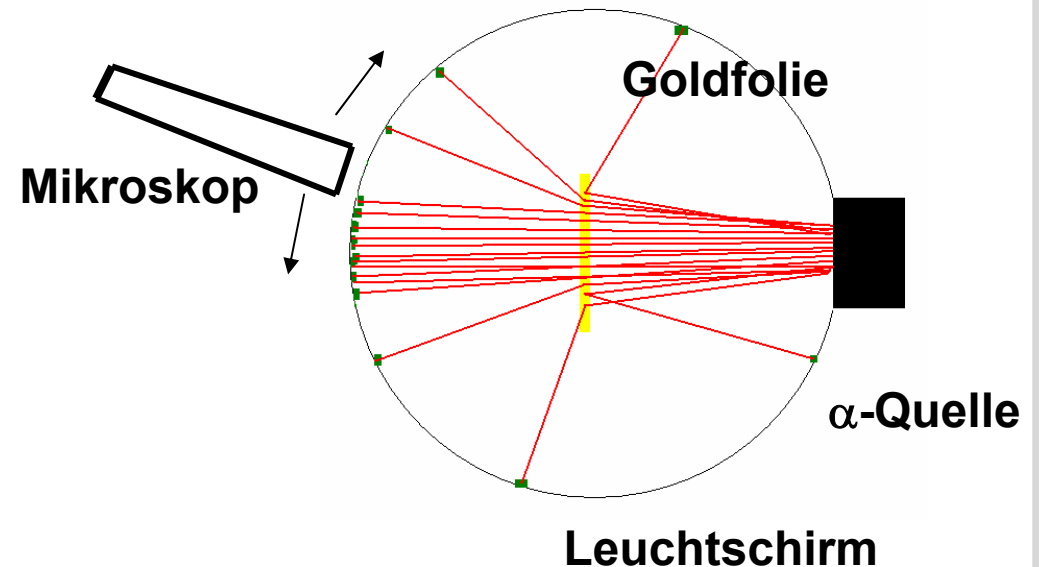
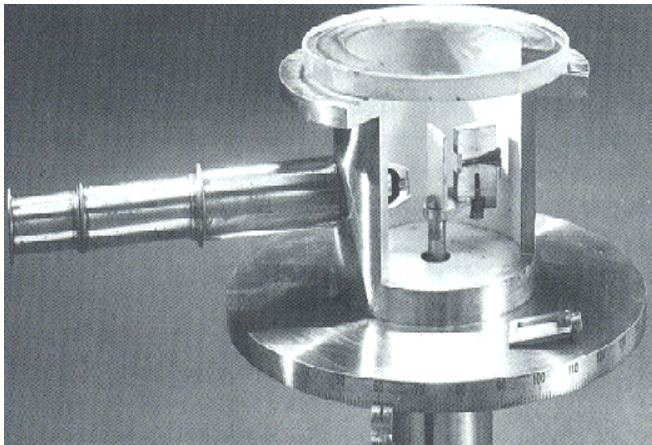
>100 Elementarteilchen $\longrightarrow$ 6 Quarks





**Winkelverteilung der Projektile
nach der Streuung:
HINWEIS AUF INNERE STRUKTUREN**

STREUUNG VON ALPHA-TEILCHEN AN EINER GOLDFOLIE



BEOBACHTUNG:

- ZUWEILEN WERDEN TEILCHEN STARK ABGELENKT
- WINKELVERTEILUNG UNABHÄNGIG VON DER ENERGIE

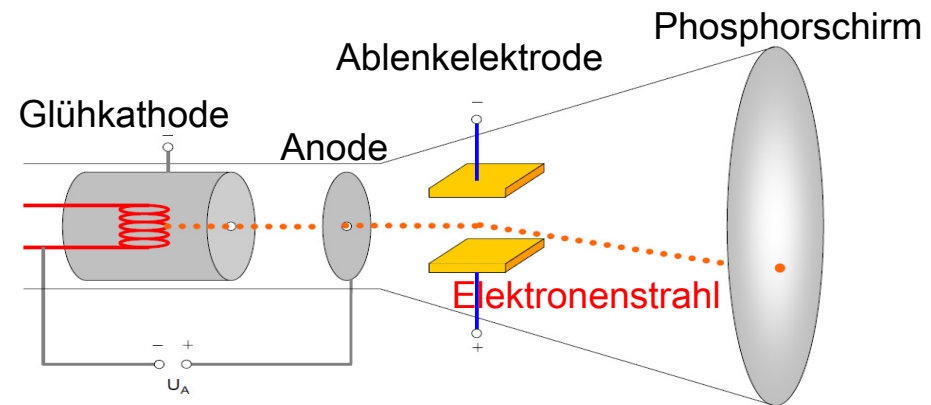
ERKENNTNIS:

ATOME BESTEHEN AUS WINZIGEM GELADENEN KERN
UND EINER ELEKTRONENHÜLLE



Ernest
Rutherford

DIE BRAUNSCHE RÖHRE



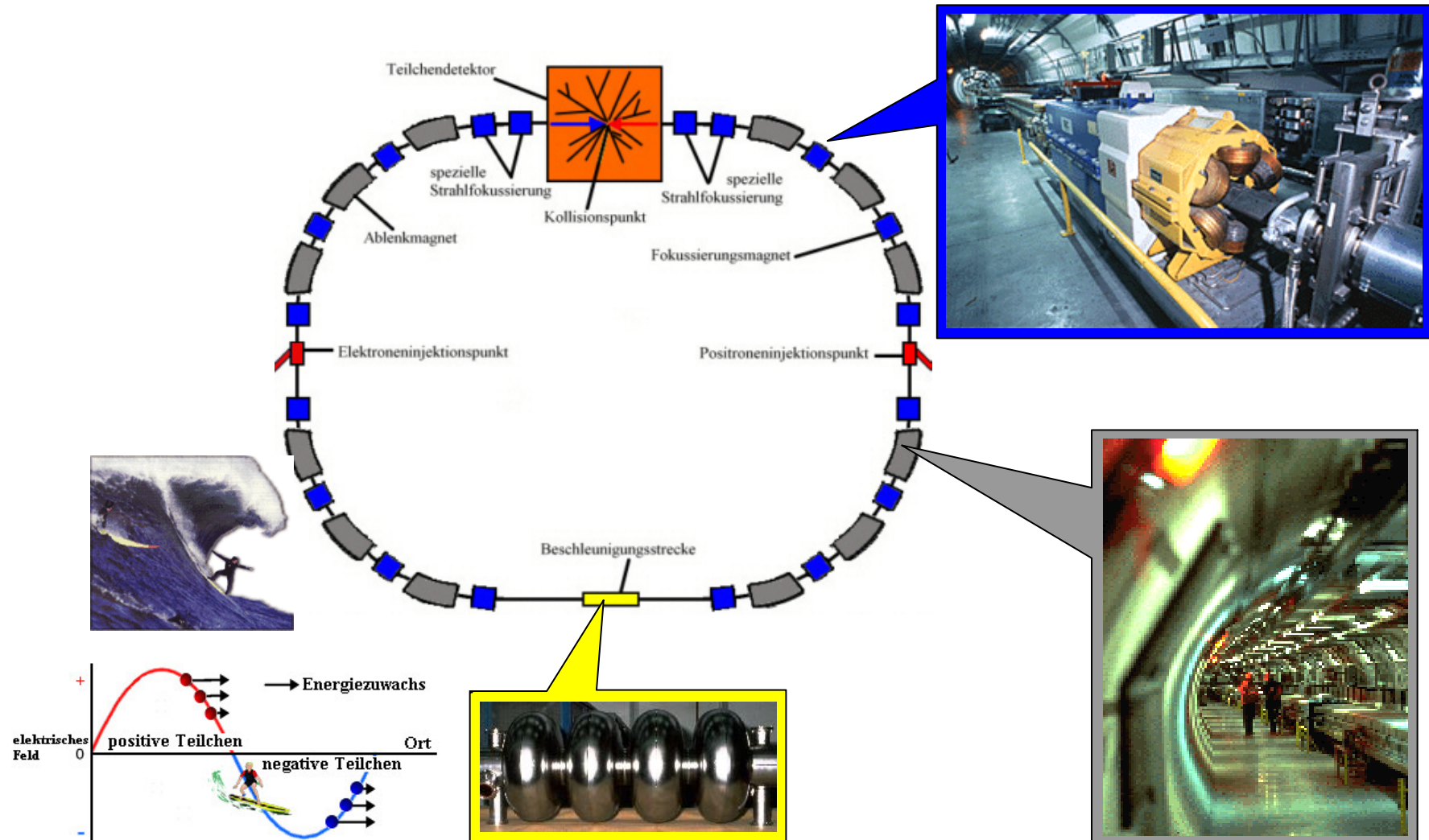
Beschleunigungsspannung $U = 1\text{Volt}$
 Beschleunigungsspannung $U = 1000\text{Volt}$

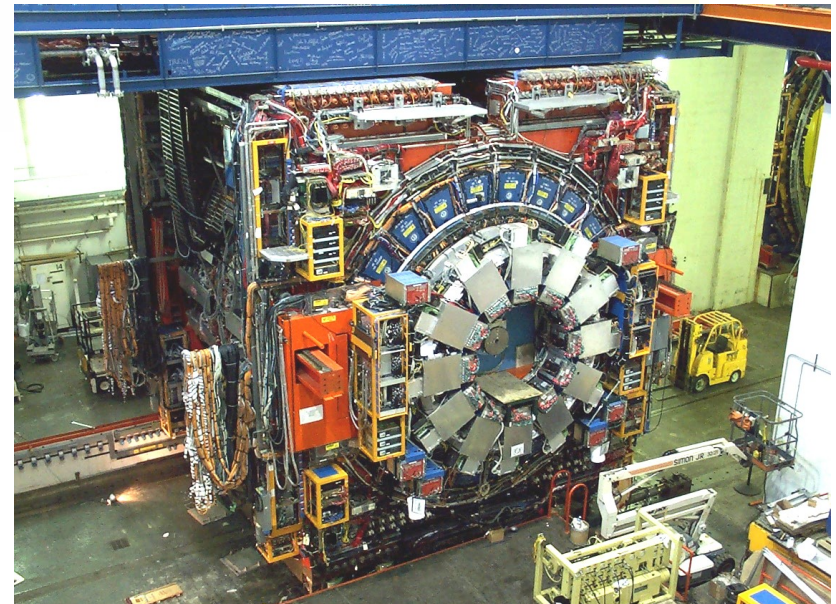
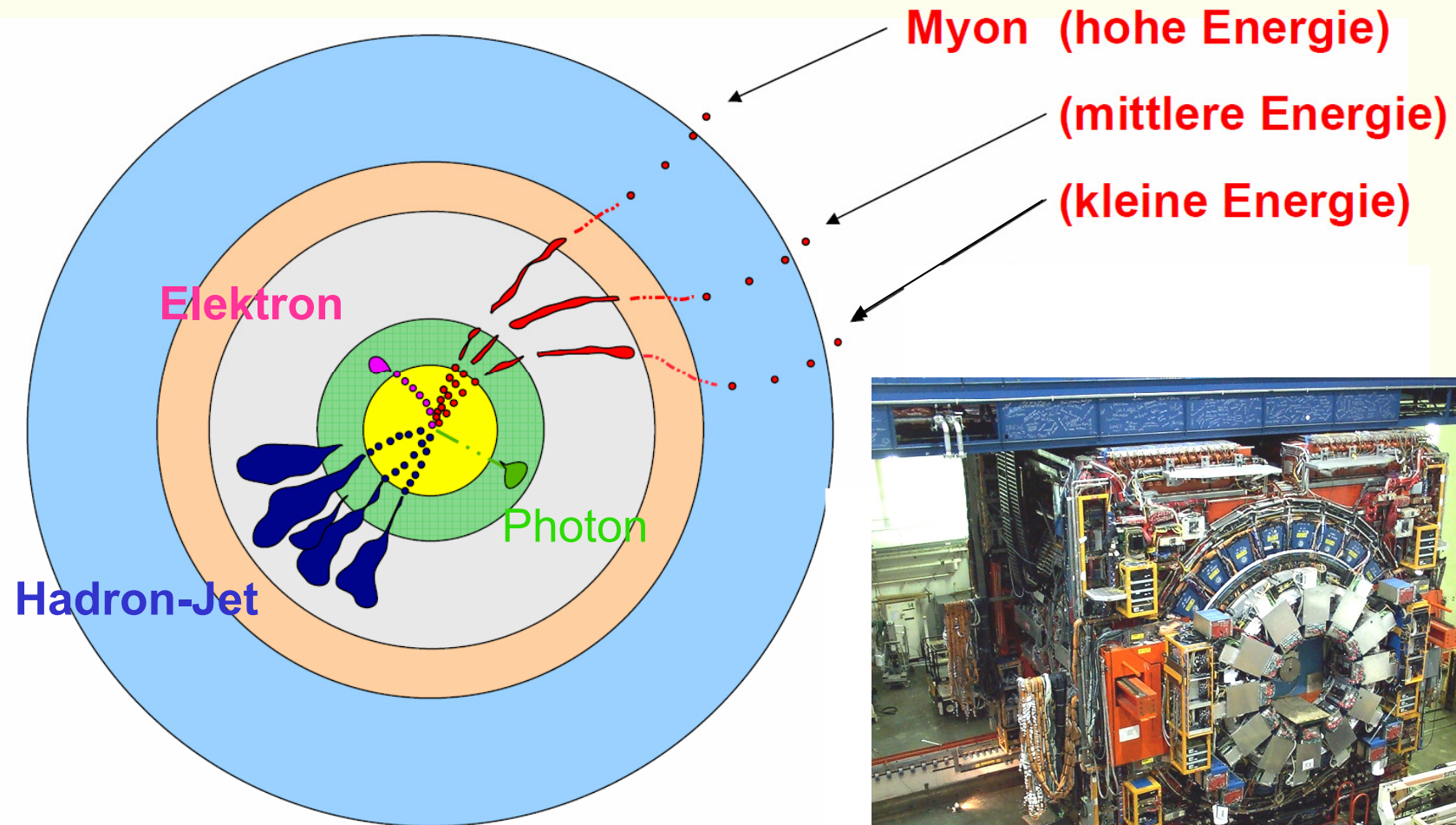
$\Rightarrow$ kinetische Energie = 1eV
 $\Rightarrow$ kinetische Energie = 1keV

