

**"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 :**

**SCHAFFE ZUSTÄNDE WIE IN DEN ERSTEN ANFÄNGEN DES UNIVERSUMS**

## DAS UNIVERSUM IST VOR CA. 13 MILLIARDEN JAHREN IN EINEM URKNALL ENTSTANDEN ("BIG BANG")

...wie alles anfing



**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

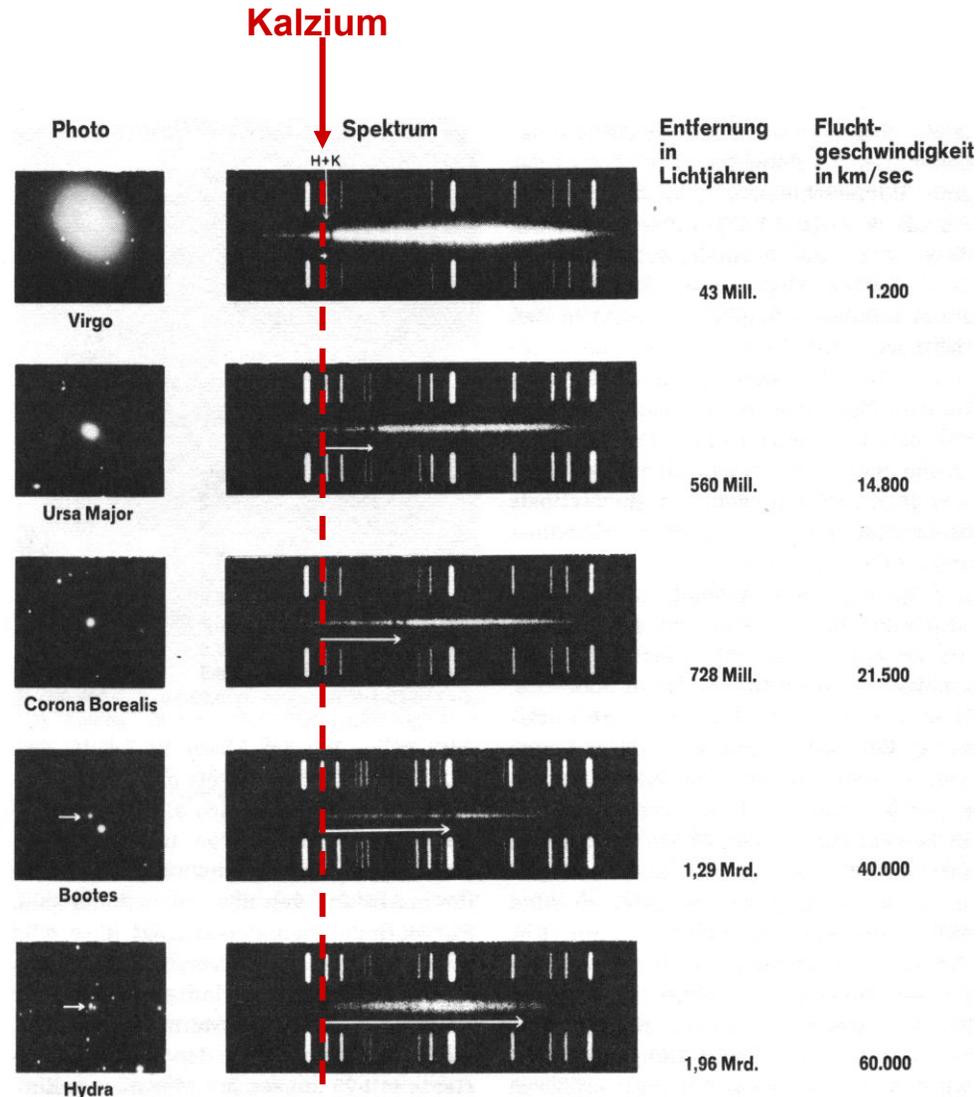
## 2. BEOBACHTUNG:

**DIE GALAXIEN ENTFERNEN SICH  
VON EINANDER (Hubble 1930)**

**JE GRÖßER DIE ENTFERNUNG  
DESTO SCHNELLER**



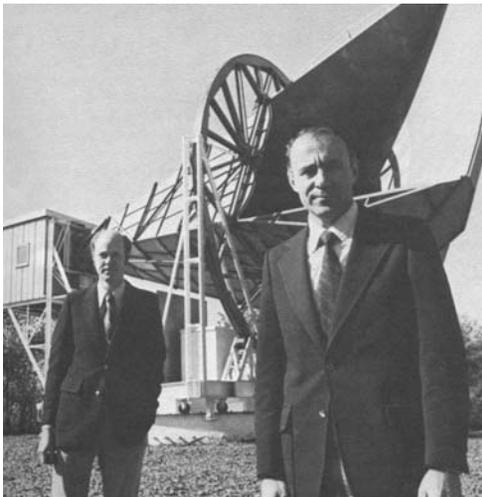
Hubble



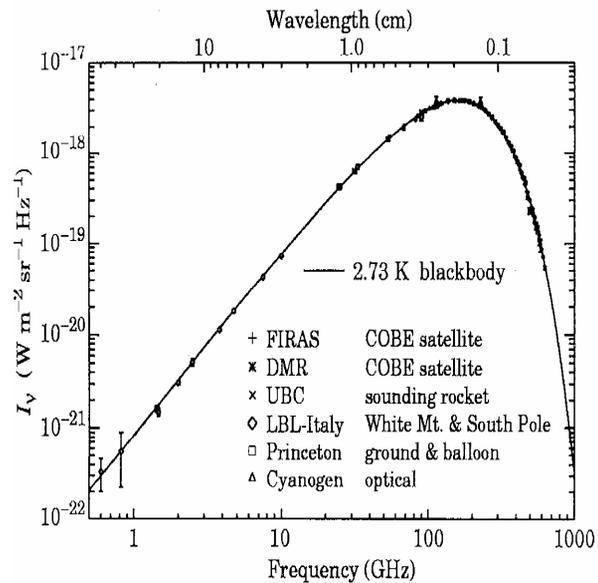
**ROTVERSCHIEBUNG FERNER GALAXIEN**

### 3. BEOBACHTUNG:

## KOSMISCHE HINTERGRUNDSTRAHLUNG (Penzias, Wilson 1956) 2.7 K TEMPERATURSTRAHLUNG → LICHTBLITZ DES URKNALLS



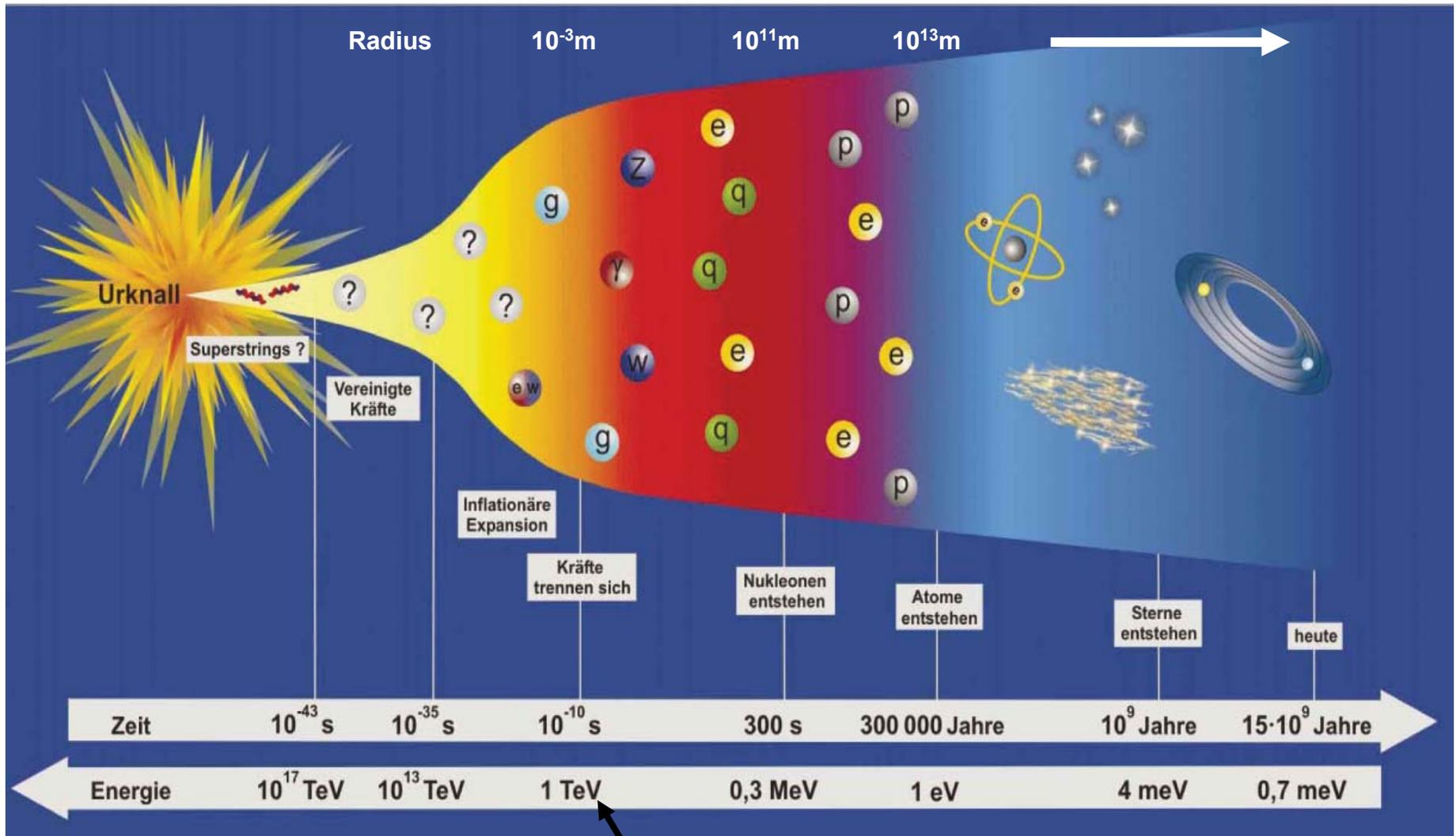
HORNANTENNE DER BELL  
TELEPHONE LABORATORIES



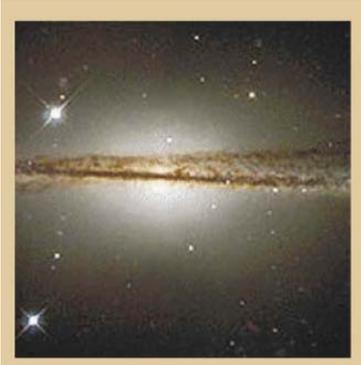
Max  
Planck

Körper mit Temperatur  $T$  [K] strahlen mit Frequenzverteilung  $\nu$

... und natürlich die Ergebnisse von WMAP !



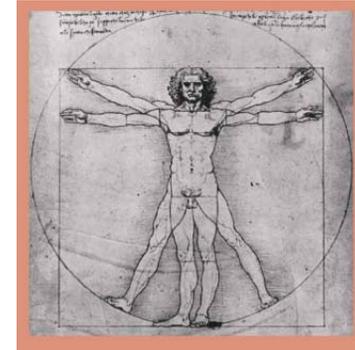
**Teilchenbeschleuniger**



$10^{26}$  m



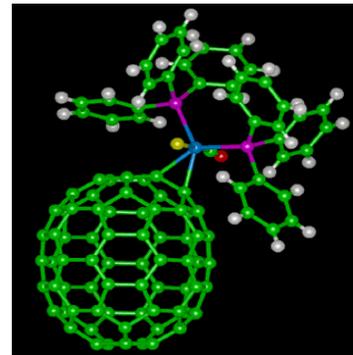
$10^7$  m



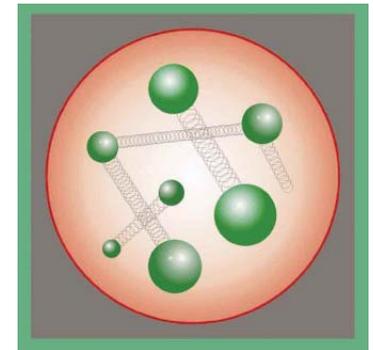
$10^1$  m



$10^{-4}$  m



$10^{-8}$  m



$10^{-15}$  m

**Dalton 1803-1808**

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

**Meyer/Mendelejev 1869-1871**

**Periodensystem der Elemente**

**$10^7$  Chemische Verbindungen  $\longrightarrow$  112 Atome**

**Rutherford (1871-1937)**

**Atome: kompakter Kern mit Elektronenhülle**

**Bothe, Chadwick, Joliot (um 1932)**

**Neutronen und Protonen im Kern**

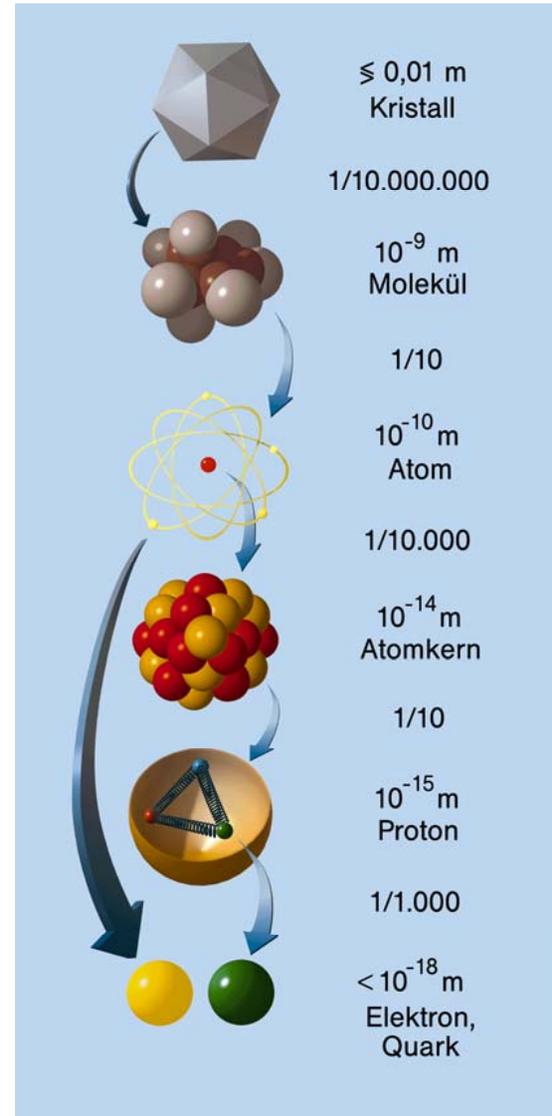
**112 Atome  $\longrightarrow$  3 Bausteine**