MODERNE ANFORDERUNGEN:

$10^{12}\text{eV} = 1\text{TeV}$

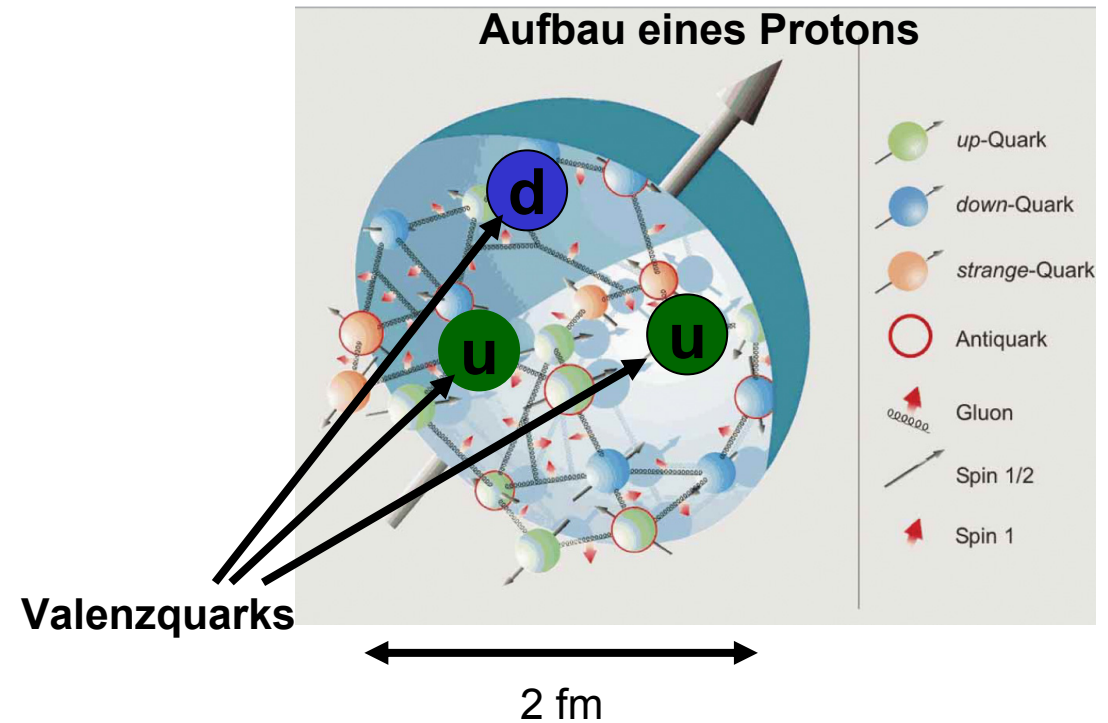
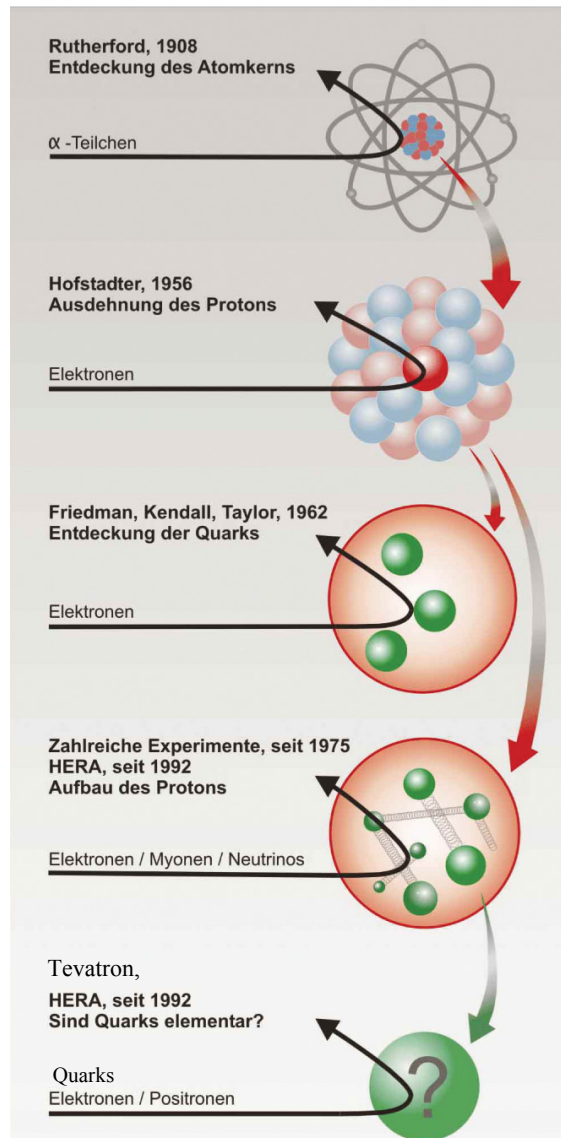
SCHEMA EINES TEILCHENBESCHLEUNIGERS





Das CDF-Experiment am Fermilab





ERKENNTNIS:
GENAUE STRUKTUR DES PROTONS
LEPTONEN, QUARKS PUNKTFÖRMIG: $R < 10^{-19}$ m ...

**PROTONEN SIND 100000x KLEINER
ALS ATOME (1911)**

Atomkern : Atomhülle

**= Knopf : Innenstadt
Karlsruhe**



**QUARKS, LEPTONEN SIND MIND. 10000x KLEINER
ALS PROTONEN (1998)**

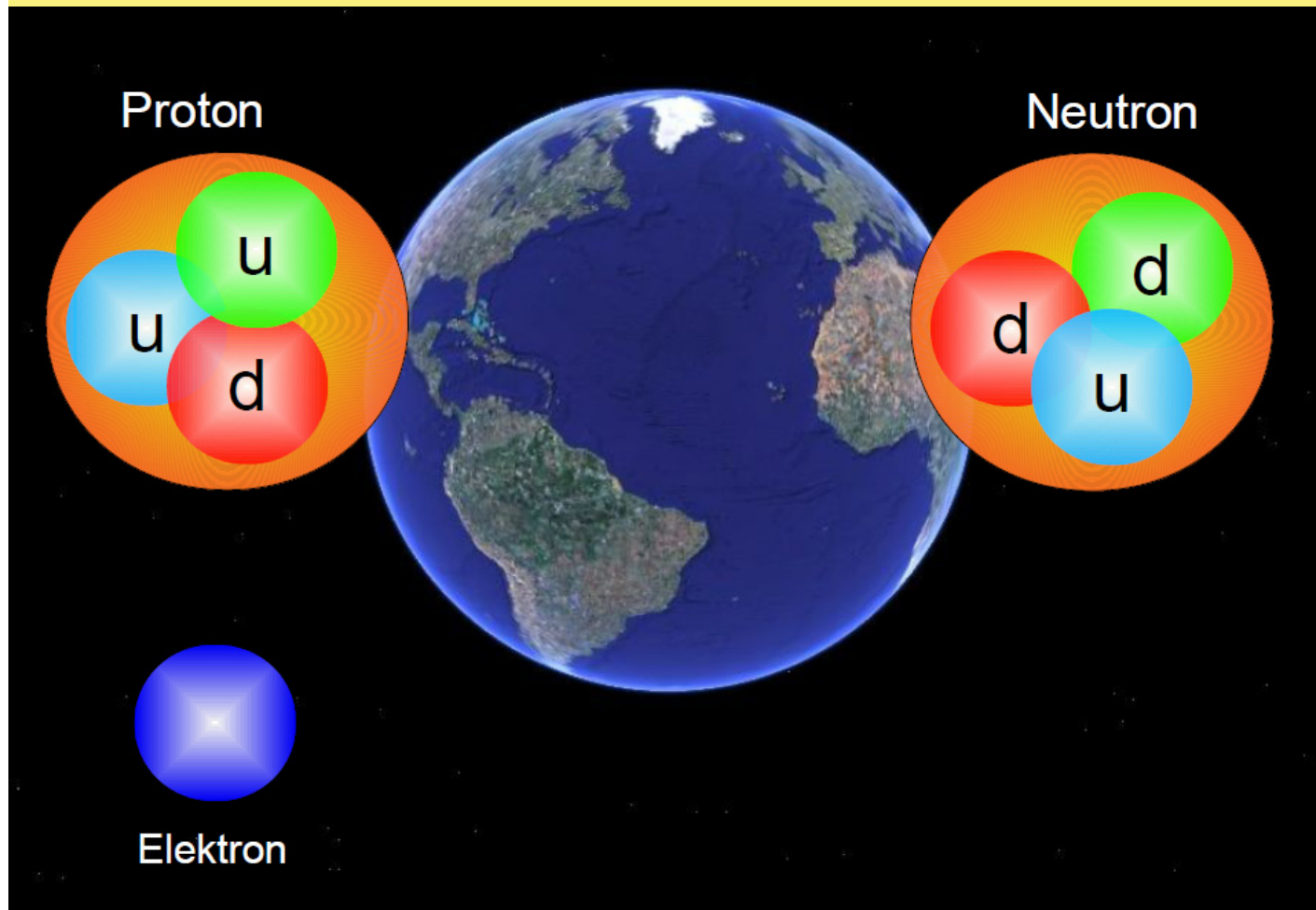
Quark : Atomhülle

< Knopf : Erde



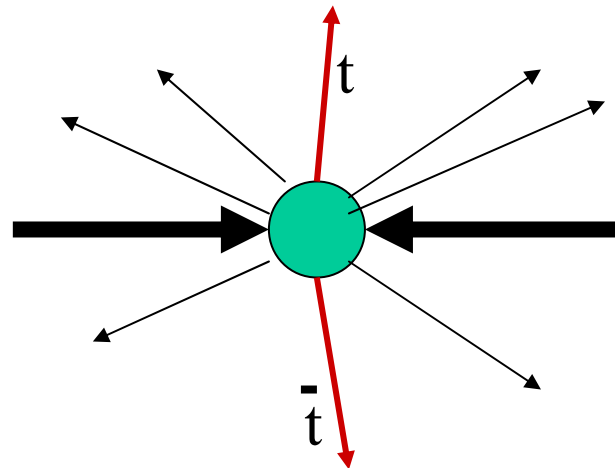
(Quark : Stecknadelkopf < Stecknadelkopf : Sonnensystem, usw)

DIE SICHTBARE WELT BESTEHT AUS QUARKS UND LEPTONEN DER ERSTEN GENERATION: u , d , e^-

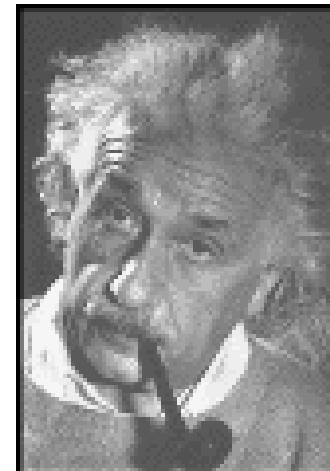
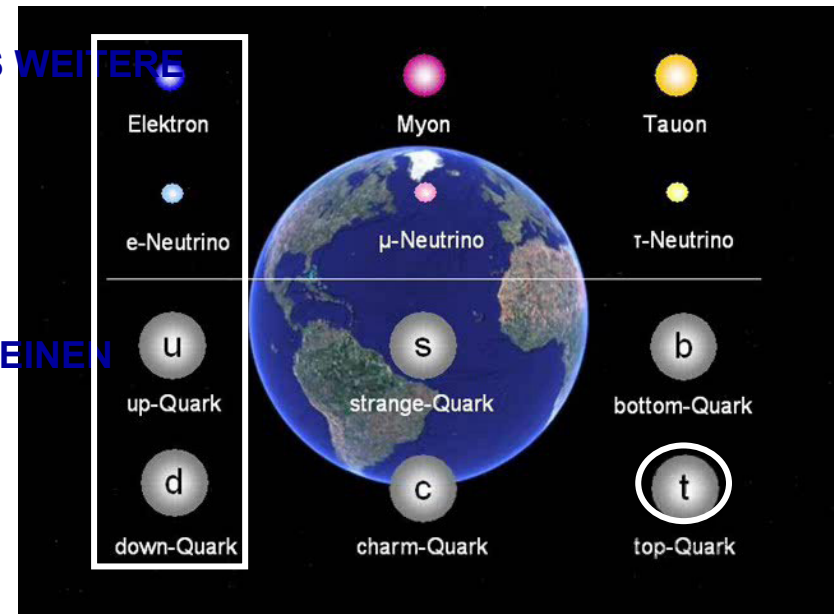


IN DEN ERSTEN SEKUNDEN DES UNIVERSUMS GAB ES WEITERE
OBJEKTE, DIE LÄNGST ZERFALLEN SIND

DIESE KÖNNEN AN TEILCHENBESCHLEUNIGERN IN KLEINEN
"URKNALLEN" AUS ENERGIE ERZEUGT WERDEN, Z.B.:



ANWENDUNG: $E = mc^2$ (Albert Einstein)



Dabei entstehen paarweise Materie- und Antimaterieteilchen

GRAVITATION:

NEWTON (1642-1727):

GRAVITATIONSGESETZ



ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS:

MAXWELL (1831-1879):

**VEREINIGUNG ELEKTROSTATIK
UND MAGNETISMUS**

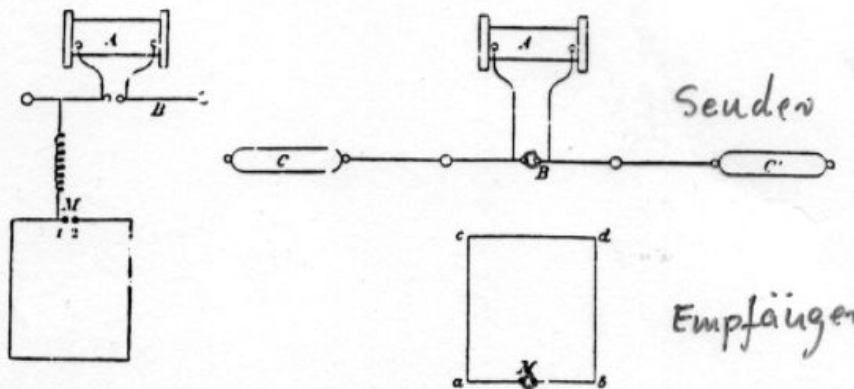


**HEINRICH HERTZ (1857-94): ENTDECKUNG DER ELEKTRO-
MAGNETISCHEN WELLEN IN KARLSRUHE**



Heinrich Hertz (1857-1894). He taught and carried out research from 1880 to 1889 at the University of Karlsruhe.

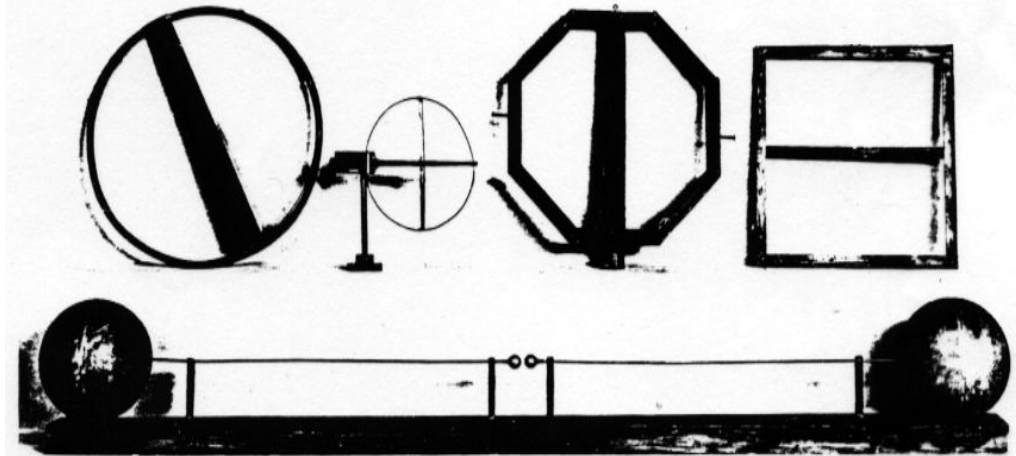
ENTDECKUNG DER "ELEKTRODYNAMISCHEN" WELLE



18 Das sog. Induktorium A liefert eine sehr hohe Wechselspannung. Die Schwingungen breiten sich auch durch die Luft aus. Eine metallische Verbindung (wie in der Versuchsanordnung links) ist nicht nötig. Der Nachweis erfolgt durch kleine Fünklehen, die bei M überspringen. Das sind die von Hertz sogenannten »Nebenfunklen«.

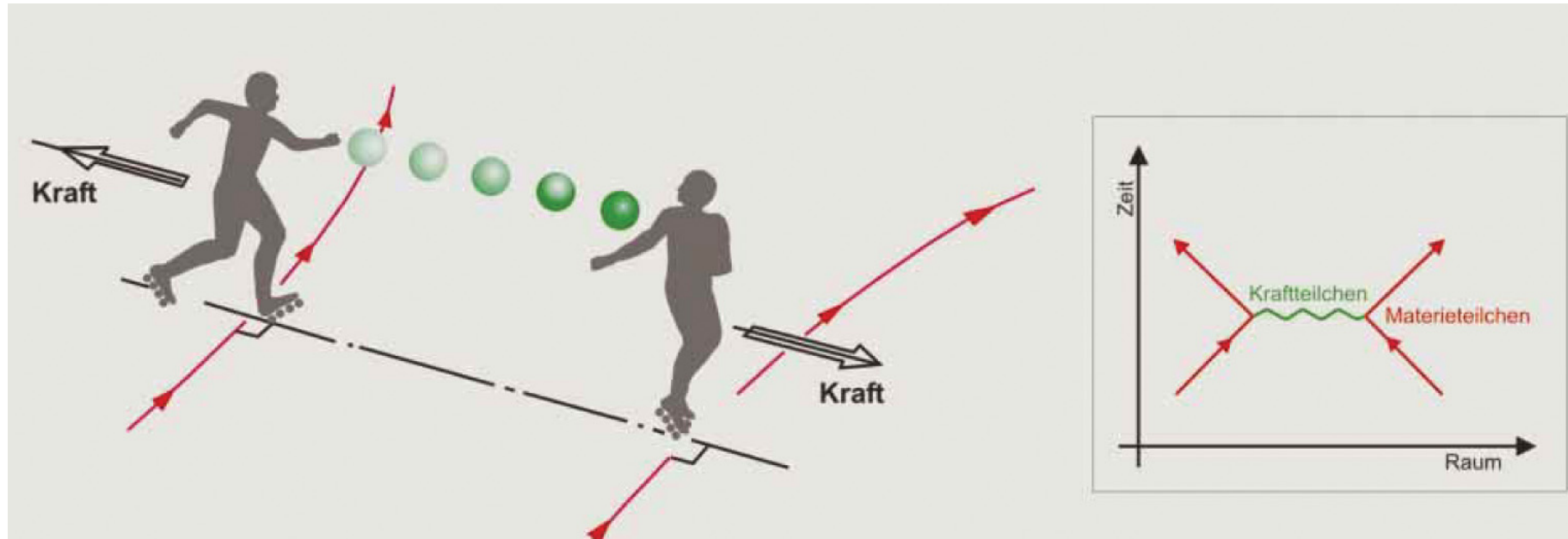
Der geradlinige Hertz'sche Oszillator. Die metallischen Hälften beiderseits der Funkenstrecke werden entgegengesetzt aufgeladen, bis ein überspringender Funke ein Hin- und Herschwingen der Elektrizität zwischen beiden Seiten einleitet. Mit der schwingenden La-

dung zusammenhängend entwickelt sich im umgebenden Raum ein periodisch schwankendes elektrisches und magnetisches Feld, das mit Lichtgeschwindigkeit als Welle fortwandert.



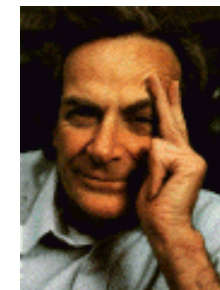
ERKENNTNIS:

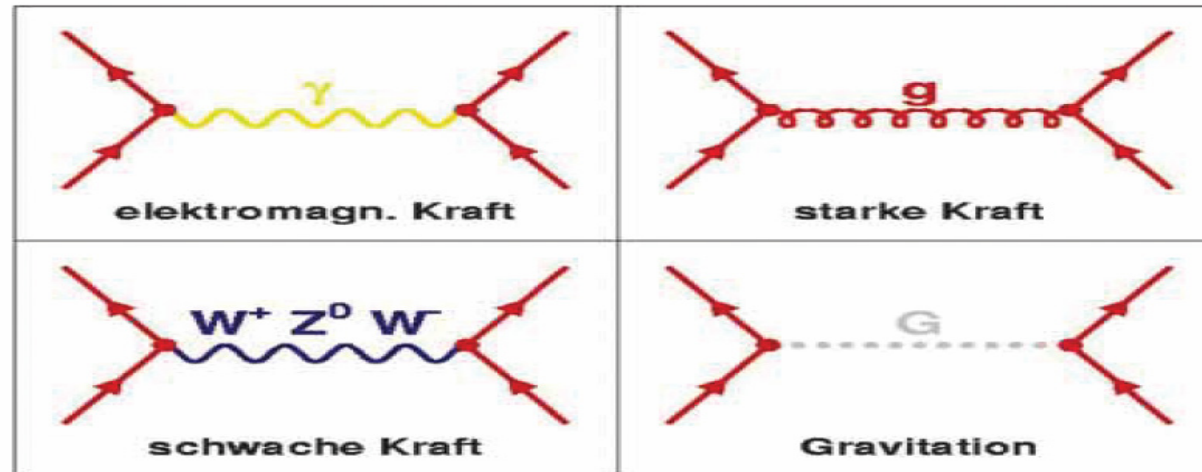
- DIE ELEKTRISCHEN UND MAGNETISCHE KRÄFTE WERDEN DURCH ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN ÜBERTRAGEN (PHOTONEN)



ALLGEMEIN:

- KRÄFTE ENTSTEHEN DURCH AUSTAUSCH VON BOSONEN
- SCHEMATISCHE BESCHREIBUNG DURCH FEYNMANDIAGRAMME





- ◆ **Gravitation**
Anziehung von Massen
- ◆ **Schwache Wechselwirkung**
Bewirkt den radioaktiven Zerfall
- ◆ **Elektromagnetische Wechselwirkung**
Gleiche Ladungen stoßen sich ab,
ungleiche ziehen sich an
- ◆ **Starke Wechselwirkung**
Anziehende Kraft zwischen den Quarks

Stärke : 10^{-38}
Reichweite: unendlich

Stärke : $1/100000$
Reichweite: sehr klein!

Stärke : $1/100$
Reichweite: unendlich

Stärke : 1
Reichweite: $\sim 10^{-15}\text{m}$

UNSER HEUTIGES WELTBILD KENNT

12 FUNDAMENTALE MATERIETEILCHEN: Quarks und Leptonen

**4 FUNDAMENTALE KRÄFTE: Starke Kraft, Elektromagnetische Kraft,
Schwache Kraft, Gravitation**

Die Teilchen sind höchstens 10^{-19} m groß.

Ob sie zusammengesetzt sind, ist nicht bekannt. Ich halte es für nicht naheliegend.

OFFENE FRAGEN:

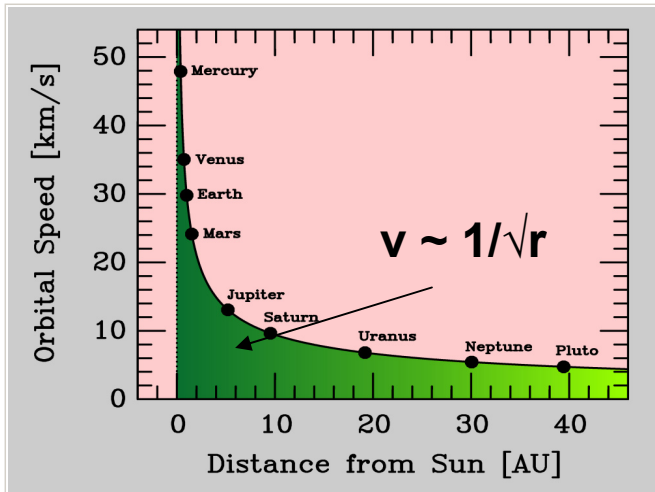
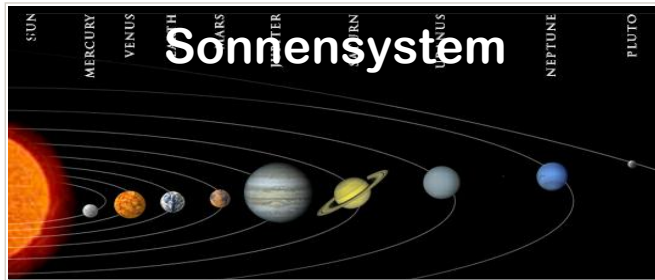
WIE BEKOMMEN TEILCHEN IHRE MASSE ?

WIESO GIBT ES NUR MATERIE IM HEUTIGEN UNIVERSUM ?