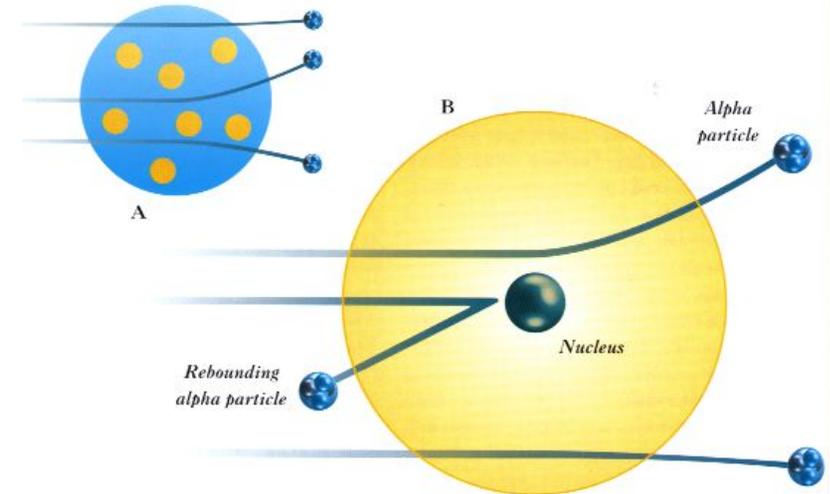
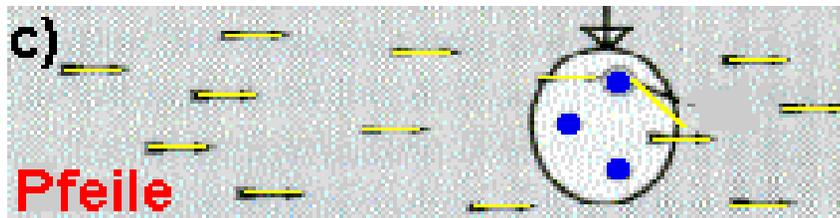
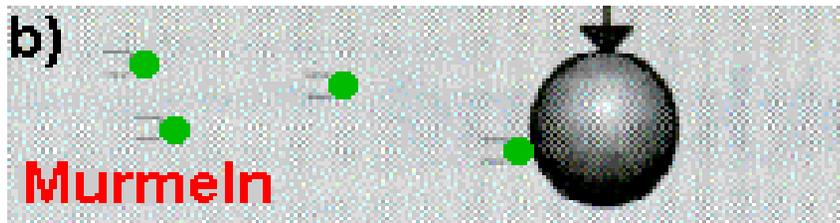
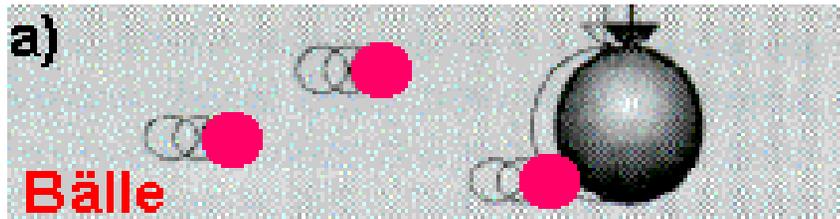
**Gell-Mann, Zweig (1964)**

**Protonen, Neutronen, andere Hadronen**

**Bestehen aus Quarks**

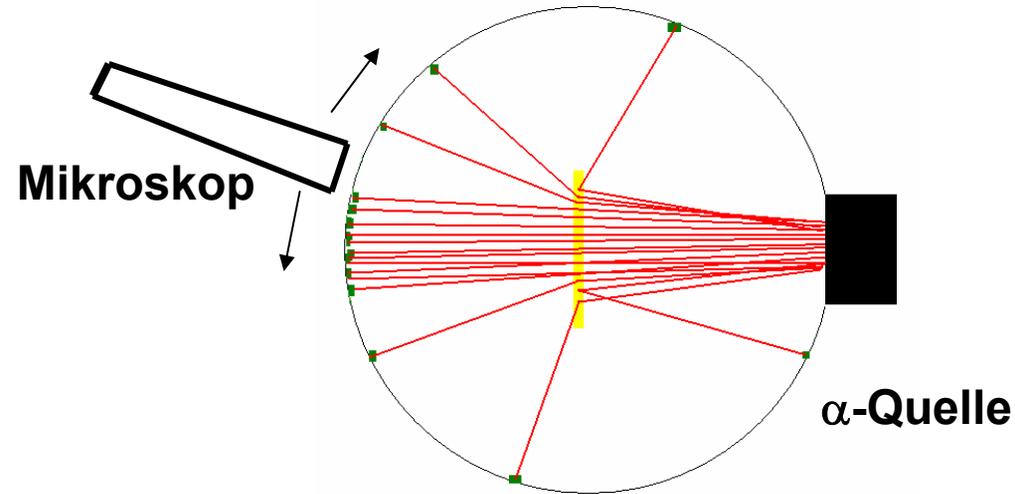
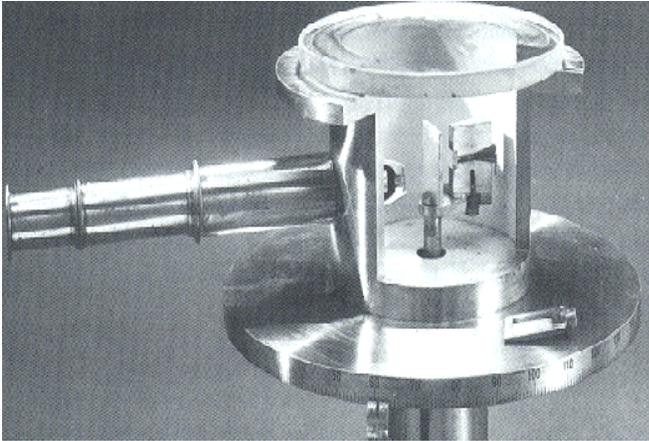
**$>100$  Elementarteilchen  $\longrightarrow$  6 Quarks**





**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:

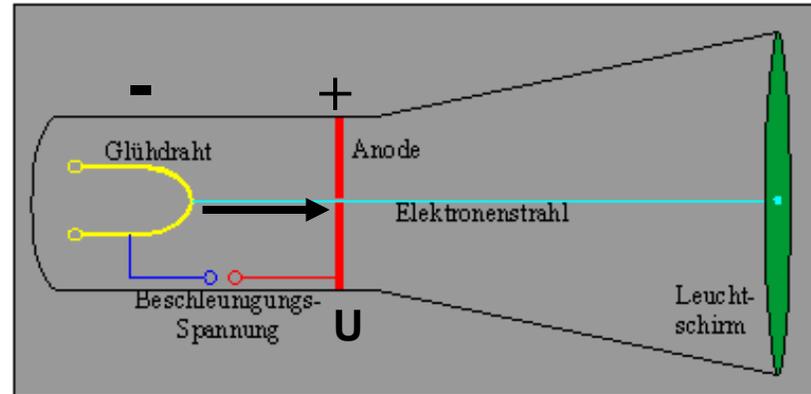
- ATOME BESTEHEN AUS WINZIGEM GELADENEN KERN UND EINER ELEKTRONENHÜLLE

Leuchtschirm



Ernest  
Rutherford

## DIE BRAUNSCHE RÖHRE

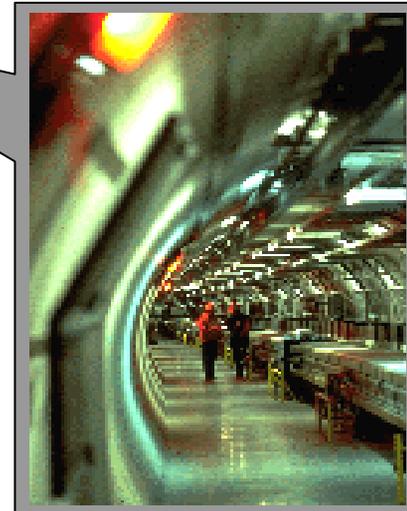
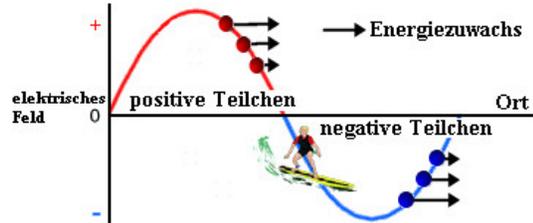
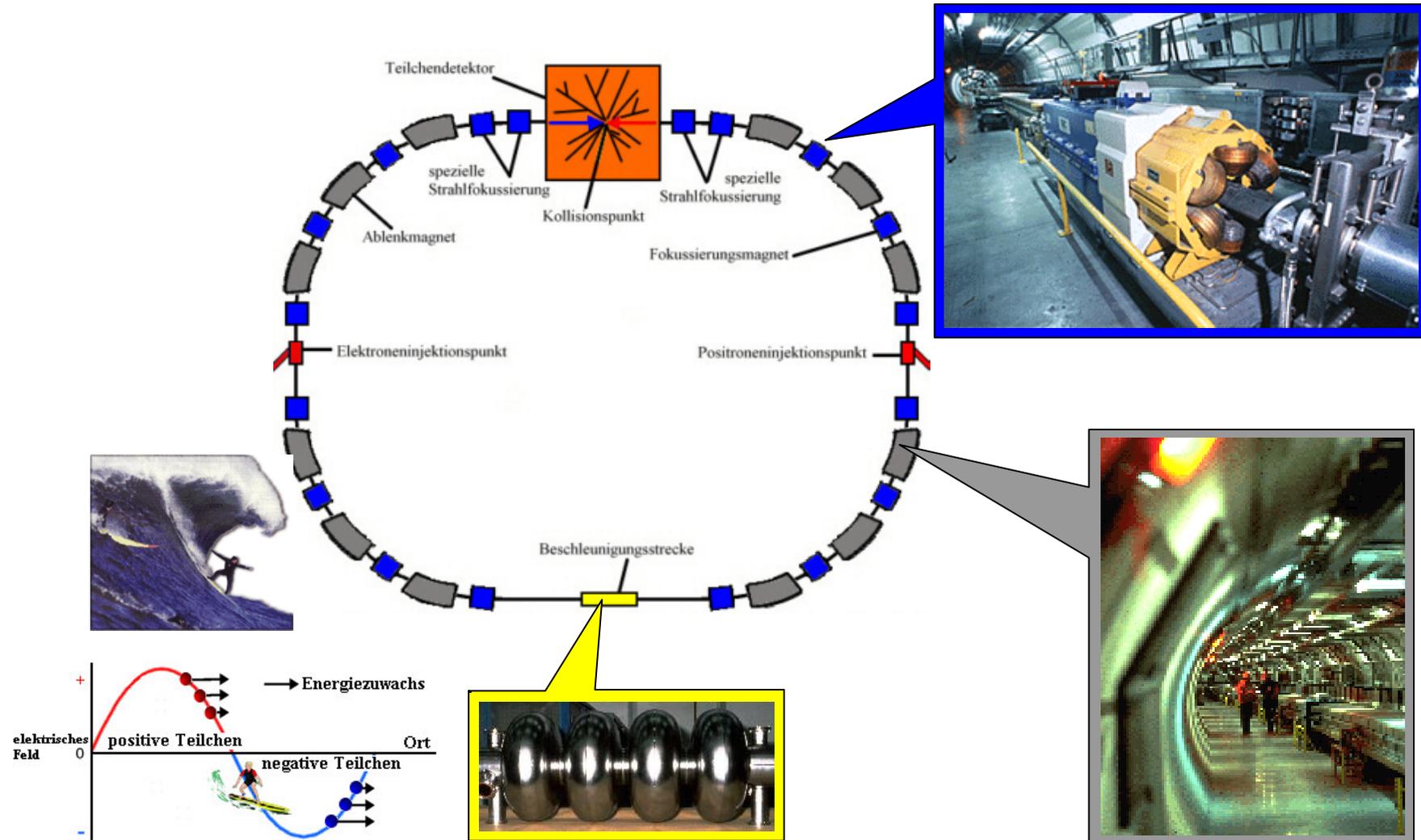


Beschleunigungsspannung  $U = 1\text{Volt}$   
 Beschleunigungsspannung  $U = 1000\text{Volt}$

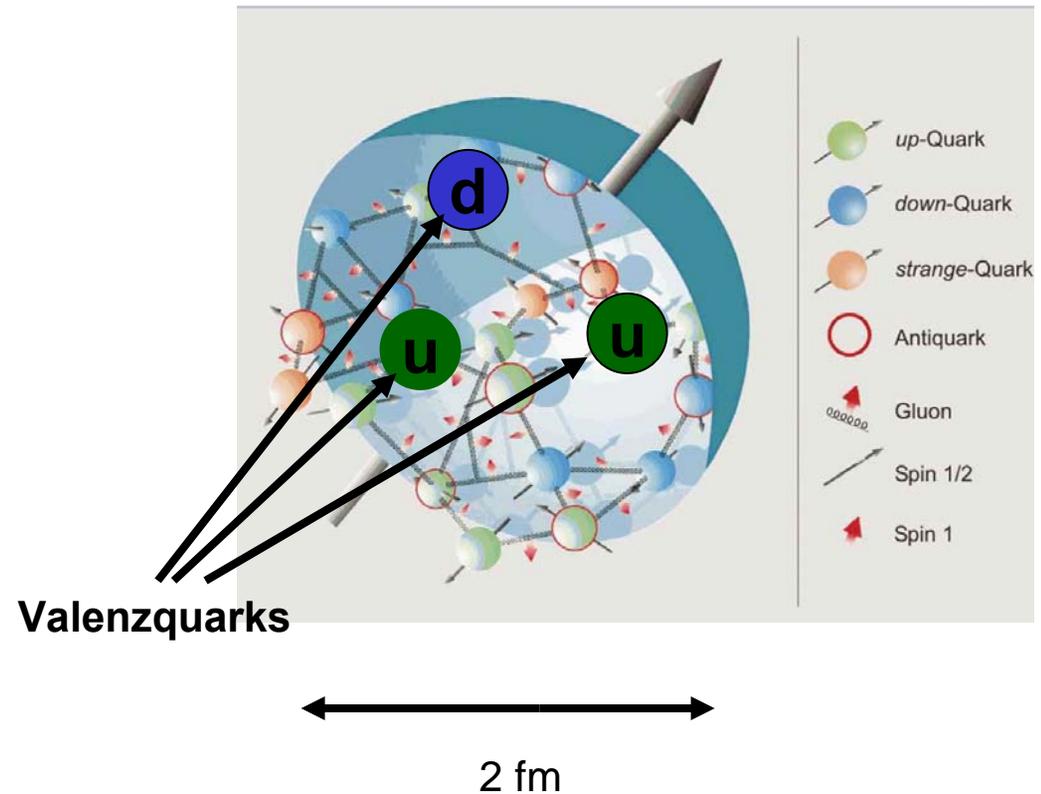
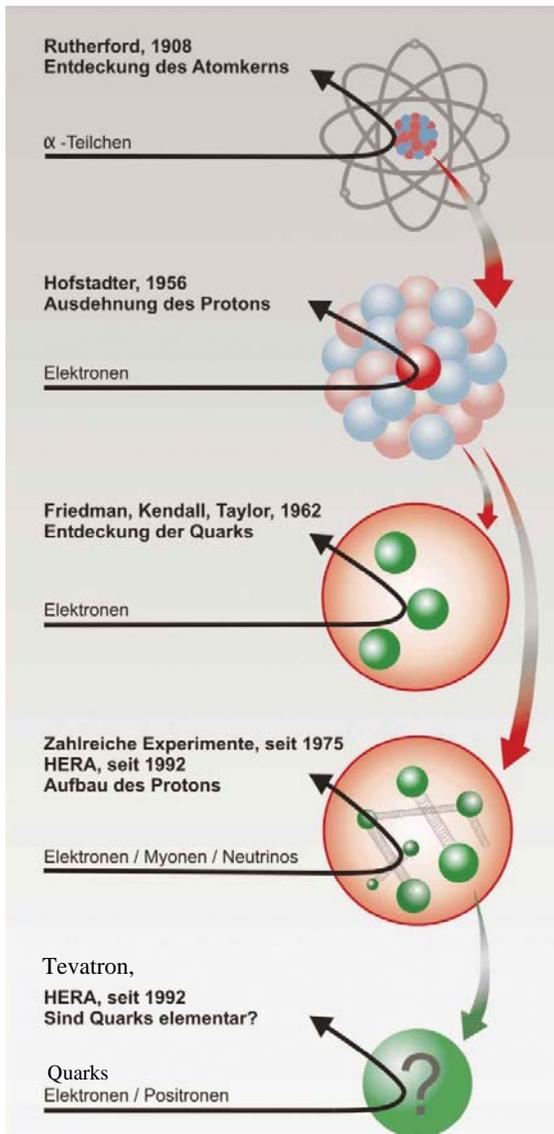
$\Rightarrow$  kinetische Energie =  $1\text{eV}$   
 $\Rightarrow$  kinetische Energie =  $1\text{keV}$

**MODERNE ANFORDERUNGEN:**

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







## 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

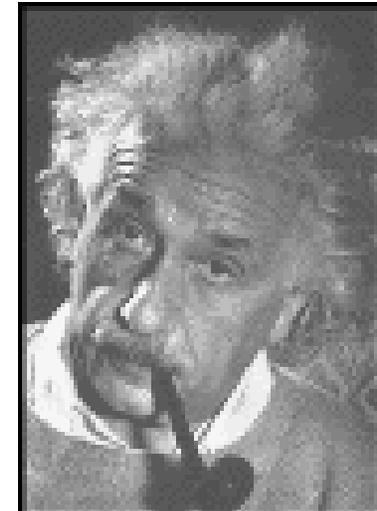
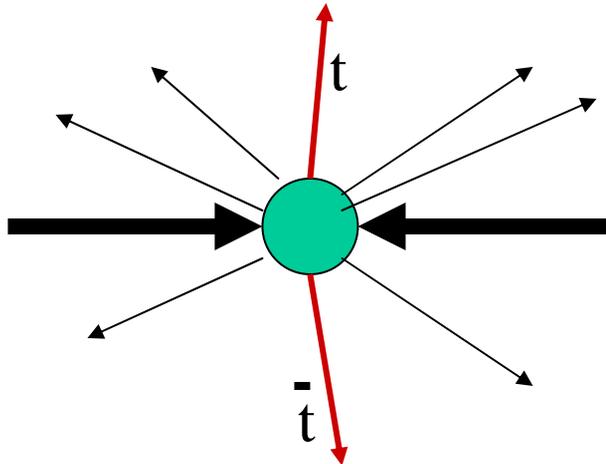


(Quark : Stecknadelkopf < Stecknadelkopf : Sonnensystem, usw)

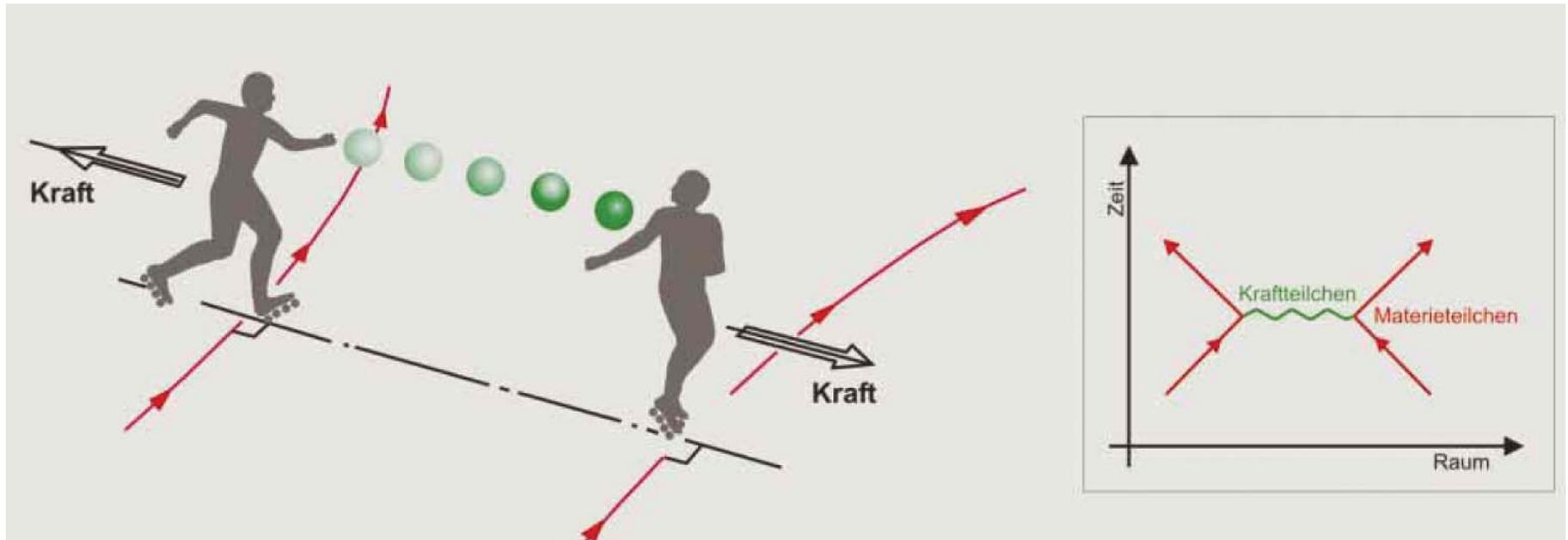
**DIE SICHTBARE WELT BESTEHT AUS QUARKS UND LEPTONEN  
DER ERSTEN GENERATION: u, d, e<sup>-</sup>**

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

**DIESE KÖNNEN AN TEILCHENBESCHLEUNIGERN IN KLEINEN  
"URKNALLEN" AUS ENERGIE ERZEUGT WERDEN**

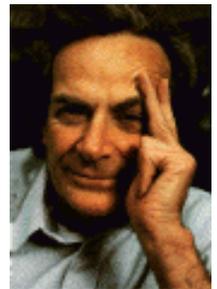


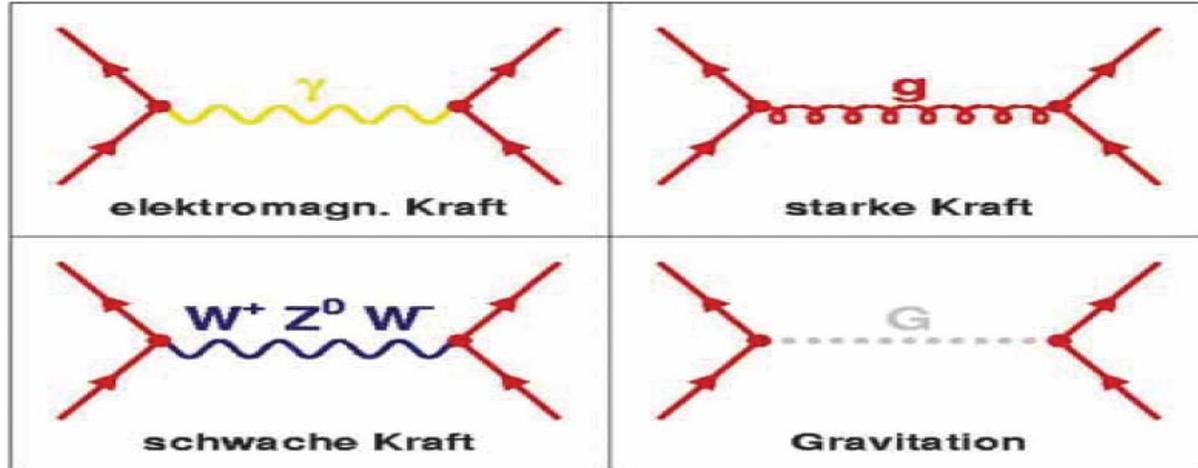
**ANWENDUNG:  $E = mc^2$  (Albert Einstein)**



**ALLGEMEIN:**

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





◆ **Gravitation**

Anziehung von Massen

Stärke :  $10^{-38}$

Reichweite: unendlich

◆ **Schwache Wechselwirkung**

Bewirkt den radioaktiven Zerfall

Stärke : 1/100000

Reichweite: sehr klein!

◆ **Elektromagnetische Wechselwirkung**

Gleiche Ladungen stoßen sich ab,  
ungleiche ziehen sich an

Stärke : 1/100

Reichweite: unendlich

◆ **Starke Wechselwirkung**

Anziehende Kraft zwischen den Quarks

Stärke : 1

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

Leptonen		Quarks	
<p>Elektron Masse 0,0005 GeV</p>	<p>Elektron-Neutrino Masse unbekannt</p>	<p>Up Masse 0,004 GeV</p>	<p>Down Masse 0,007 GeV</p>
<p>Myon Masse 0,1 GeV</p>	<p>Myon-Neutrino Masse unbekannt</p>	<p>Charm Masse 1,5 GeV</p>	<p>Strange Masse 0,15 GeV</p>
<p>Tau Masse 1,8 GeV</p>	<p>Tau-Neutrino Masse unbekannt</p>	<p>Top Masse 174 GeV</p>	<p>Bottom Masse 4,7 GeV</p>



Sheldon Glashow



Steven Weinberg



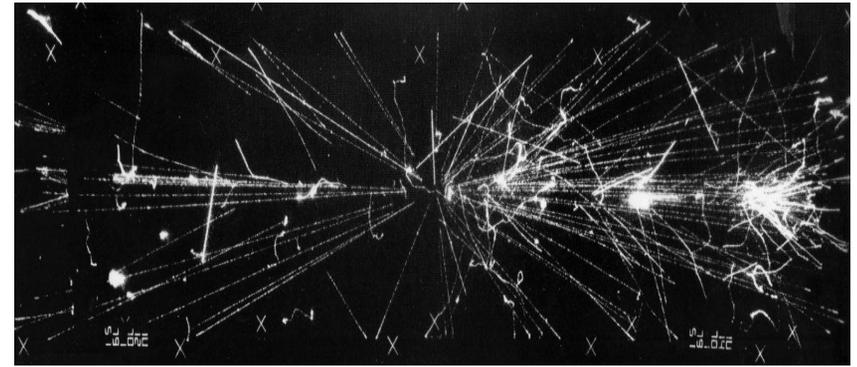
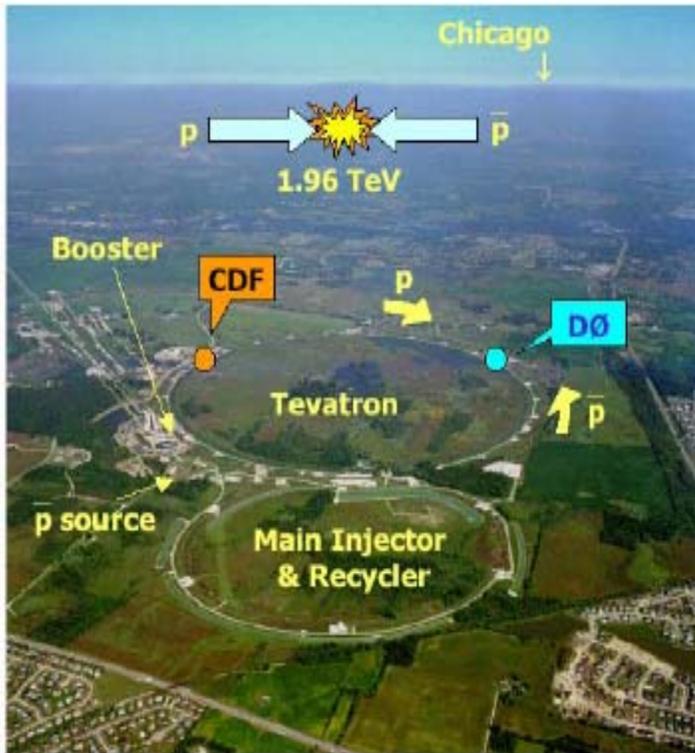
Abdus Salam