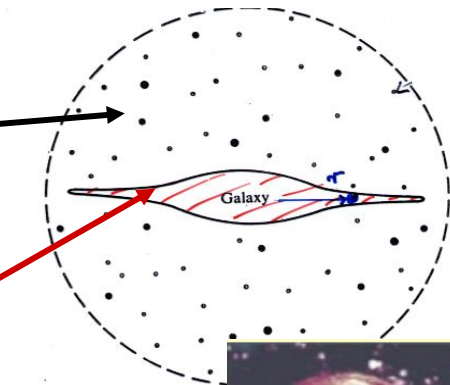
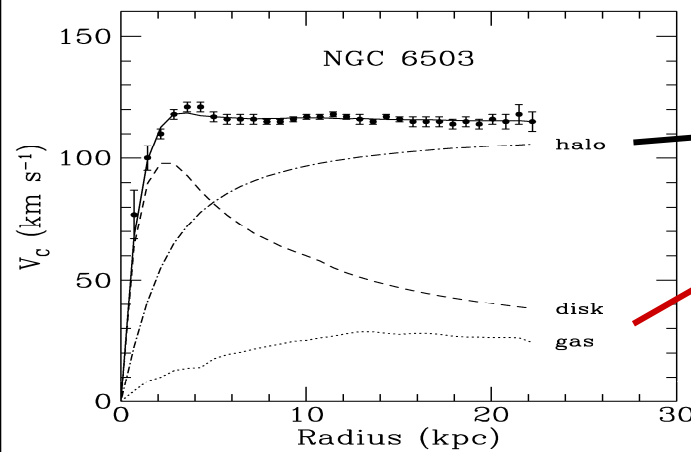
WIE ERKLÄRT SICH DIE VIELFALT DER TEILCHEN UND KRÄFTE ?

GIBT ES MEHR ALS DREI RAUMDIMENSIONEN ?

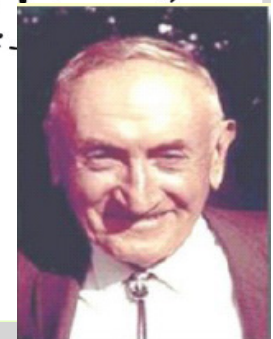
UND.....



**Im Sonnensystem:
Gültigkeit von Keplers
Gesetzen !**

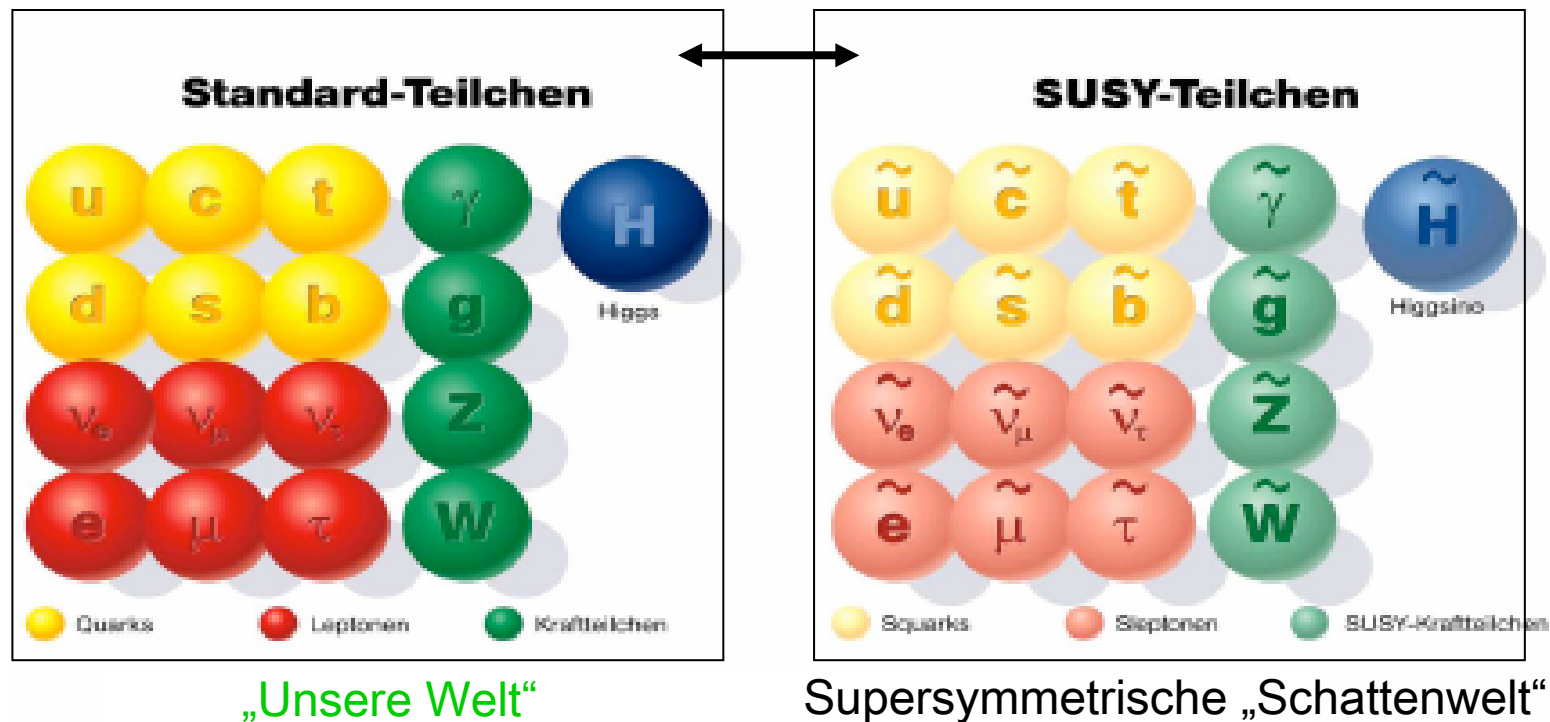


**In Galaxien und Galaxienhaufen:
Neue Form nicht-sichtbarer Masse !**



F. Zwicky 1898-1974

Supersymmetrie

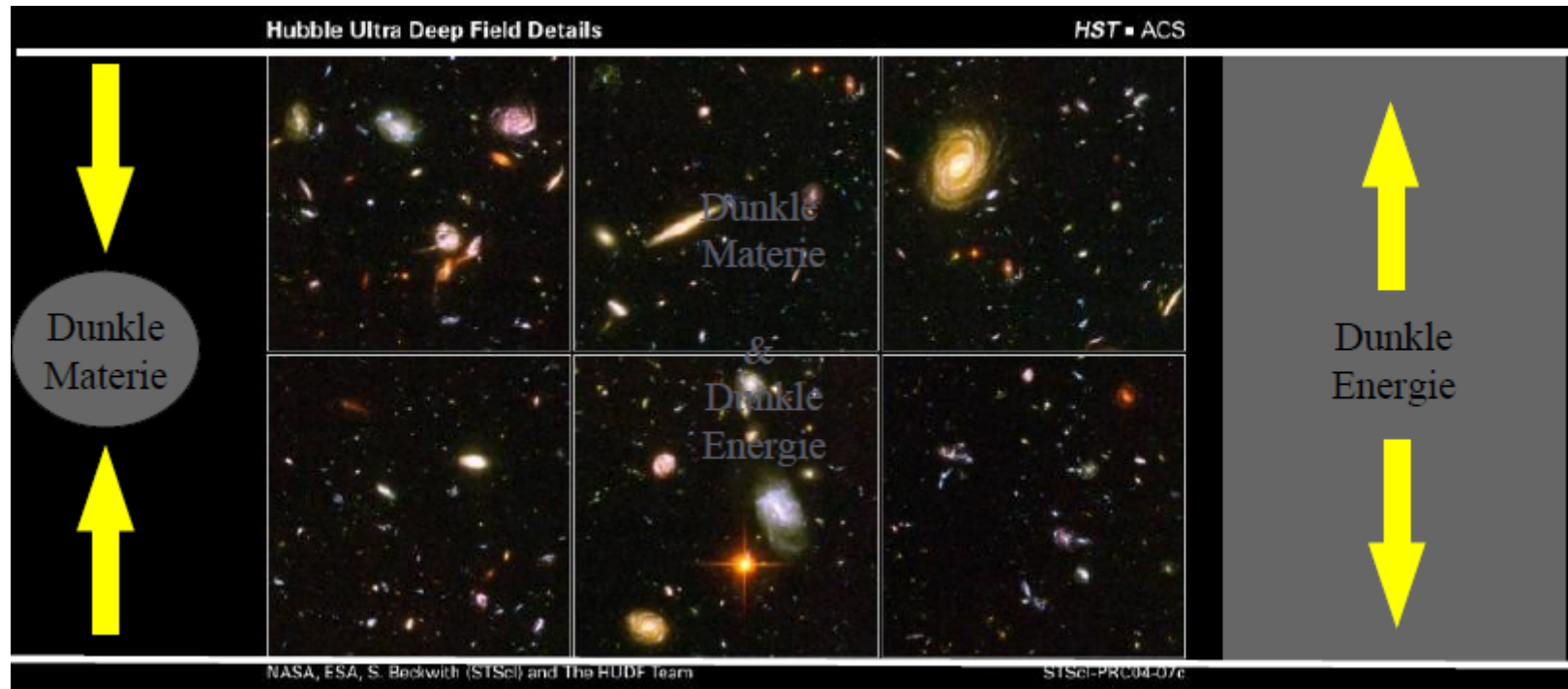


Wenn es diese Teilchen gibt, müssen sie sehr schwer sein!

Deren leichtestes würde die Dunkle Materie bilden.

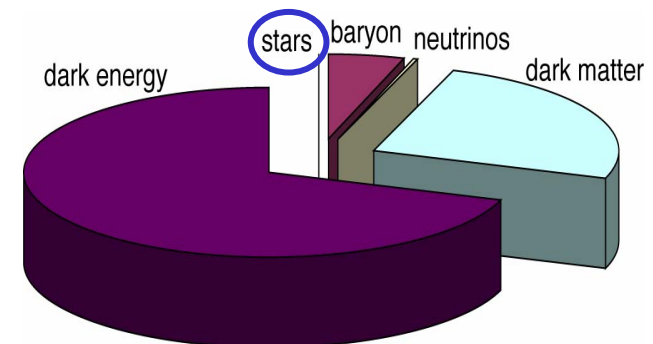
Die derzeitigen Beschleuniger sind zu „schwach“, es zu erzeugen

→ **gehe zum CERN**

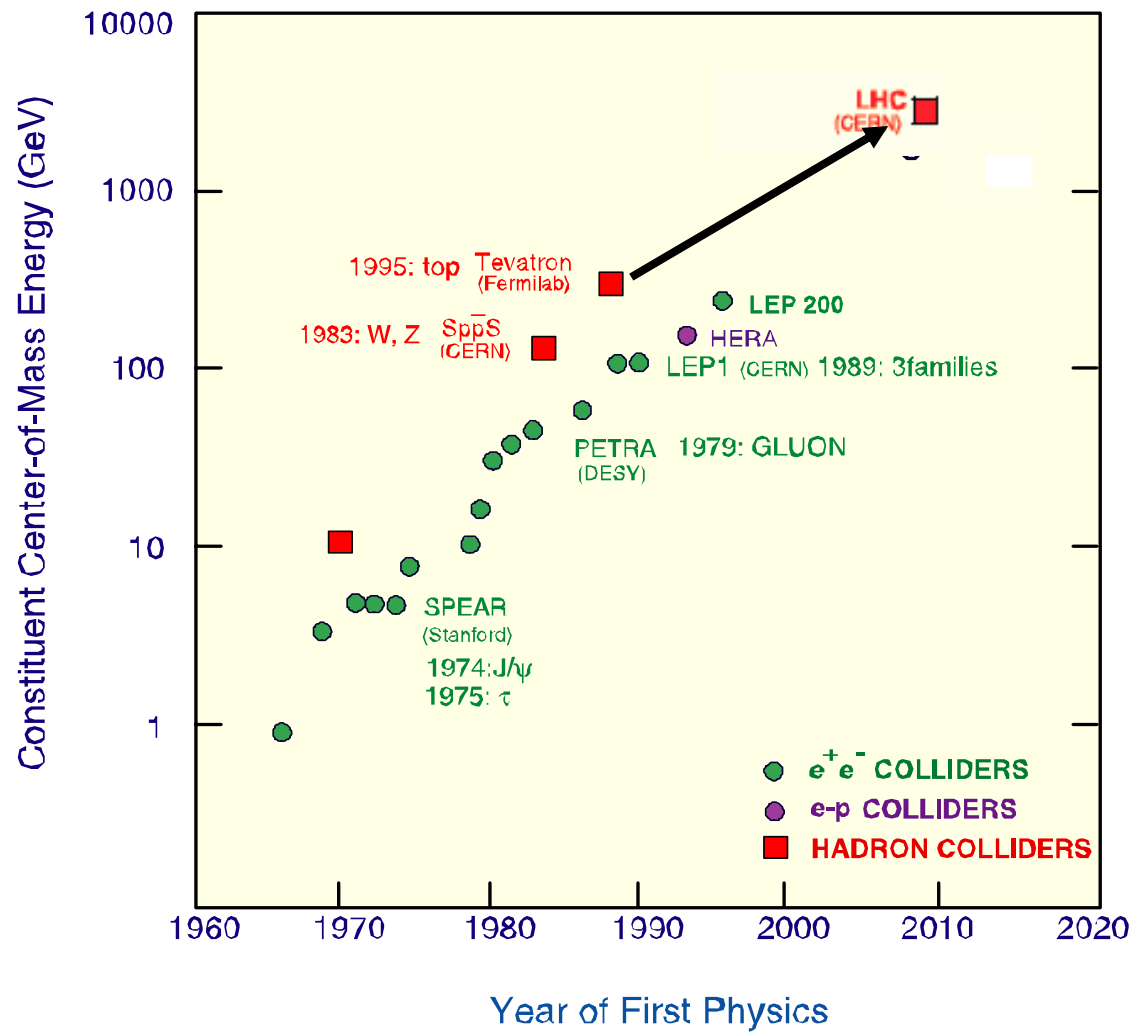


Das Universum dehnt sich immer schneller aus !

Die uns vertraute Materie macht nur 4,5 %
der Gesamtmasse des Universums aus!
Der Rest ist dunkel!



Zur Klärung dieser Fragen: deutlicher Leistungssprung der Beschleuniger nötig !



**LHC: Energie 7 X
Rate 100 X
mehr als Tevatron !**

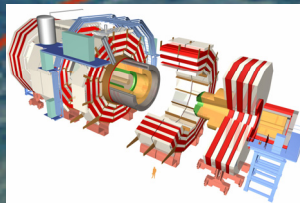


UND WEIL SICH DAS UNIVERSUM IMMER
WEITER AUSDEHNT, BRAUCHEN WIR EBEN
EIN GRÖßERES TELESKOP !

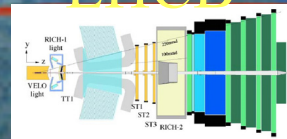
- 1984 Erste Ideen für den LHC
- 1988 Beginn mit konkreten Plänen für Detektoren
- 1995 Beginn der Teilnahme der Universität Karlsruhe
- 2000 Beginn der Konstruktion der Detektorelemente
- 2005 Beginn Zusammenbau des CMS-Detektors am CERN
- 2009 Seit Proton-Proton-Kollisionen

Ca. 10.000 Mitarbeiter beteiligt an Entwicklung und Bau !

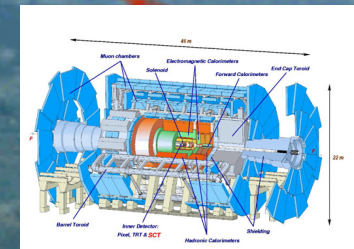
CMS



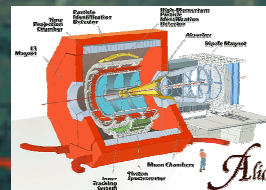
LHCb



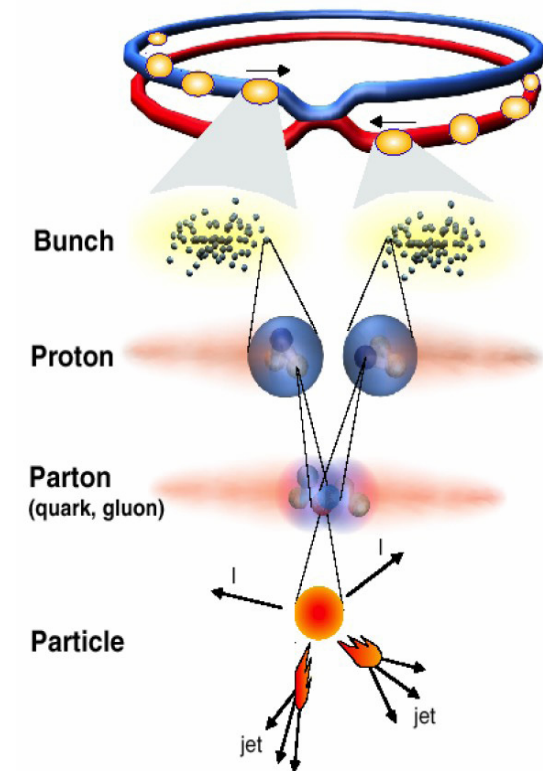
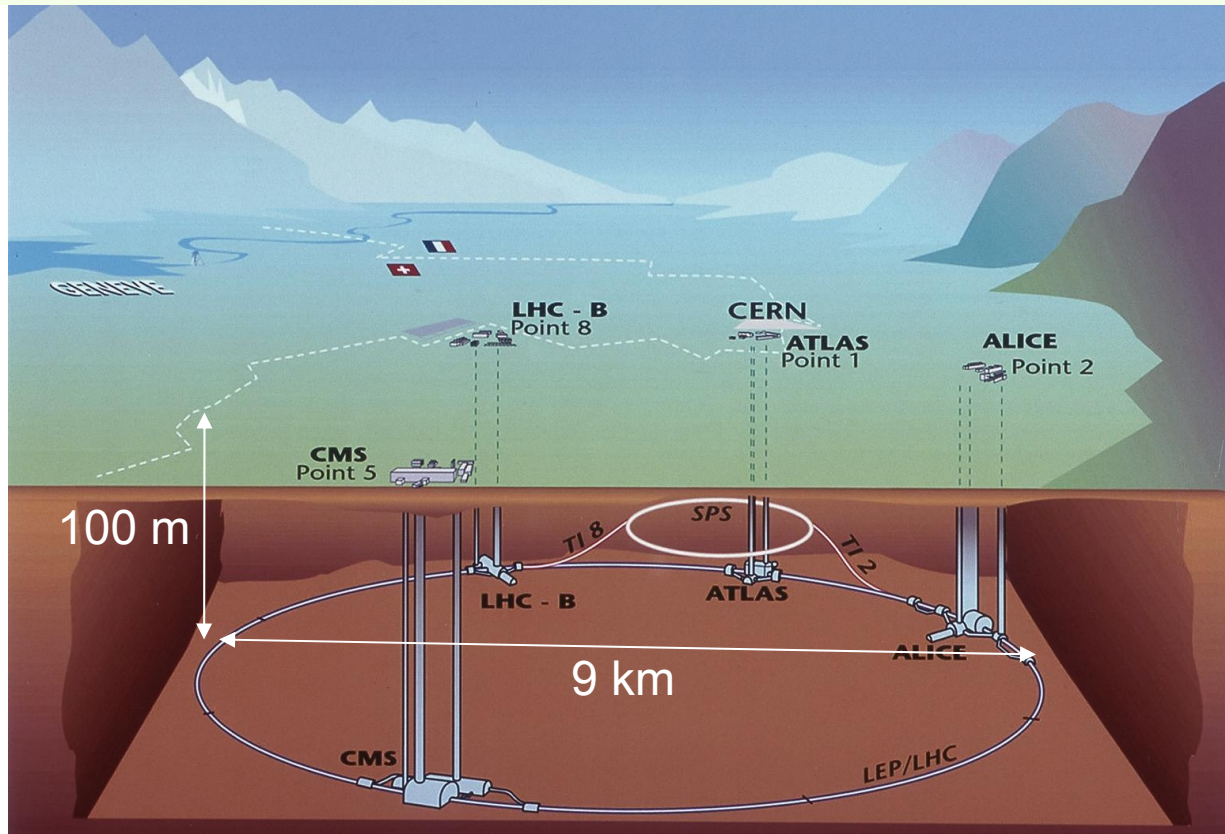
Atlas



Alice



Proton-Proton-Kollisionen bei max. 14 TeV Schwerpunktsenergie
Kollisionsraten bis 10^9 / s
Umfang 27 km



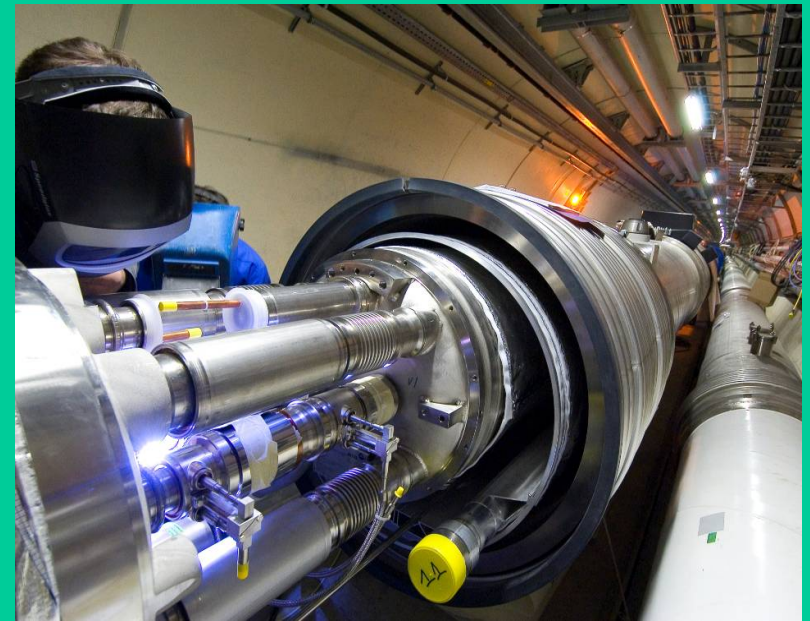
**Die Strahlen haben die Energie
eines ICE in voller Fahrt !**



- Magnetfeld von 8,3 Tesla
- insgesamt 1232 Stück, 15 m lang
- 270'000 km Kabelstränge mit 6400 7µm dicken supraleitenden Filamenten
- Strom von 11'700 A
- Betriebstemperatur von 1.9 K



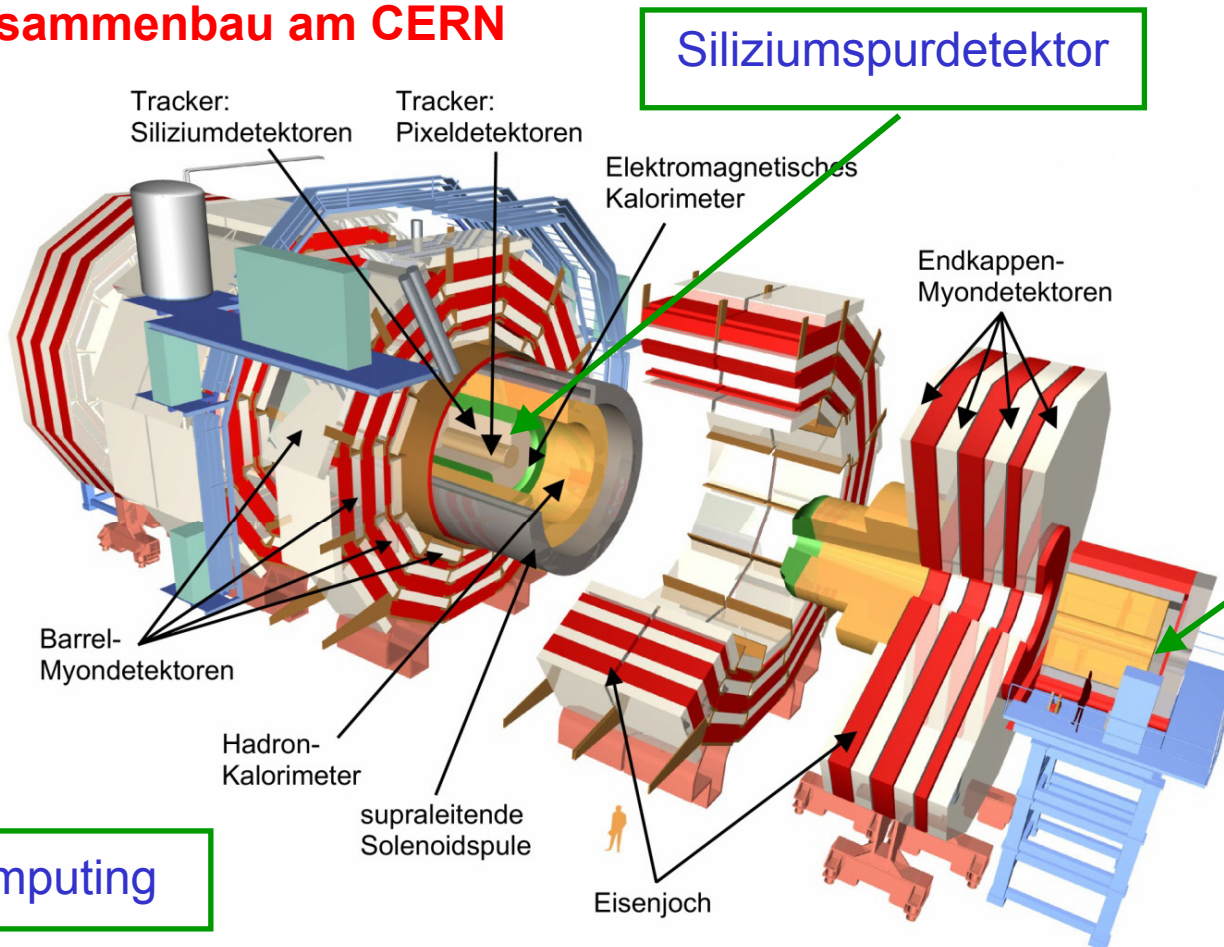
Abkühlung durch 120 Tonnen suprafluides Helium