... PLUS DEREN ANTITEILCHEN

Atomkern	Atom	Radioaktivität	Sonnensystem
Maßgebliches Kraftteilchen:			
<p>Gluon Masse 0</p>	<p>Photon Lichtteilchen Masse 0</p>	<p>W- und Z-Boson Masse 80,3 GeV (W) 91,2 GeV (Z)</p>	<p>Graviton Masse 0</p>

Higgs-Boson: verantwortlich für die Massen von Bosonen und Fermionen

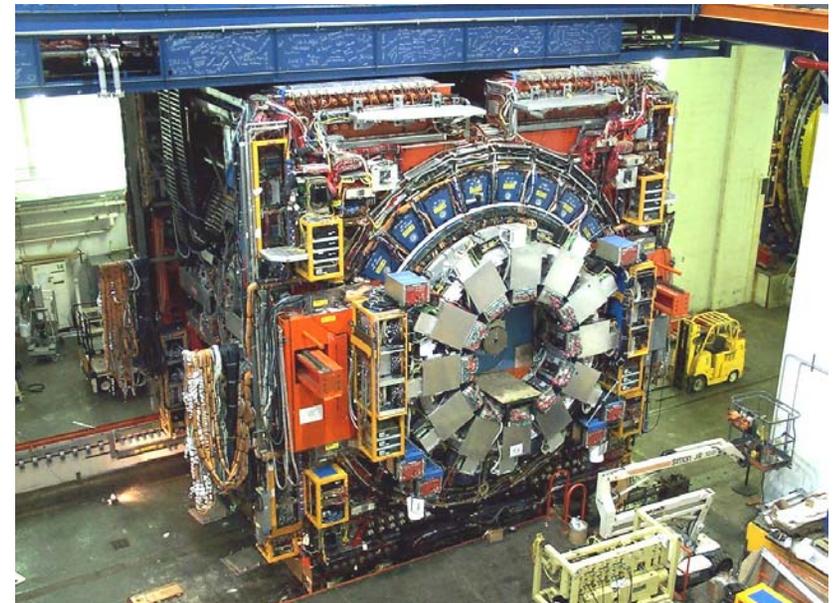




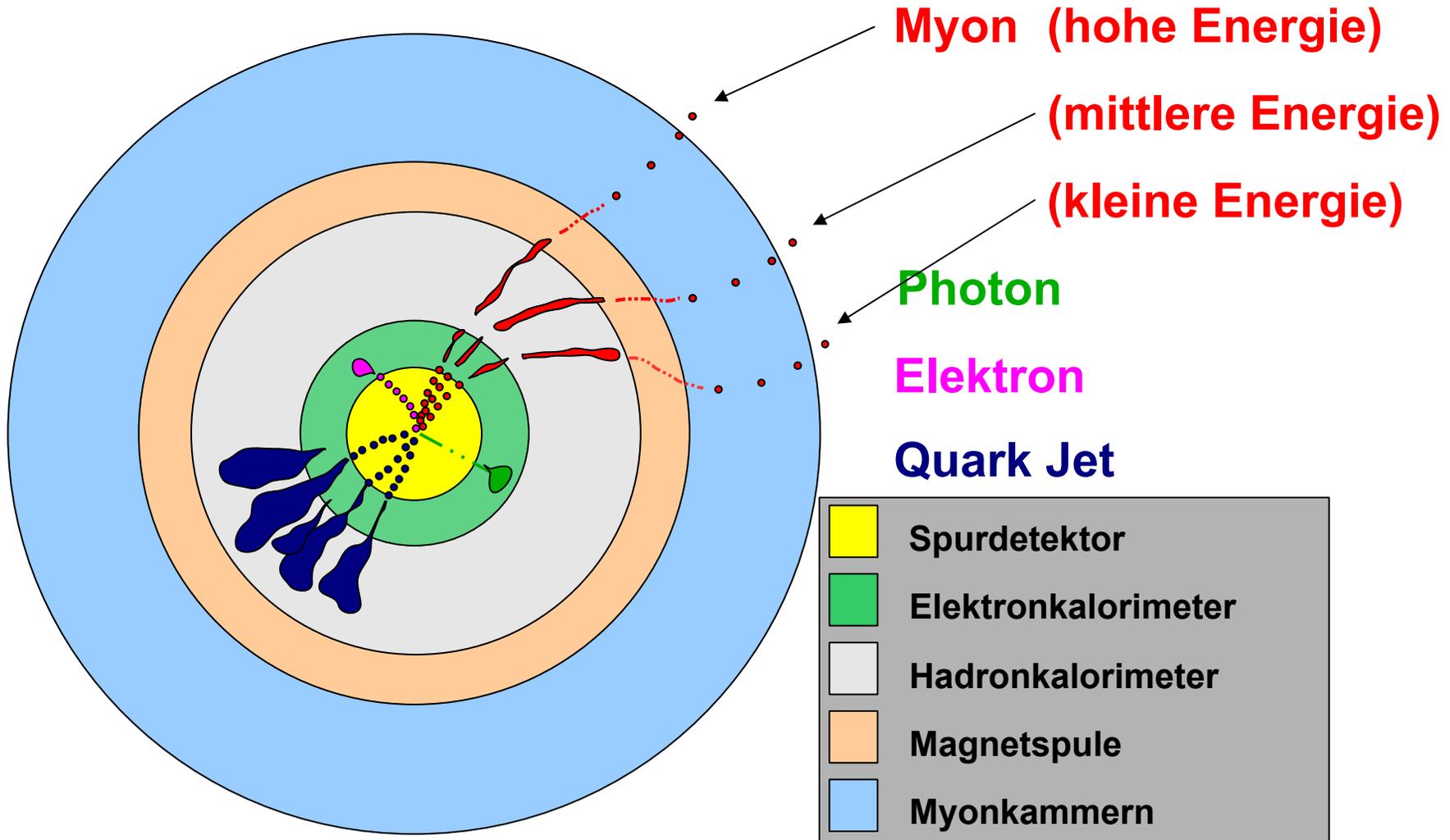
**BILD EINES KOLLISIONS-EREIGNISSES**

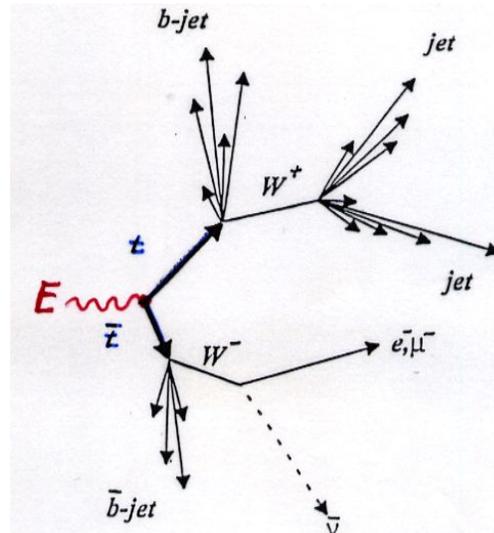
## FERMILAB TEVATRON COLLIDER

- z.Z. höchste Energien der Welt: 2000 GeV
- Pro Sekunde 10000000 Kollisionen
- 1 Top-Ereignis nur alle  $10^{10}$  Kollisionen !

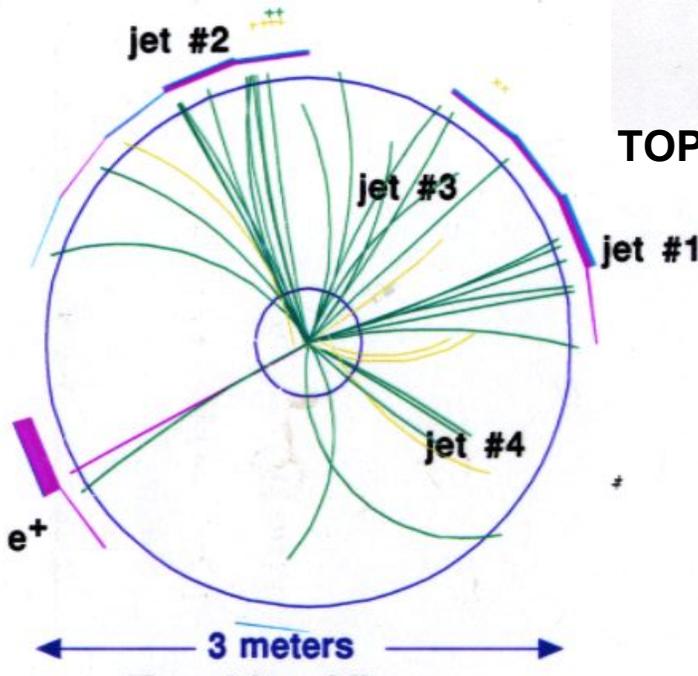


**DER CDF-DETEKTOR**

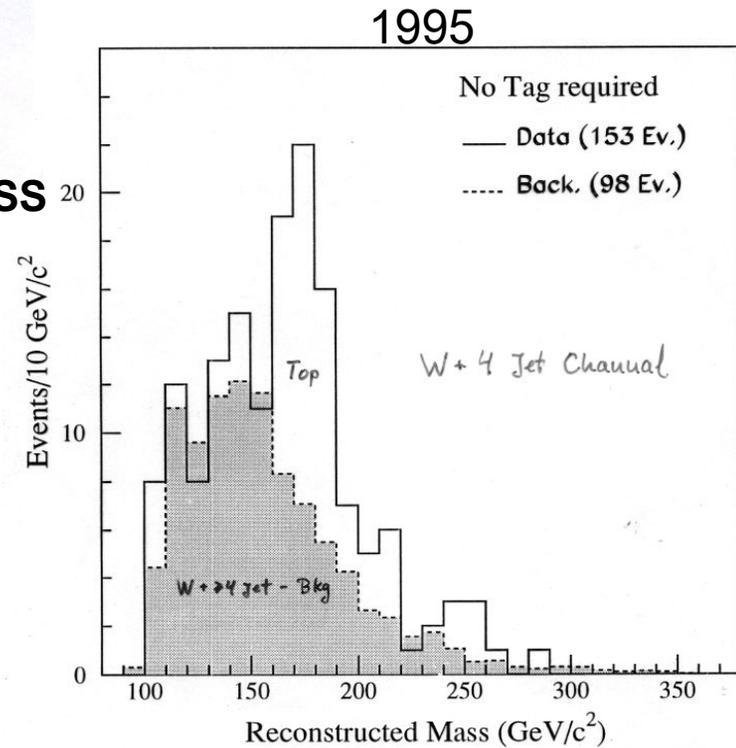




**TOP-ANTITOP-PROZESS**



**TOP-ANTITOP-EREIGNIS**



**TOP-QUARK-SIGNAL**



## UNSER HEUTIGES WELTBILD KENNT

### 12 FUNDAMENTALE MATERIETEILCHEN: QUARKS UND LEPTONEN

### 4 FUNDAMENTALE KRÄFTE

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

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

## OFFENE FRAGEN:

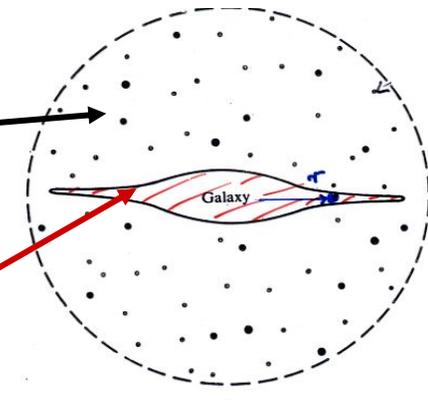
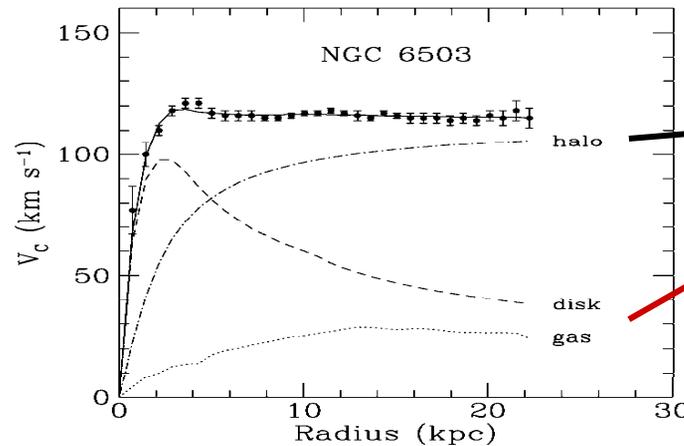
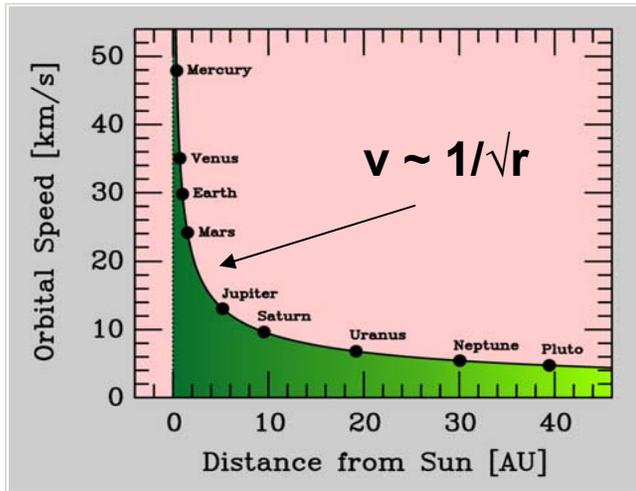
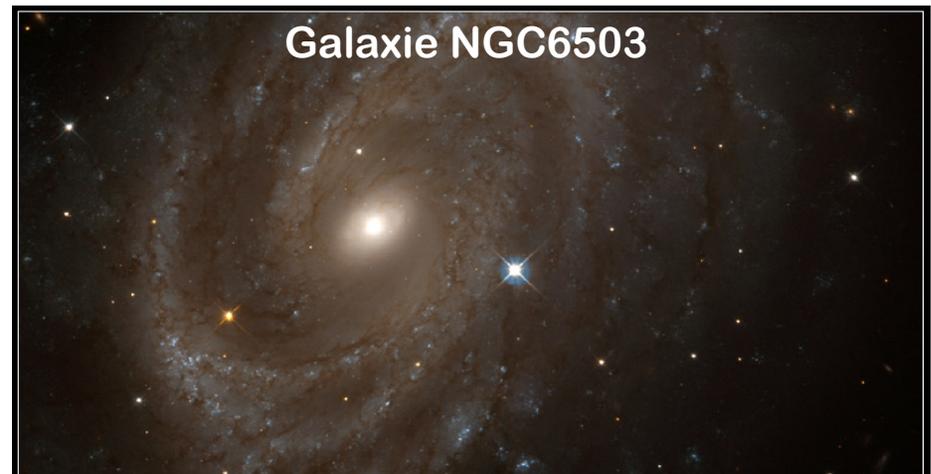
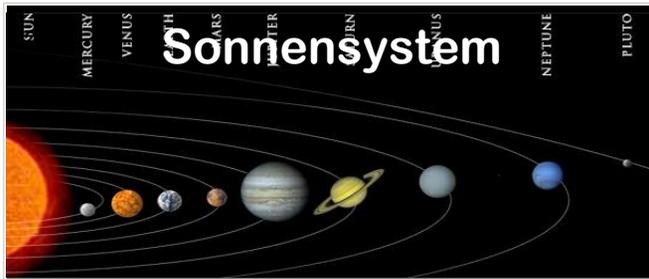
**WIE BEKOMMEN TEILCHEN IHRE MASSE ?**