Insgesamt
30.000 km
Transportweg



**Bau der Einzelteile an
teilnehmenden Instituten,
Zusammenbau am CERN**



CMS-Detektor:

**25m lang, 16m Höhe
12500 Tonnen
Nettokosten 550 MSFr**

Strahlmonitor

CMS-Kollaboration:

**2310 Wissenschaftler
38 Staaten
175 Institute**

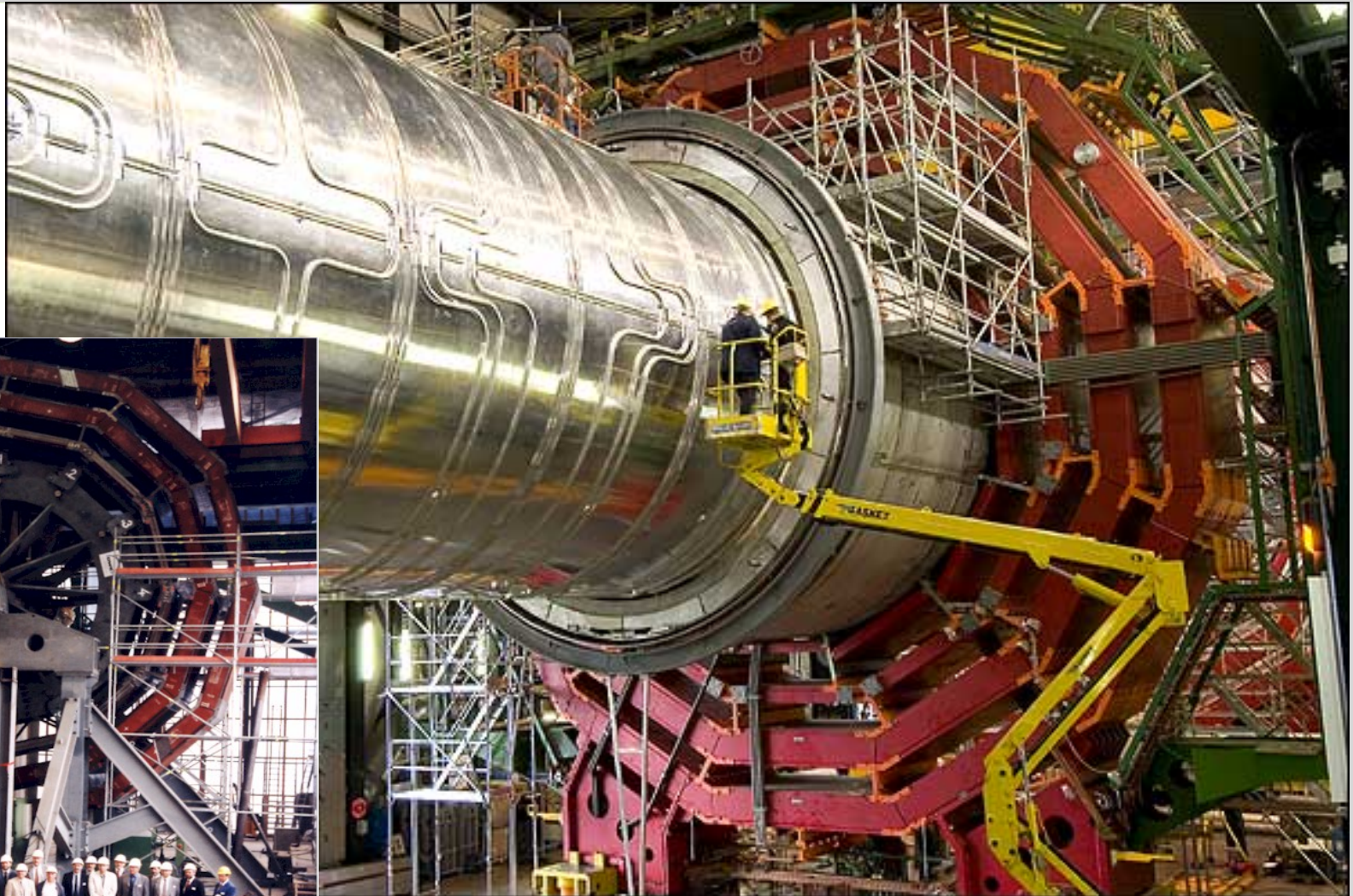


IEKP Karlsruhe: 55

Computing

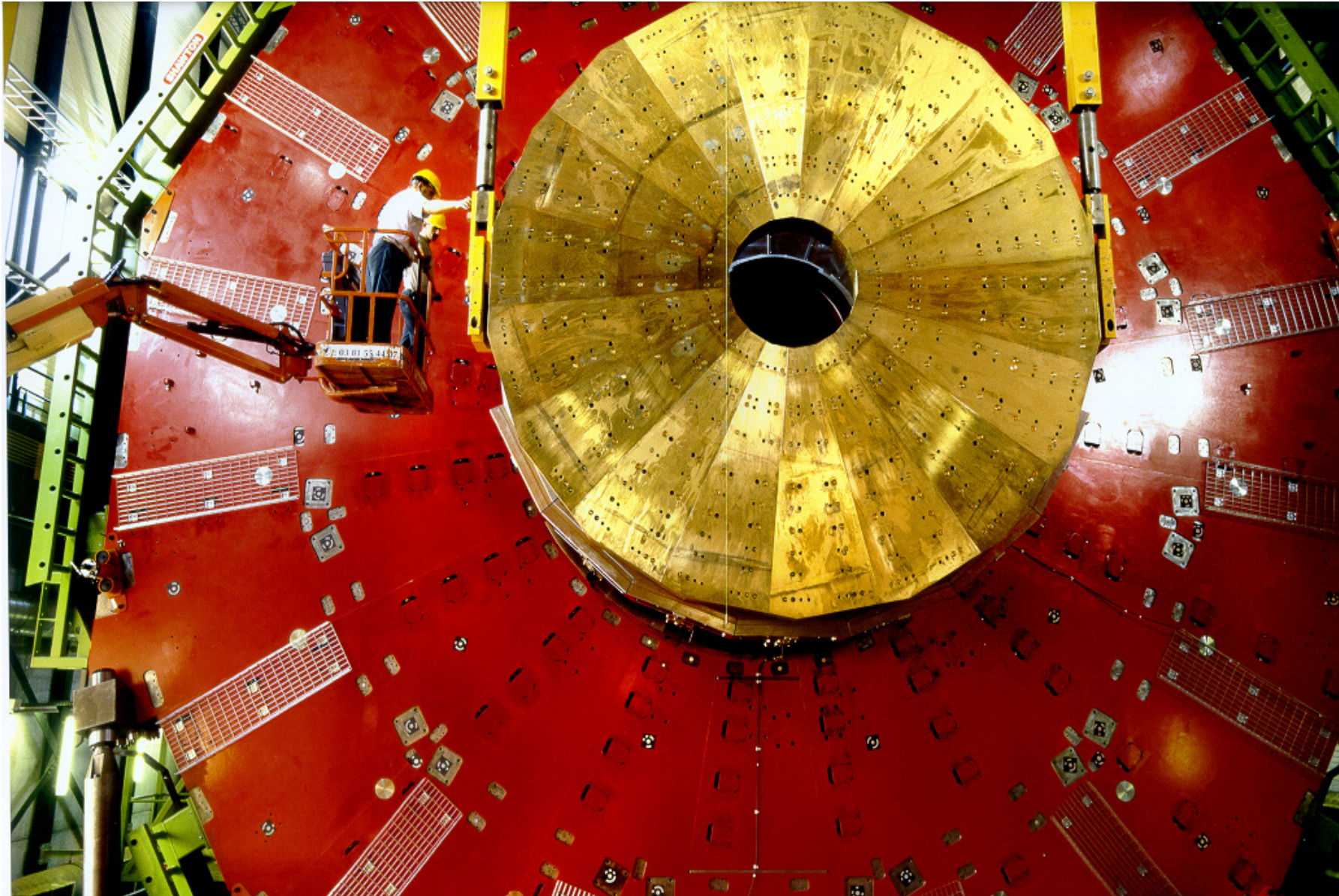
Software / Datenanalyse

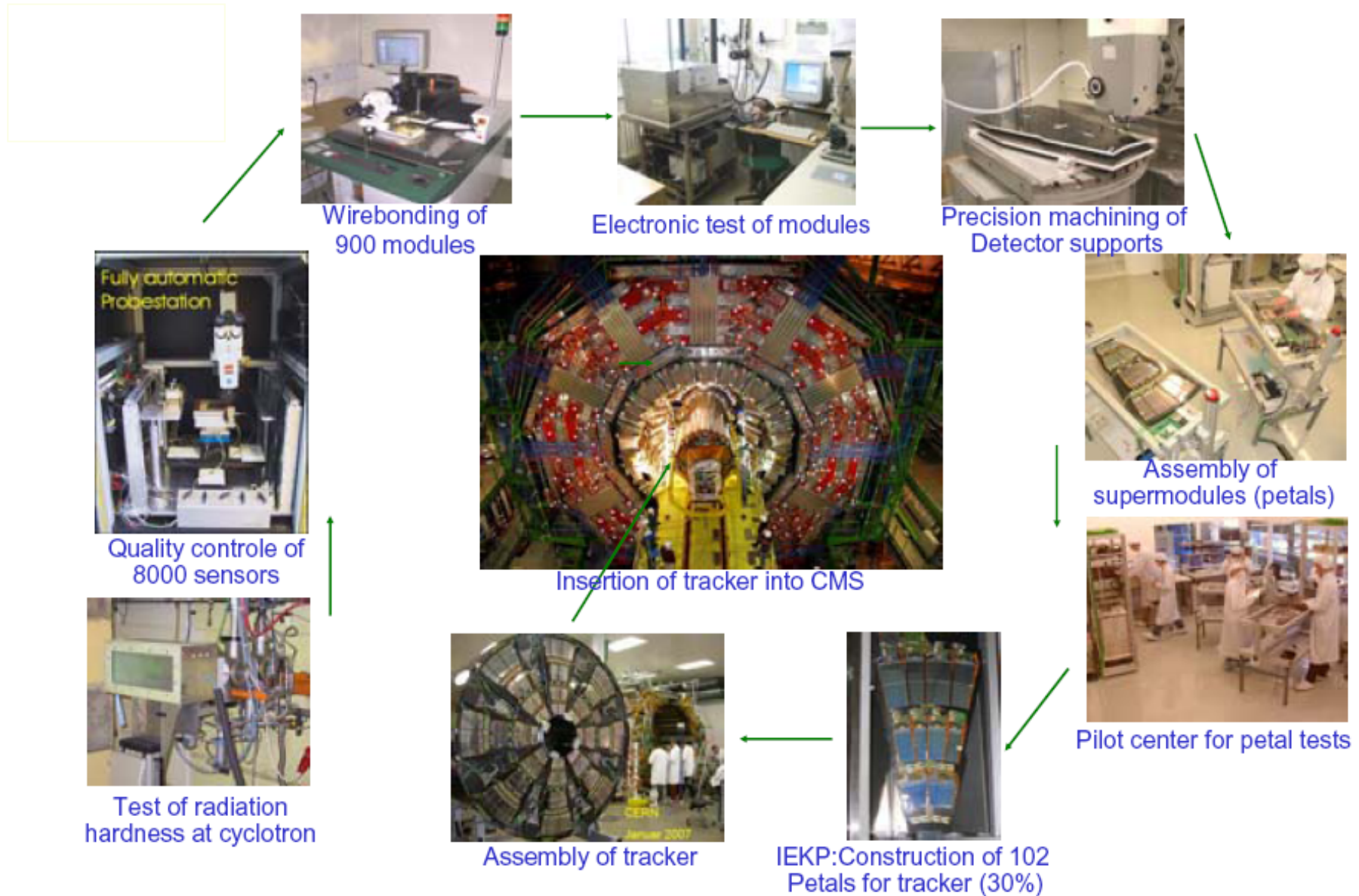
Einschub der
inneren
Kryostatwand



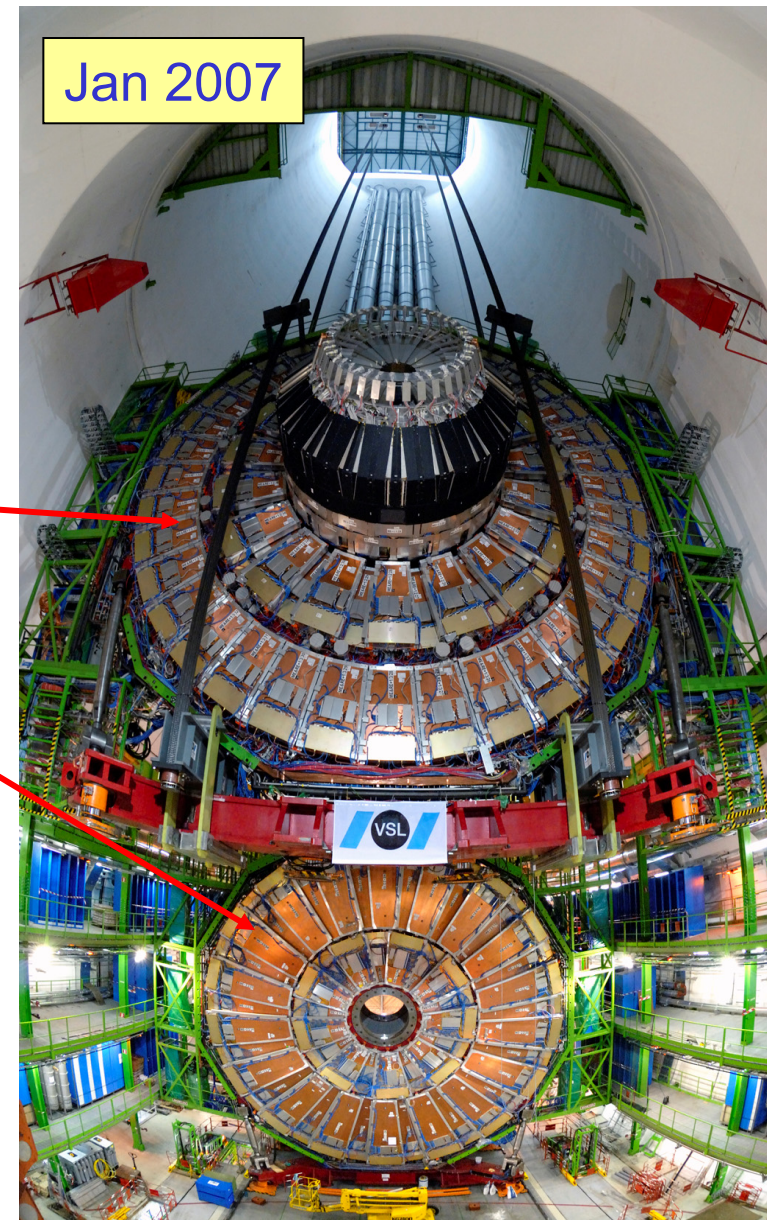
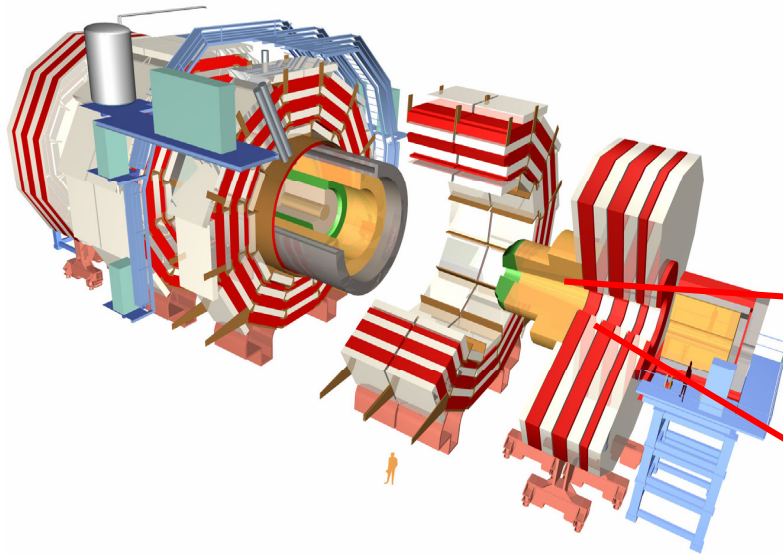
Bau des Eisenjochs in der DWE-Werft