**WIESO GIBT ES NUR MATERIE IM HEUTIGEN UNIVERSUM ?**

**WIE ERKLÄRT SICH DIE VIELFALT DER TEILCHEN UND KRÄFTE ?**

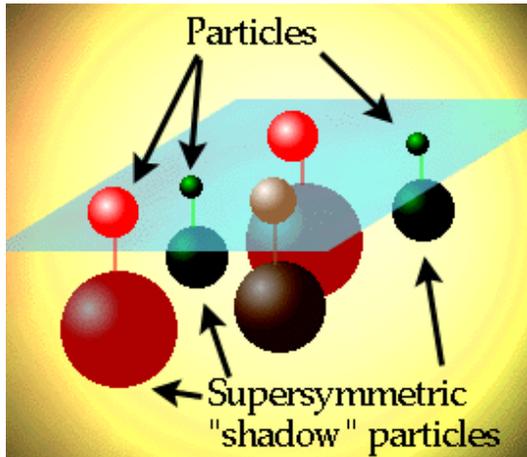
**GIBT ES MEHR ALS DREI RAUMDIMENSIONEN ?**

UND.....



Im Sonnensystem:  
Gültigkeit von Keplers Gesetzen !

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



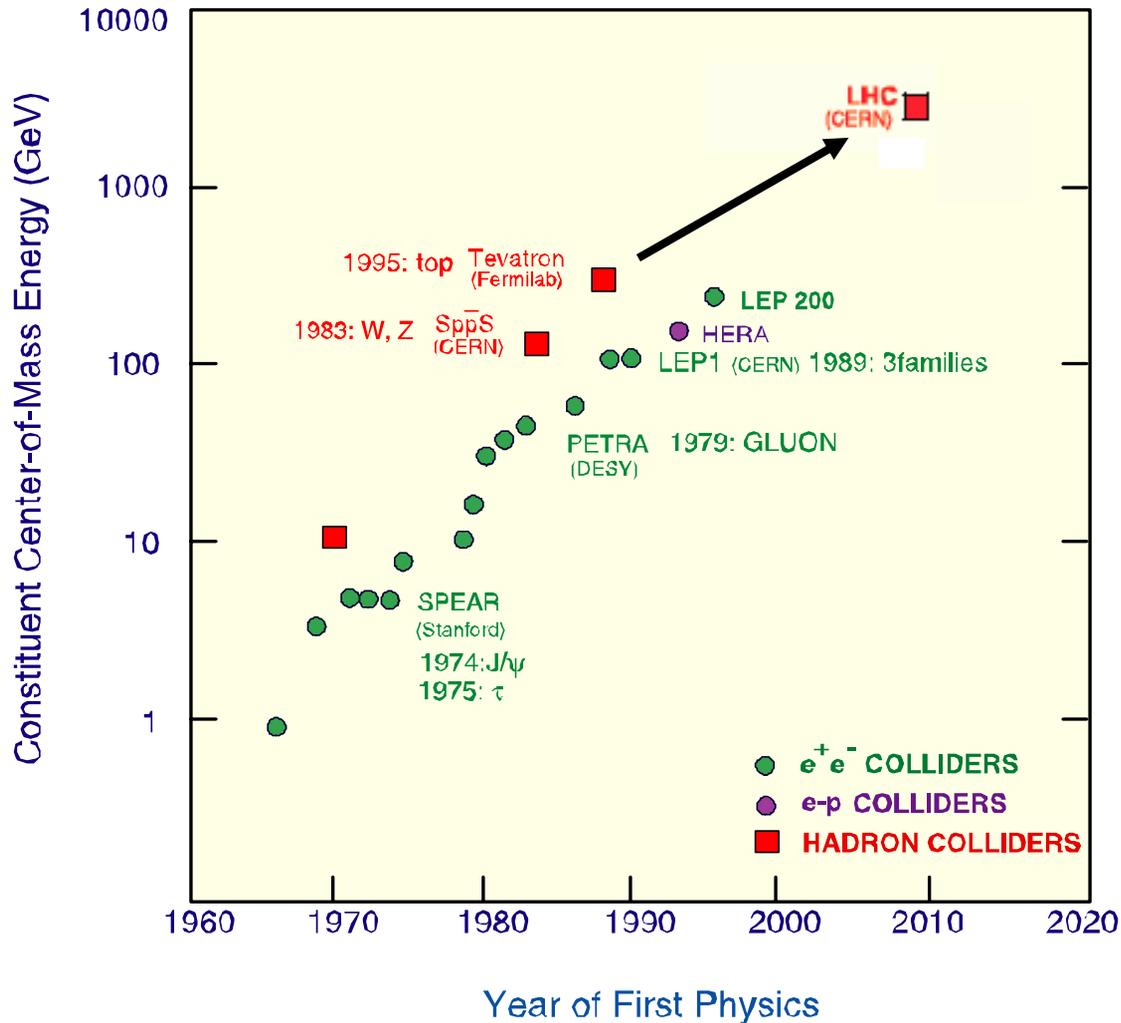
**Symmetrie zwischen**  
**Fermionen** ↔ **Bosonen**  
 (Materie) (Kraftteilchen)

Spin	Standardparticle	Superpartner	Spin
1/2	Leptons ( $e, \nu_e, \dots$ ) Quarks ( $u, d, \dots$ )	Sleptons ( $\tilde{e}, \tilde{\nu}_e, \dots$ ) Squarks ( $\tilde{u}, \tilde{d}, \dots$ )	0
1	Gluons $W^\pm$ $Z^0$ Photon ( $\gamma$ )	Gluinos Wino <b>Zino</b> <b>Photino (<math>\tilde{\gamma}</math>)</b>	1/2
0	Higgs	<b>Higgsino</b>	1/2
2	Graviton	Gravitino	3/2

} Kandidat für  
Dunkle Materie

Teilchenmassen 100 - 2000 GeV !

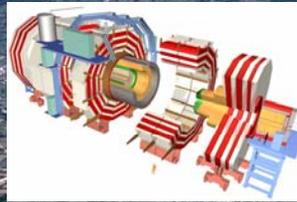
Zur Klärung dieser Fragen deutlicher Leistungssprung der Beschleuniger nötig !



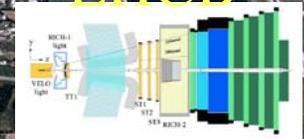
LHC: Energie 7 X  
Rate 100 X  
mehr als Tevatron !

**LHC:**  
**Proton-Proton-Kollisionen bei 14 TeV Schwerpunktsenergie**  
**Kollisionsraten bis  $10^9$  / s**  
**Umfang 27 km**

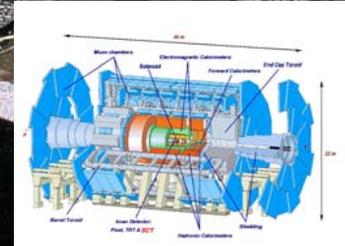
**CMS**



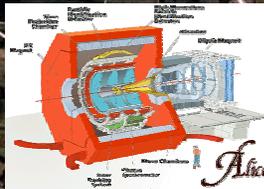
**LHCb**



**Atlas**



**Alice**



Beteiligung aus Baden-Württemberg

ALICE: Uni Heidelberg

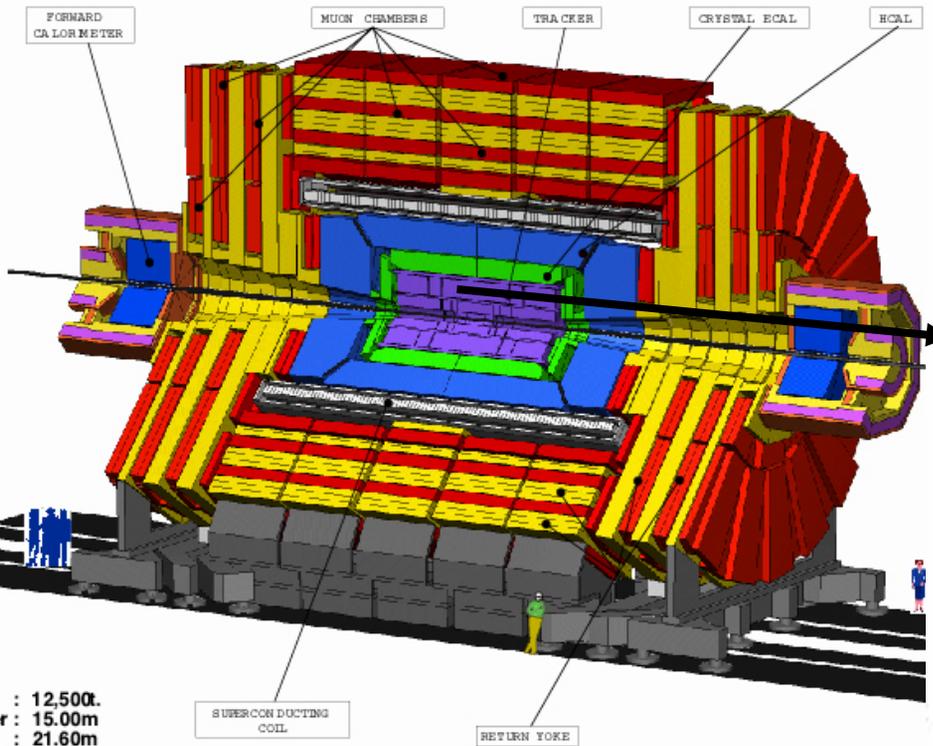
ATLAS: Uni Freiburg,  
Uni Heidelberg

CMS: Uni Karlsruhe (TH)

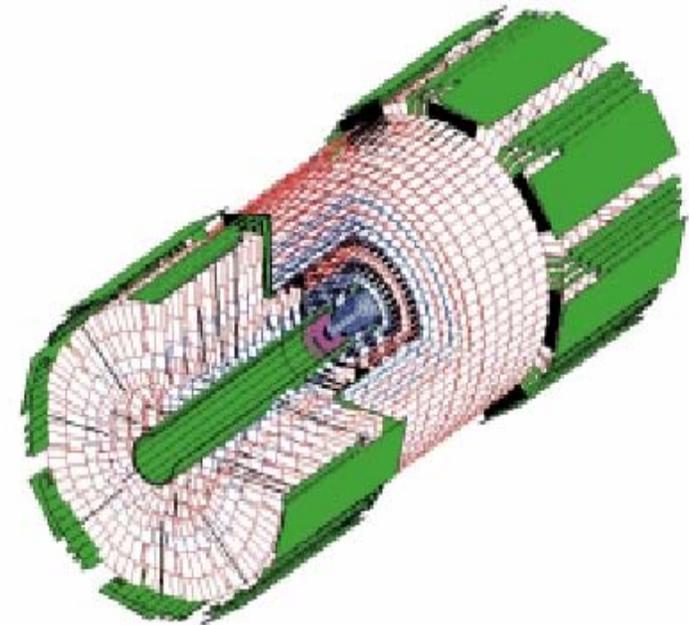
LHCb: Uni/MPI Heidelberg

- 1984 Workshop zu einem großen Hadron Collider im LEP-Tunnel, Lausanne
- 1987 Rubbias “Long-Range Planning Committee” empfiehlt Large Hadron Collider für den CERN
- 1989 Beginn mit Plänen für Detektoren
- 1992 Konferenz zur LHC-Physik und den Detektoren, Evian les Bains
- 1993 Letters of Intent (ATLAS und CMS wurden ausgewählt)
- 1994 Annahme der Technischen Vorschläge
  
- 1998 Beginn der Konstruktion der Detektor- und Beschleunigerelemente
- 2004 Fertigstellung der CMS - Kaverne
- 2008 Erste Proton-Proton-Kollisionen im Sommer erwartet

## CMS A Compact Solenoidal Detector for LHC



Total weight : 12.500t  
 Overall diameter : 15.00m  
 Overall length : 21.60m  
 Magnetic field : 4 Tesla

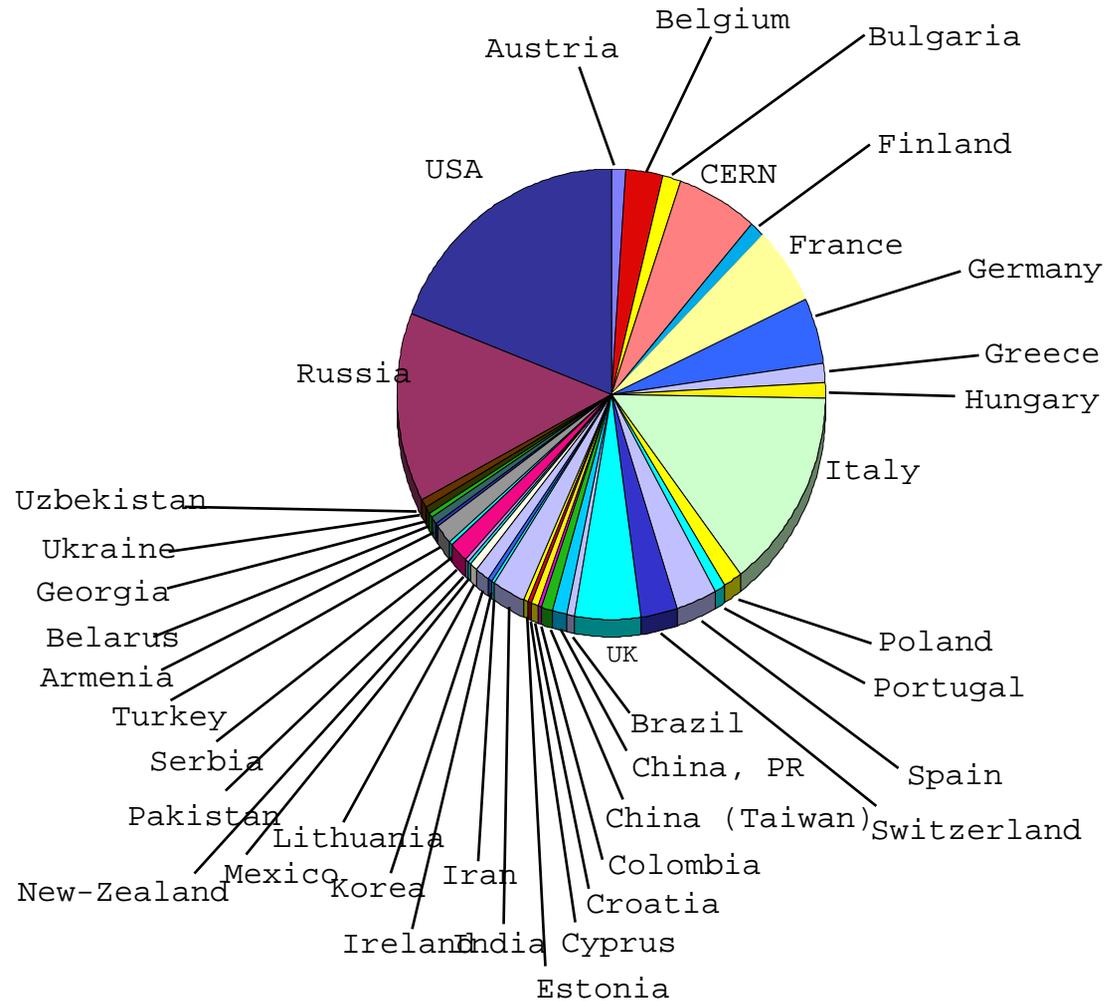


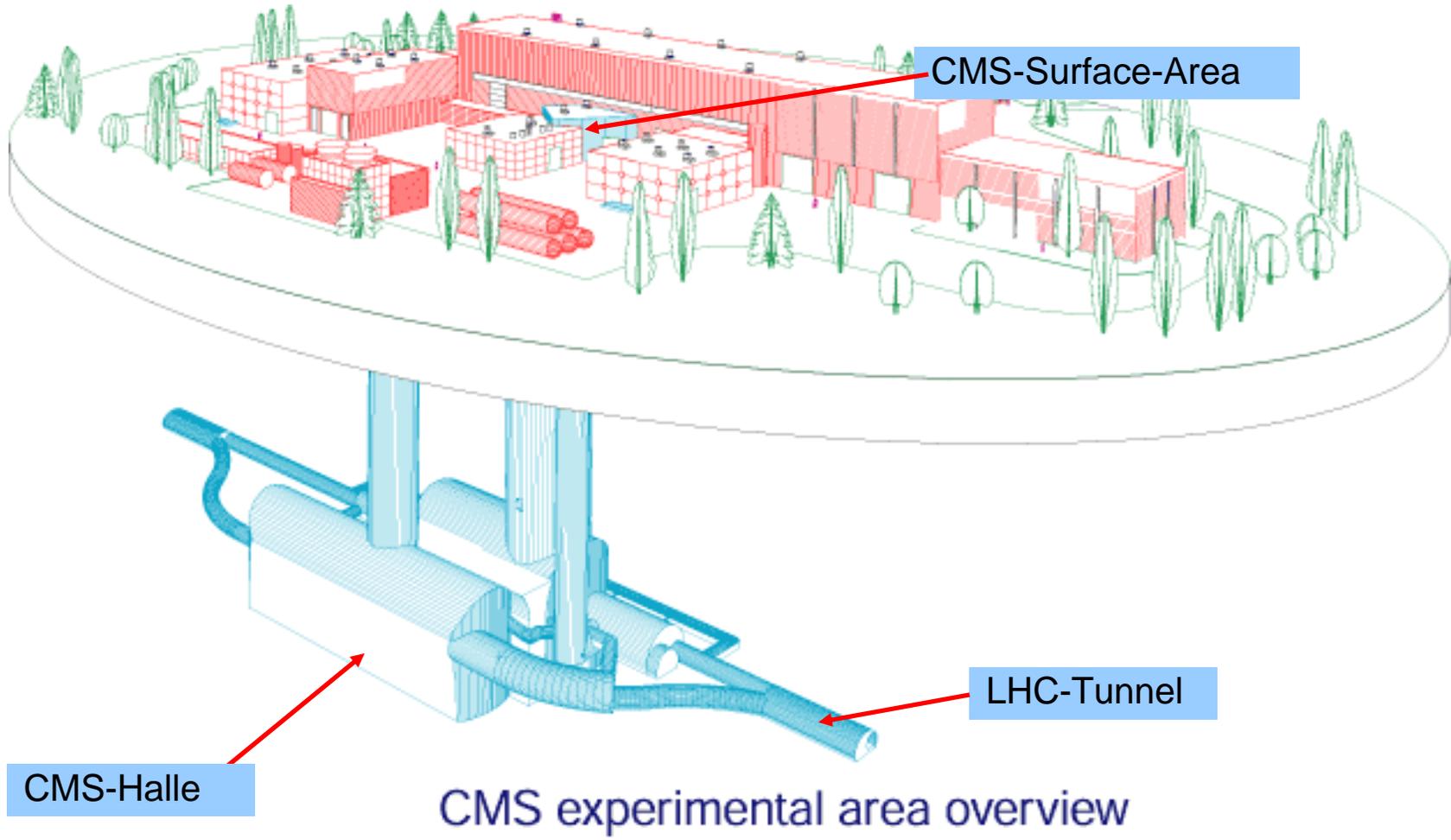
Der CMS Silizium-Spurdetektor

**215 m<sup>2</sup> Siliziumstreifendetektoren mit  
 10 Mio elektronischen Kanälen, ausgelesen mit 40 MHz  
 Kosten ca. 75 MSFr**