GRÖßTER SUPRALEITENDER MAGNET DER WELT:
4T (100000 mal Erdmagnetfeld)
13m lang, 6m Durchmesser

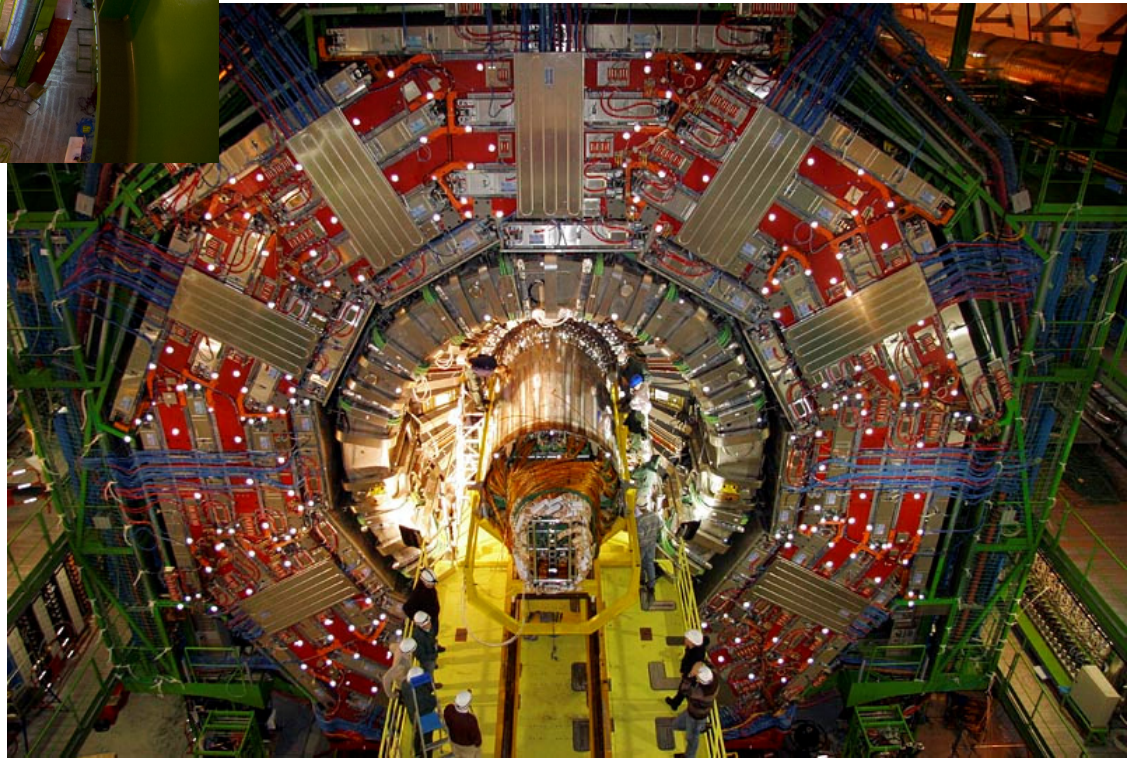
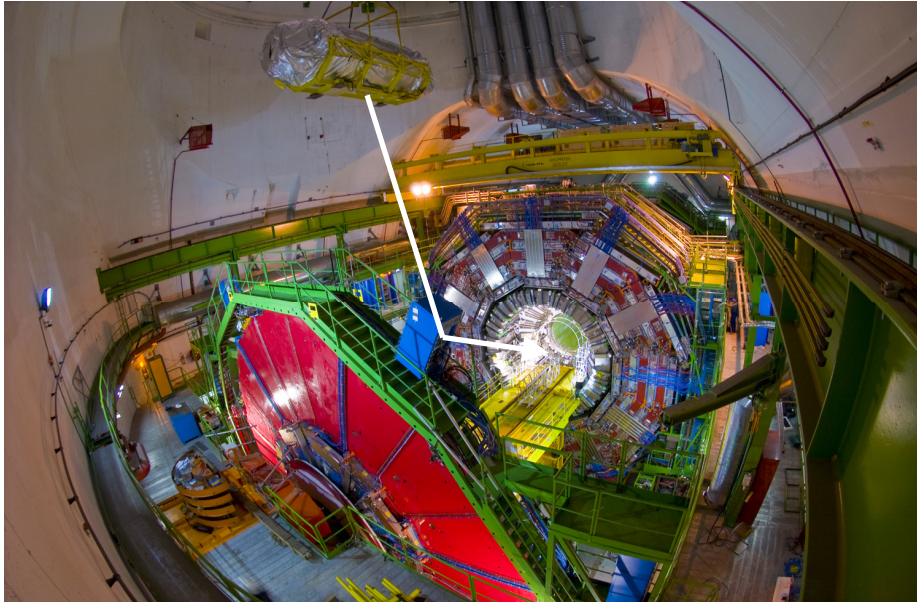


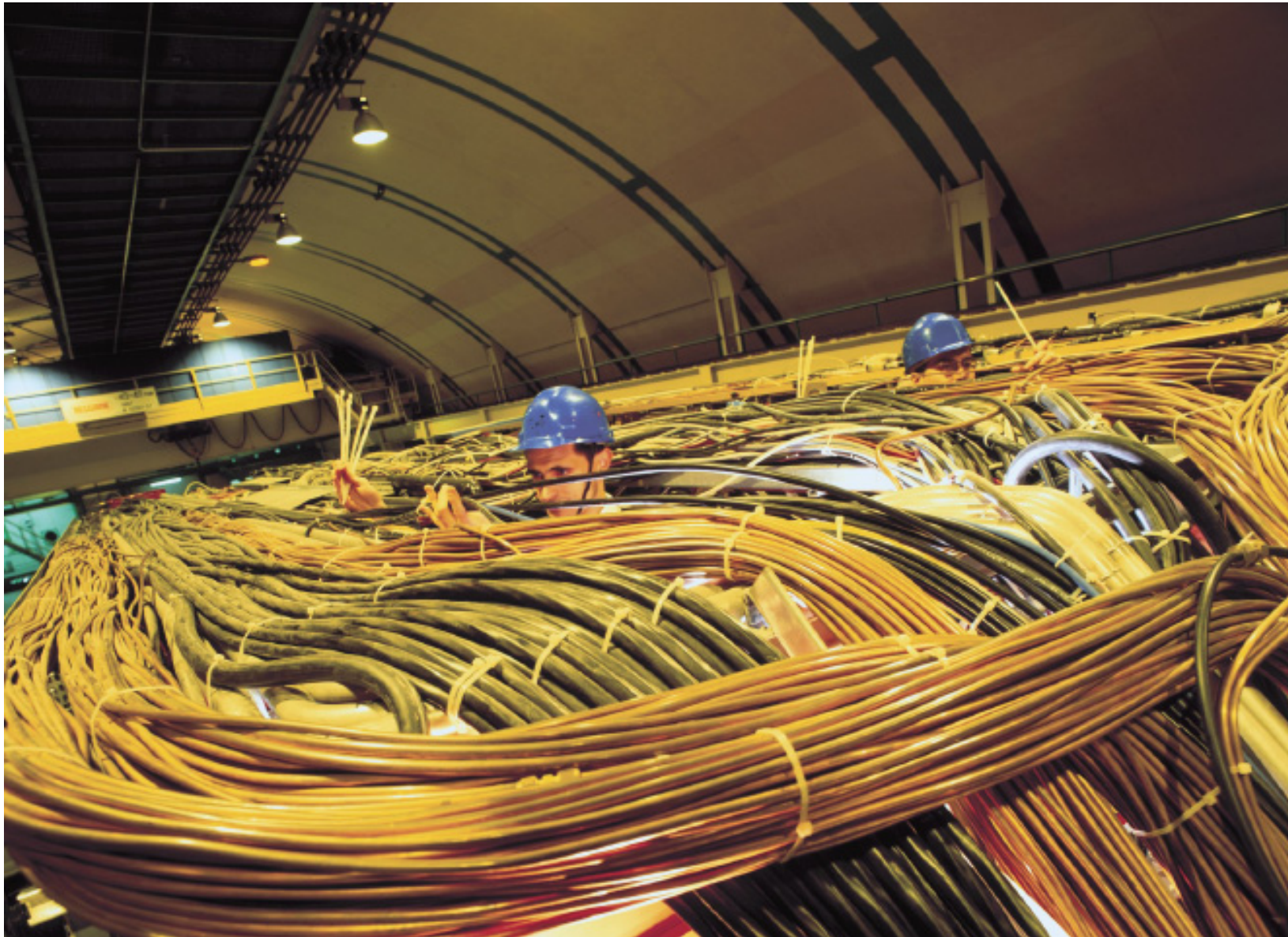


Absenken einer Endkappe



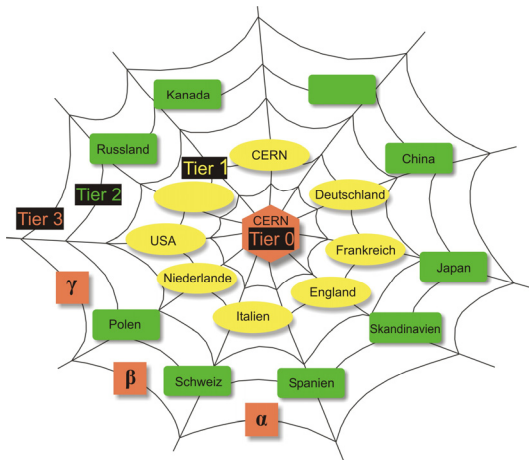
Dez. 2007





**Am CERN wurde das World-Wide Web erfunden.
Das Grid ist eine Weiterentwicklung**

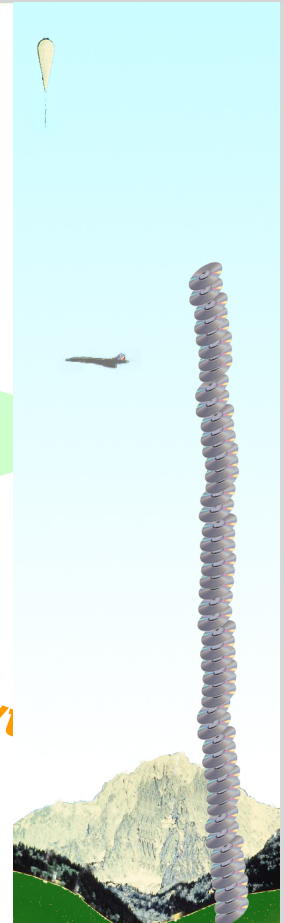
40 MHz ; 10^9 Ereignisse/s ; 10 Mio Kanäle $\Rightarrow$ 1 PetaByte
Online-Datenreduktion
Datenspeicherung
100 Hz $\sim$ 1
PetaByte/Jahr
(1,4 Millionen CD)

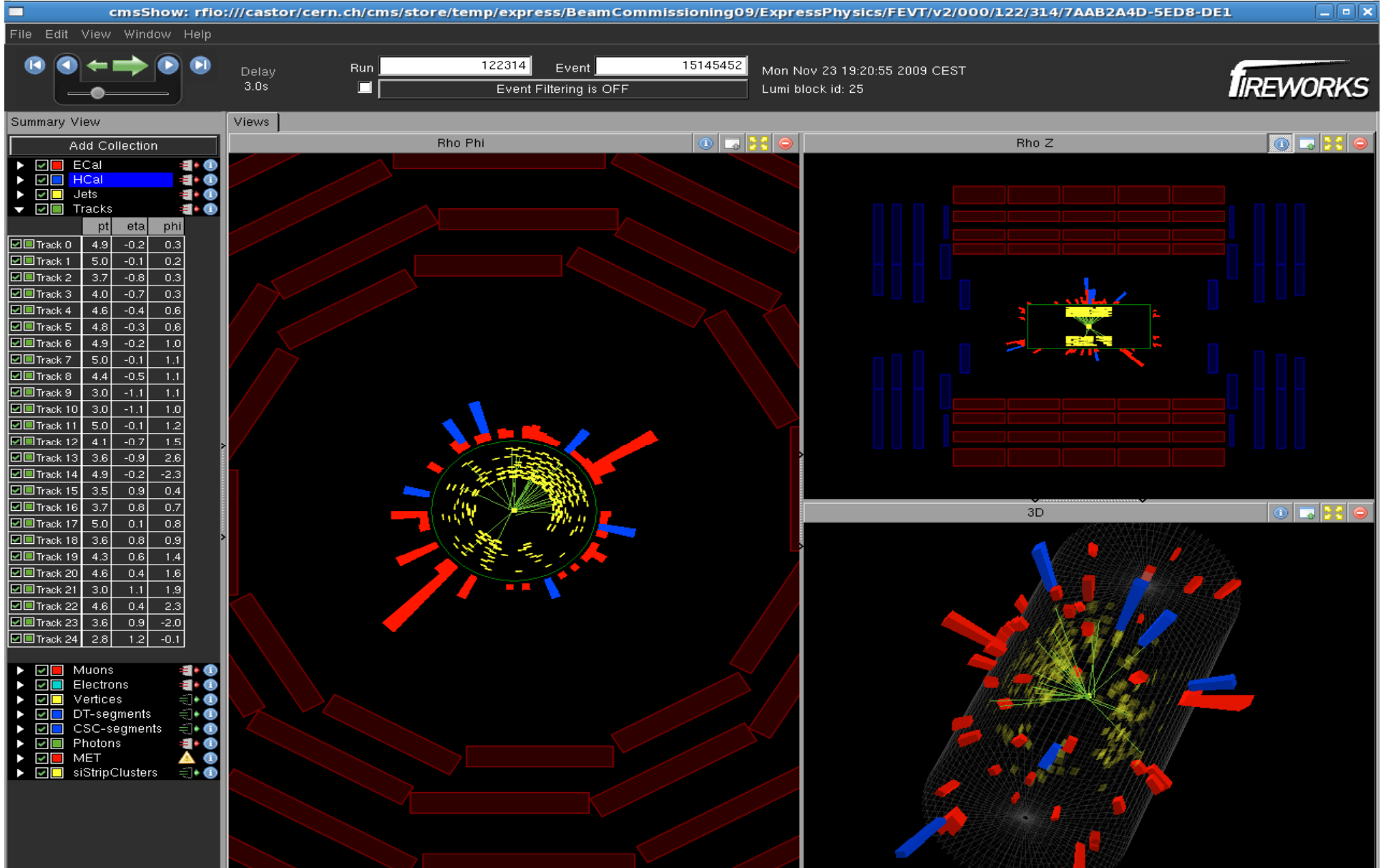


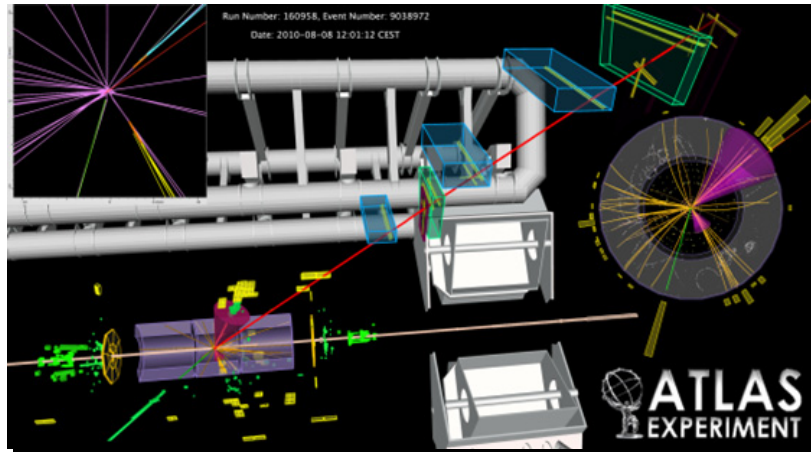
LÖSUNG: DAS GRID $\longrightarrow$

KIT: GridKa (Tier 1)

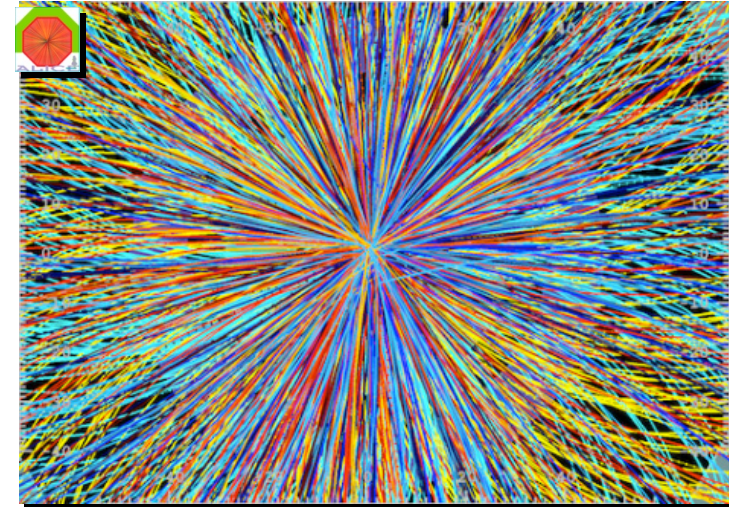
CampusGrid (Tier 2-3)



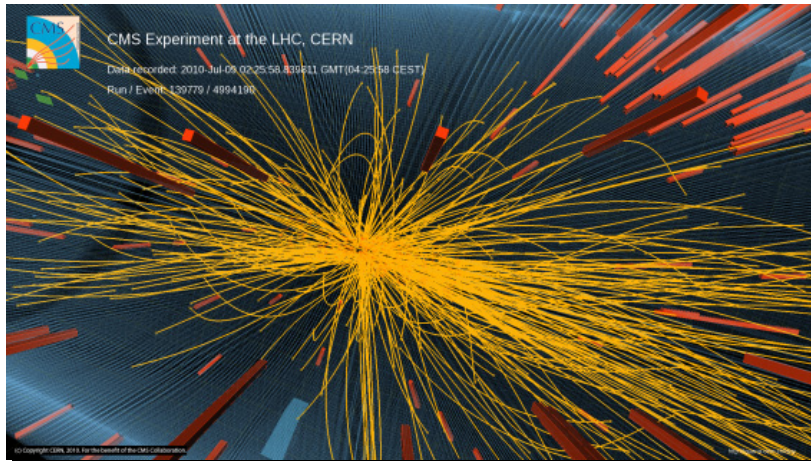




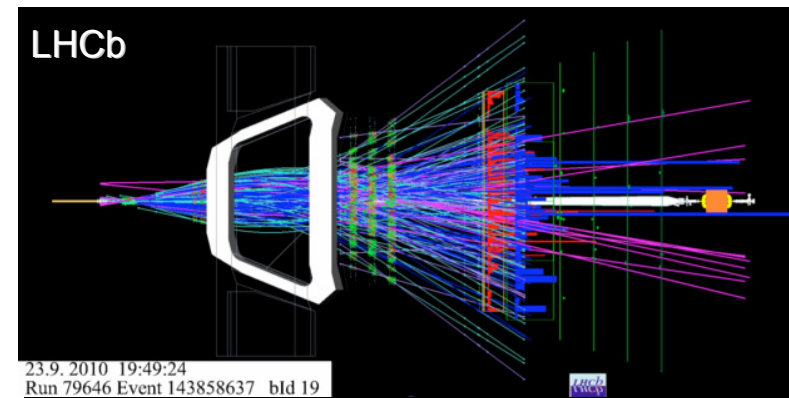
Proton-Proton-Kollision



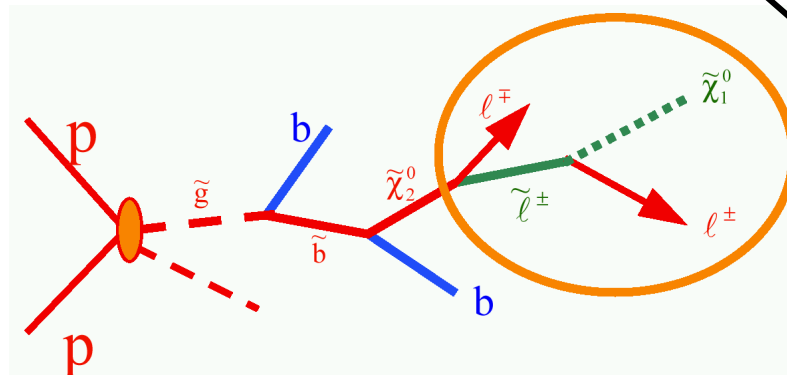
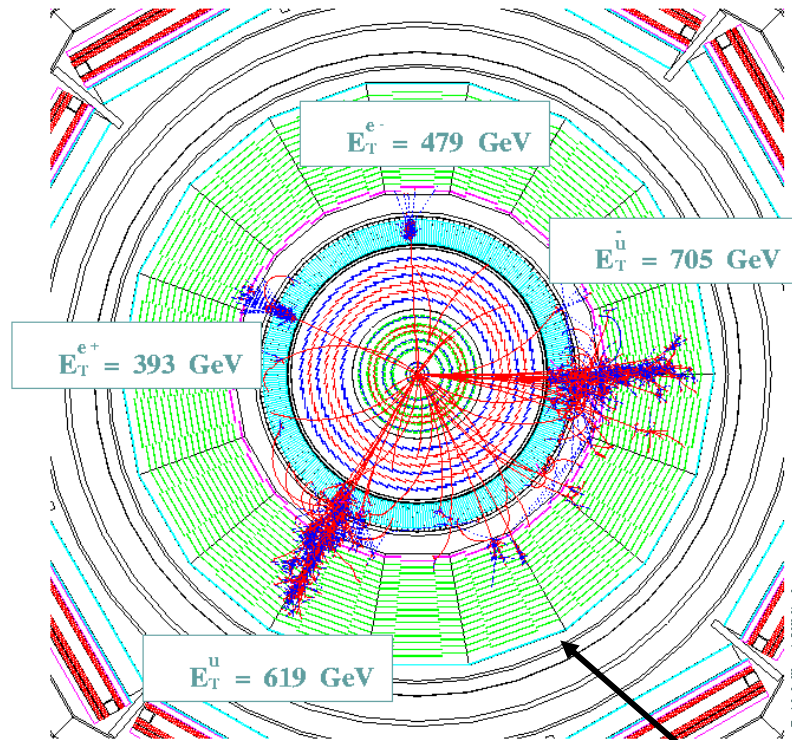
Blei-Blei-Kollision



Blei-Blei-Kollision



Proton-Proton-Kollision



Zerfallskette

$$\tilde{g} \rightarrow \tilde{b} + b$$

$$\tilde{b} \rightarrow \tilde{\chi}_2^0 + b$$

$$\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\ell}^+ + \ell^-$$

$$\tilde{\ell}^{+-} \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 + \ell^{+-}$$

Endzustand

$$b + b + \ell^- + \ell^+ + \tilde{\chi}_1^0$$

Dunkle Materie ?