**2310 Wissenschaftler**  
**38 Staaten**  
**175 Institute**

**IEKP Karlsruhe: 35**



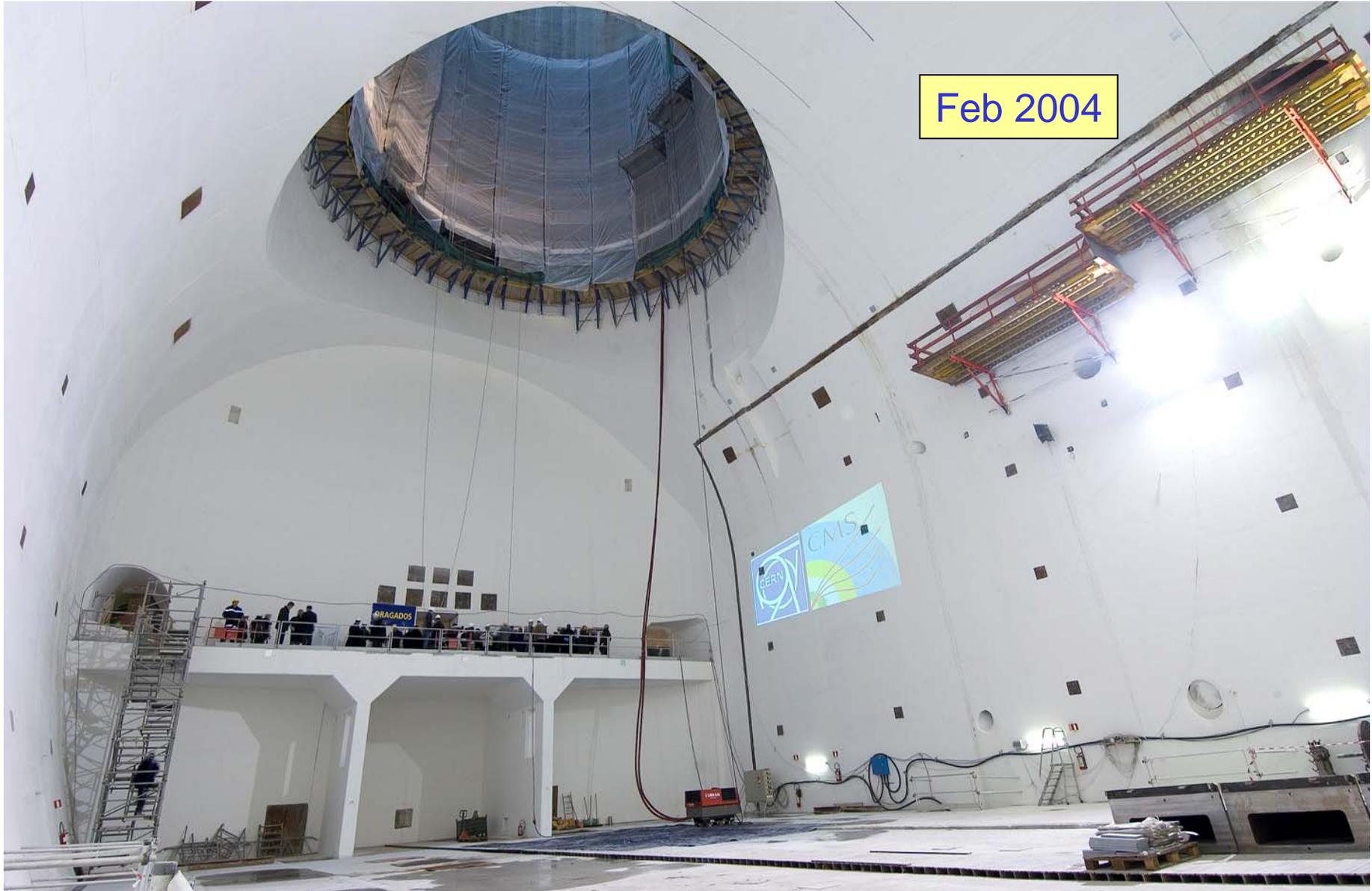


Jan 1999









Feb 2004

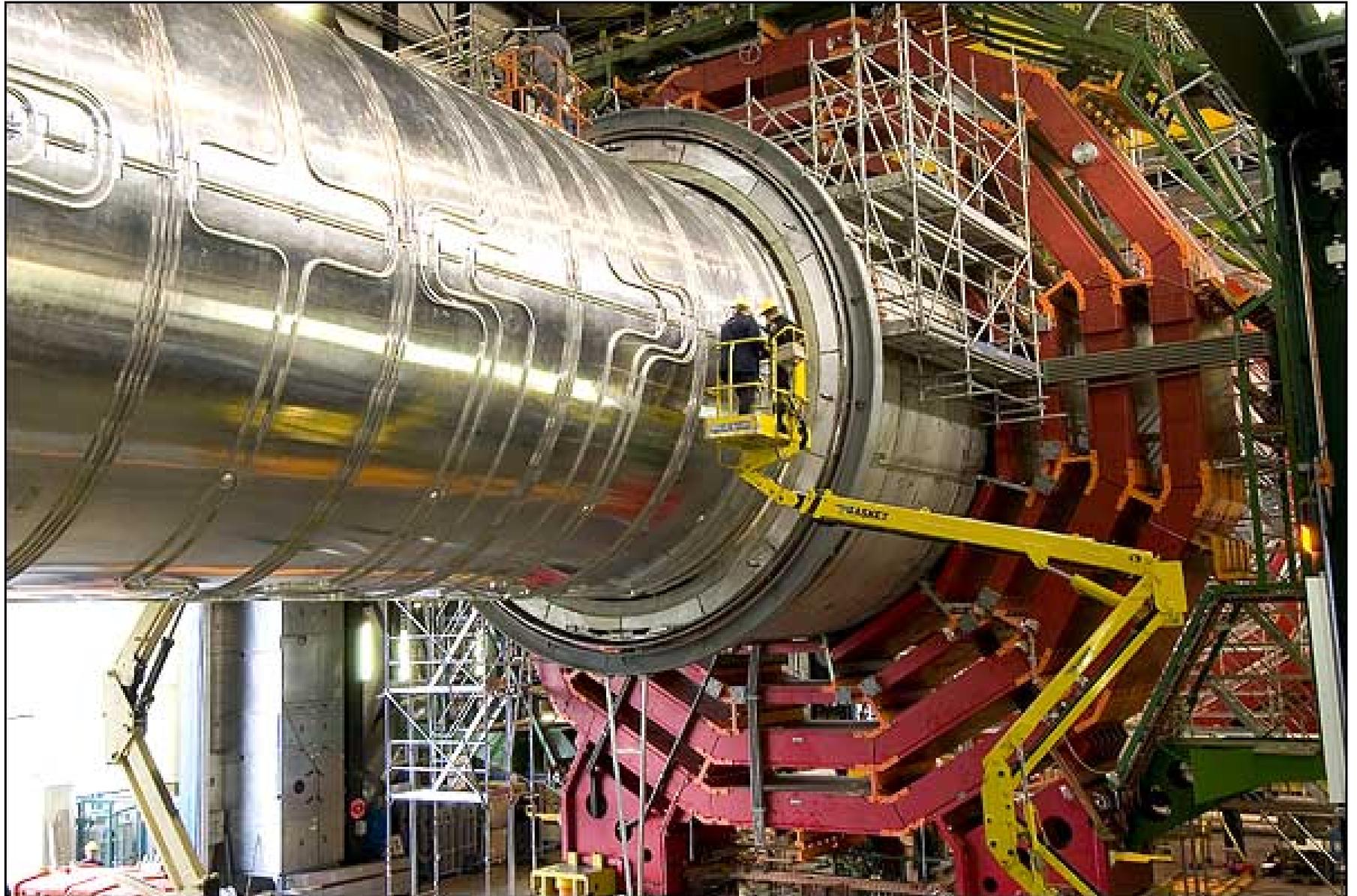
RAGADOS

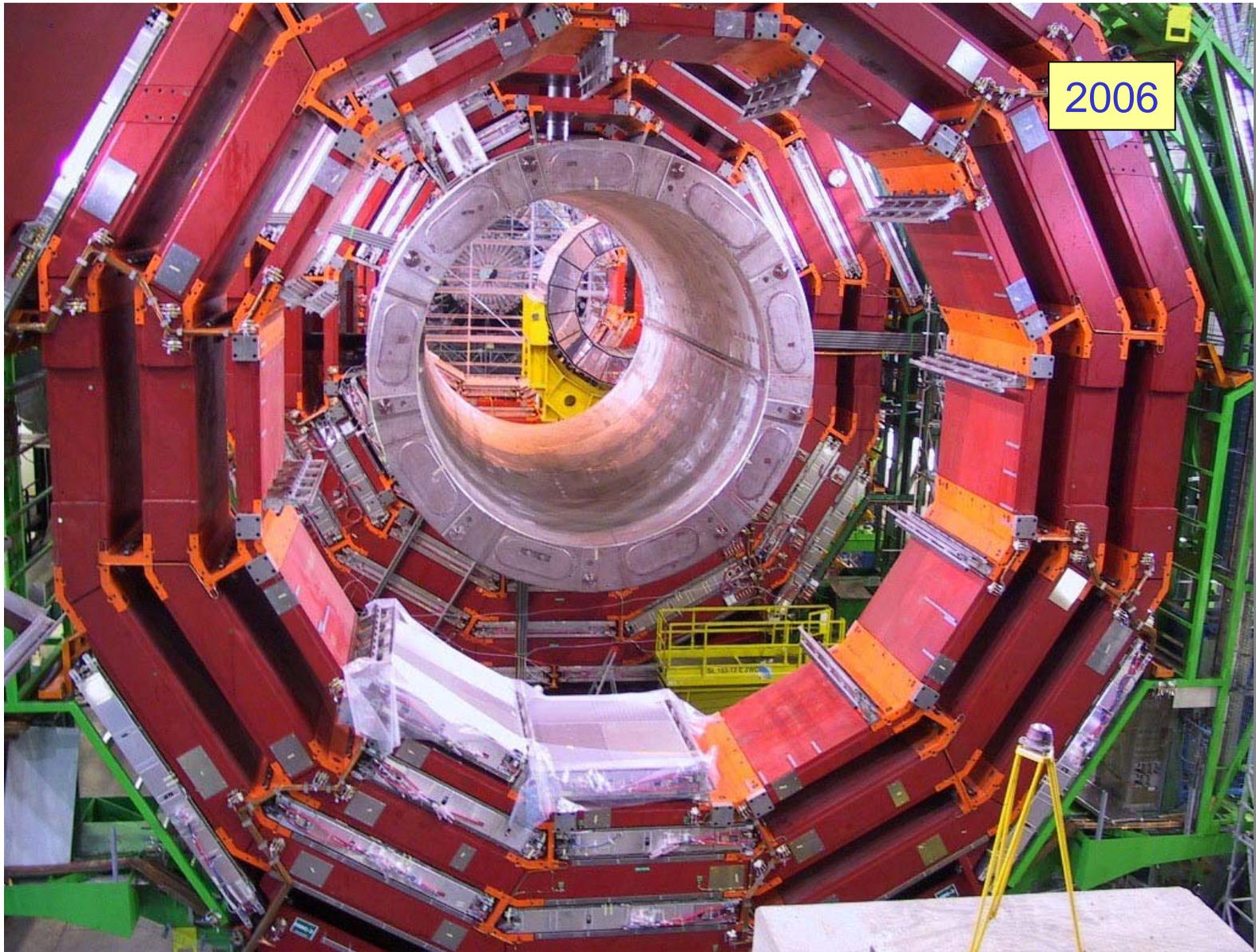




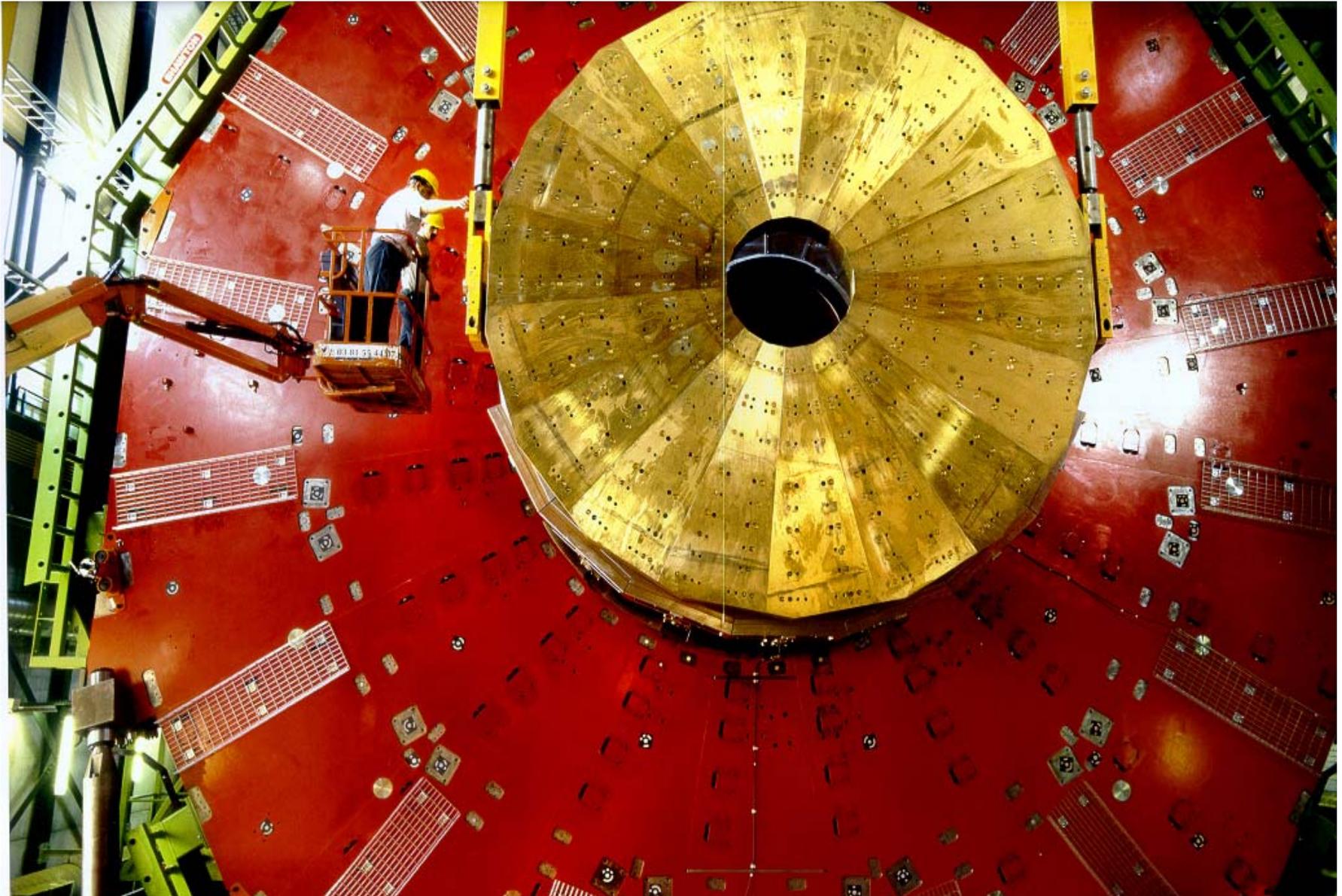


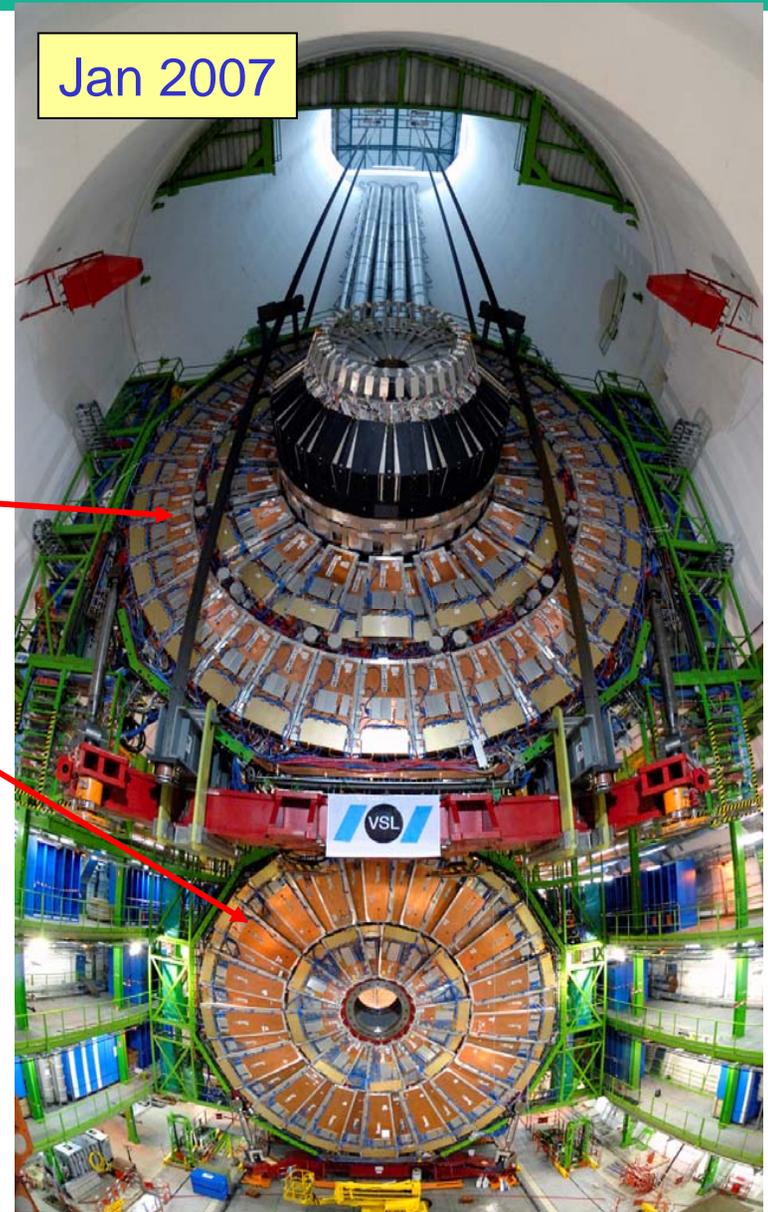
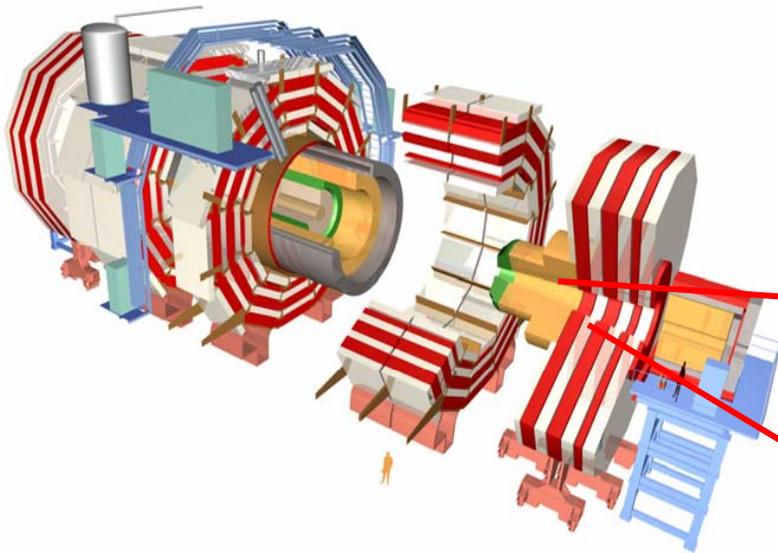


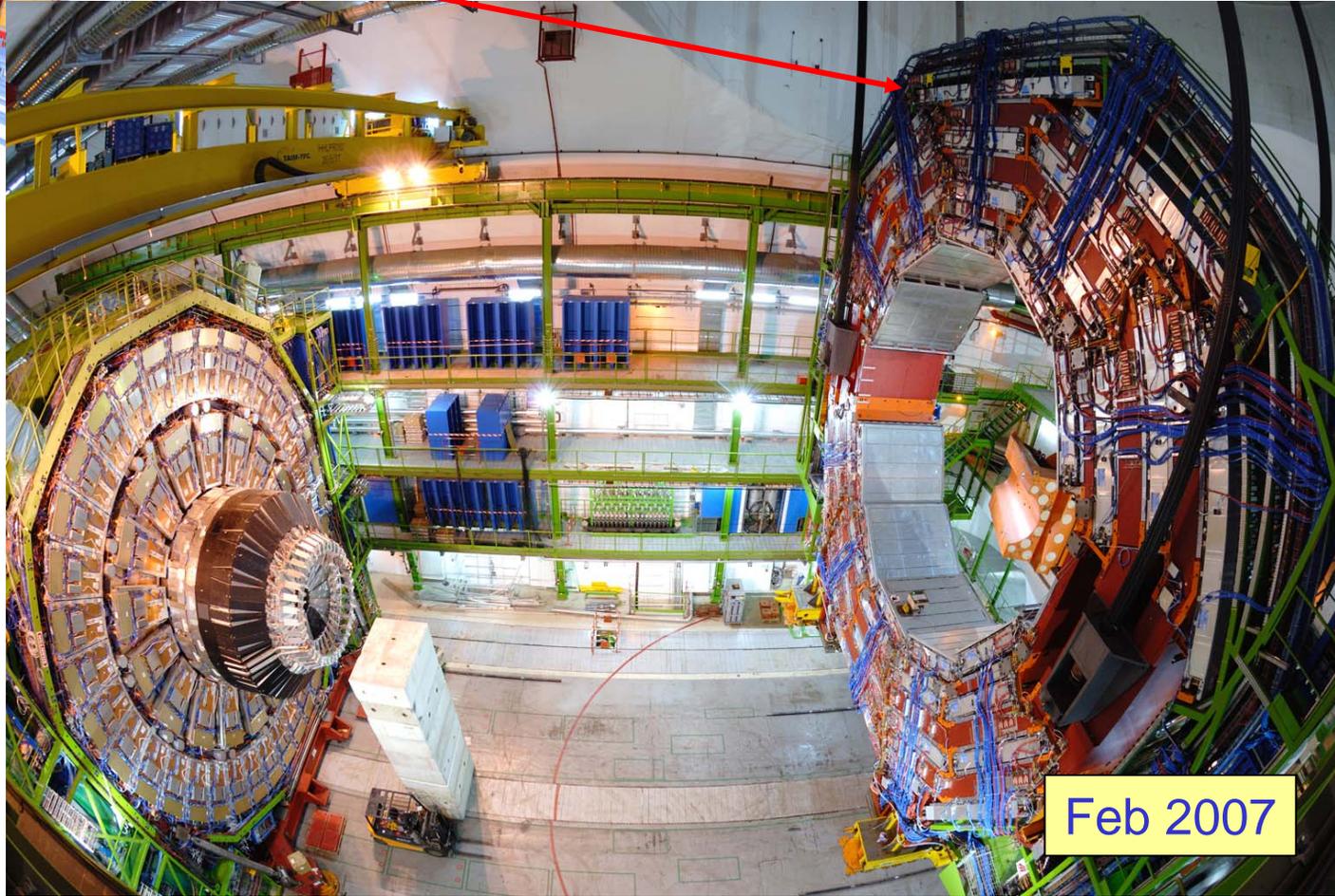
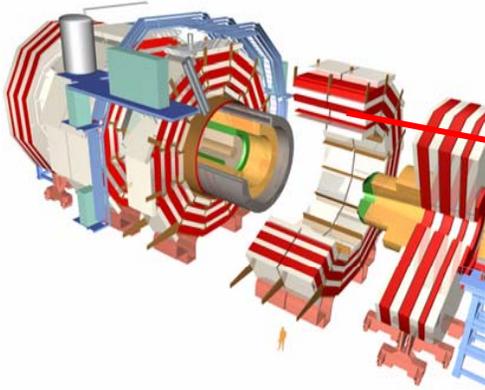




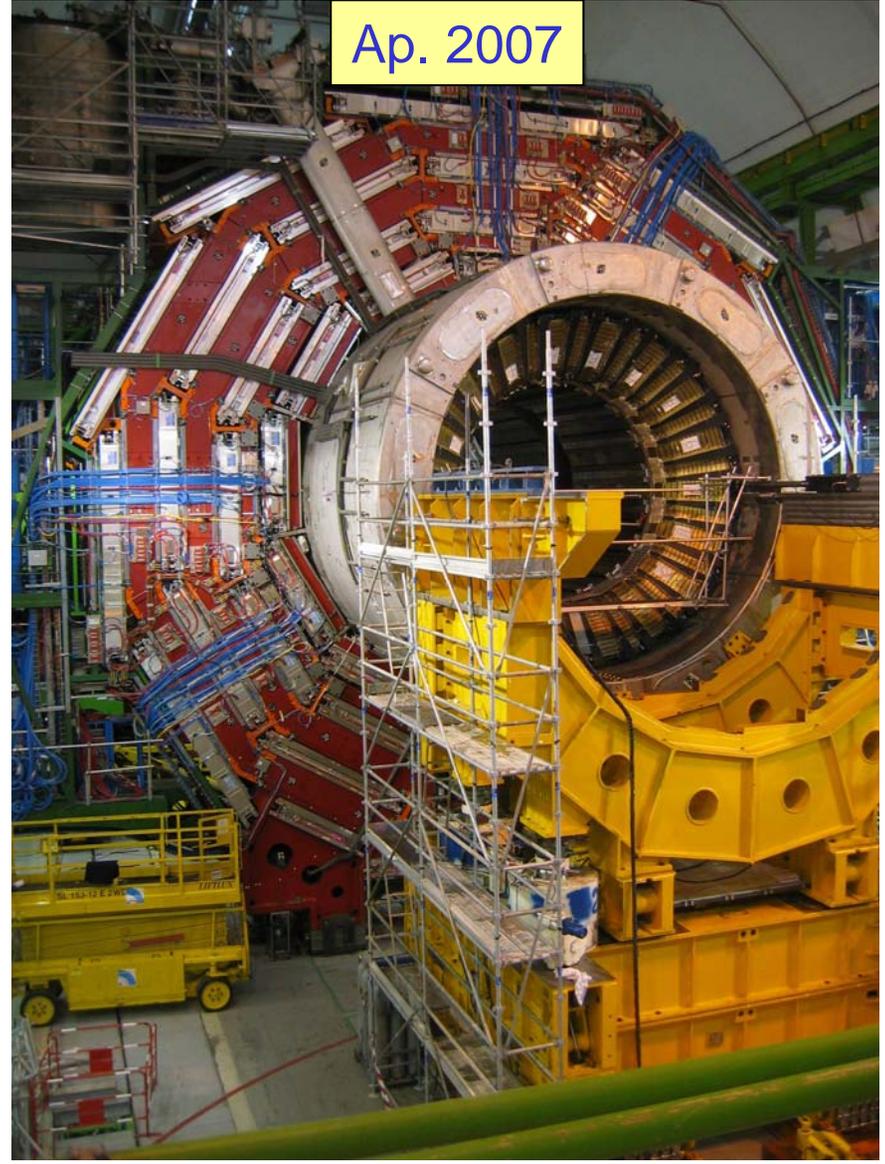
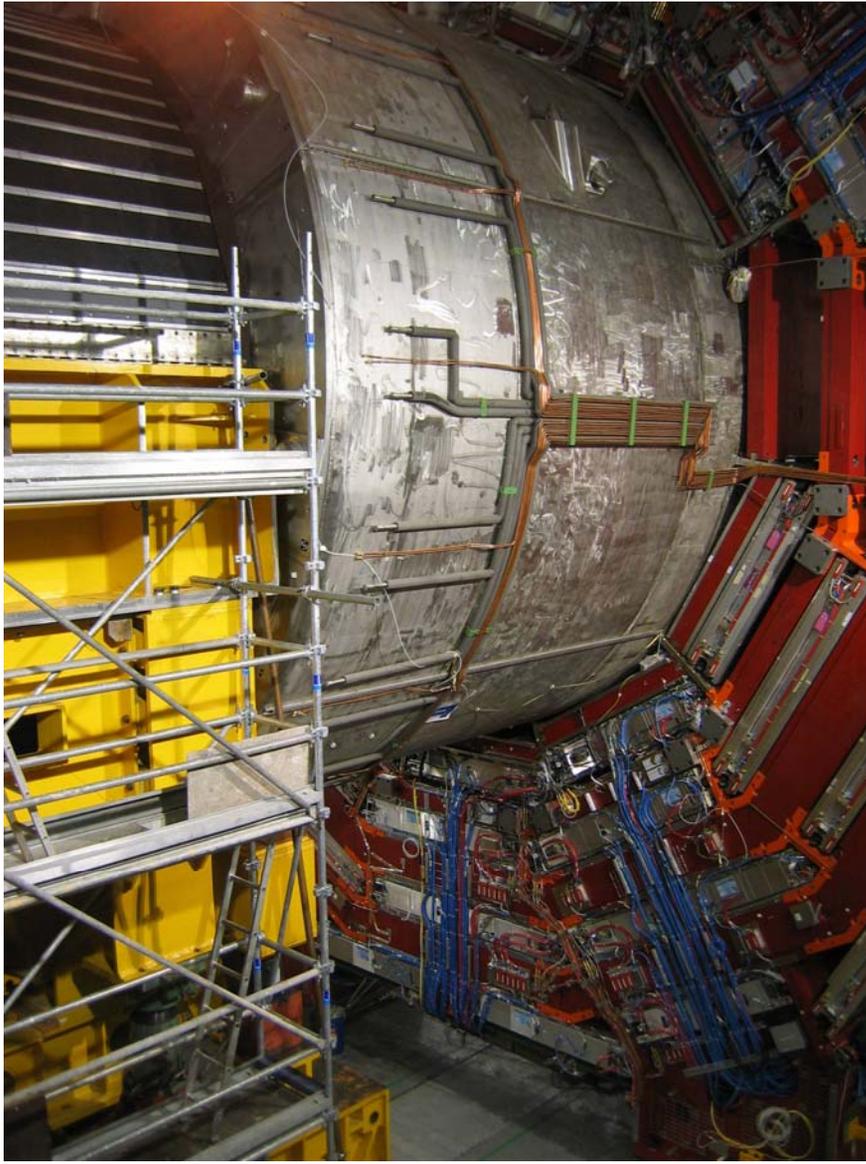
2006

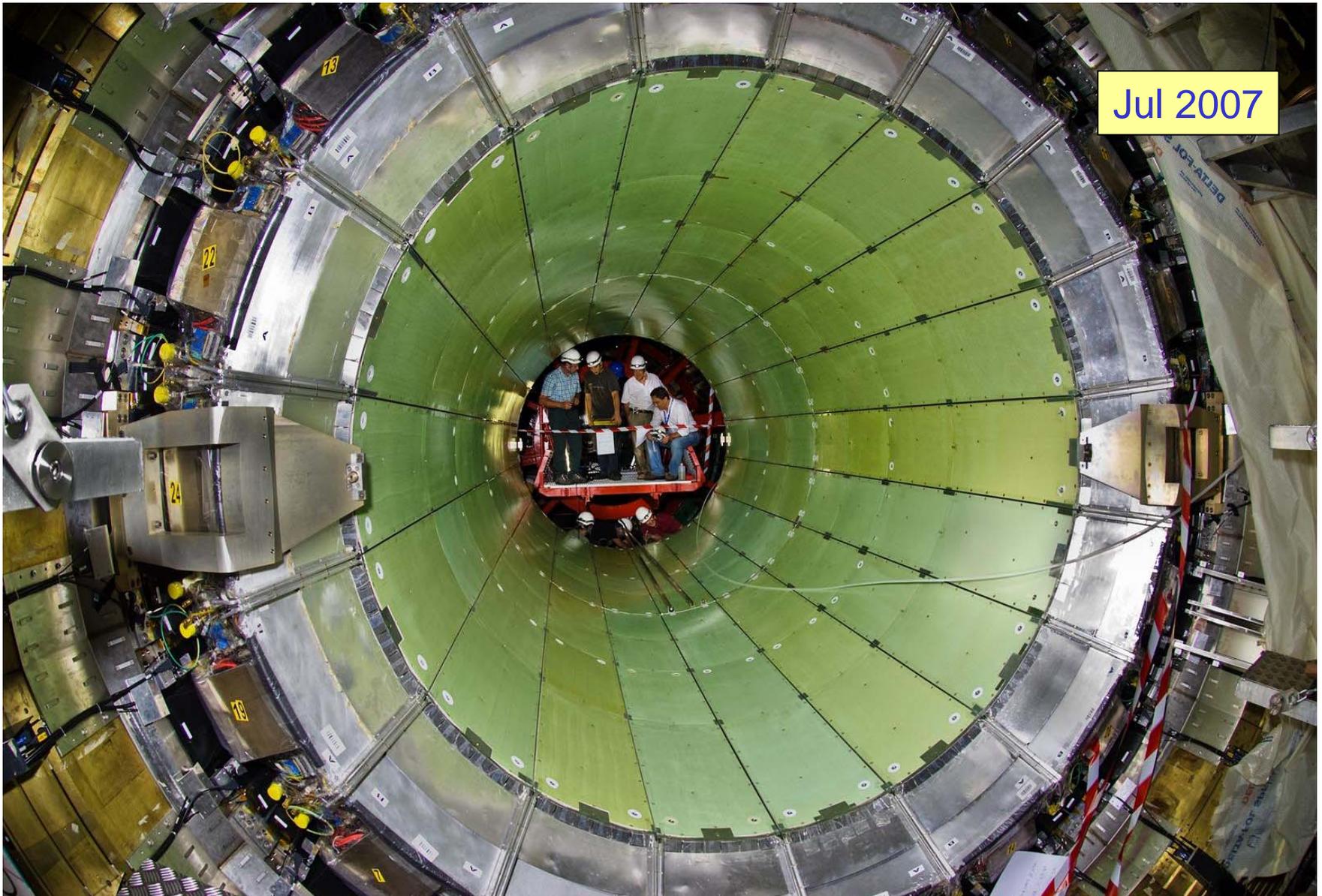






Feb 2007

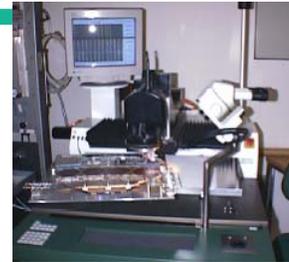




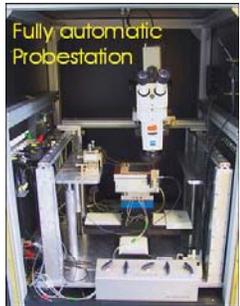
Jul 2007



Zeiss-Messmaschine



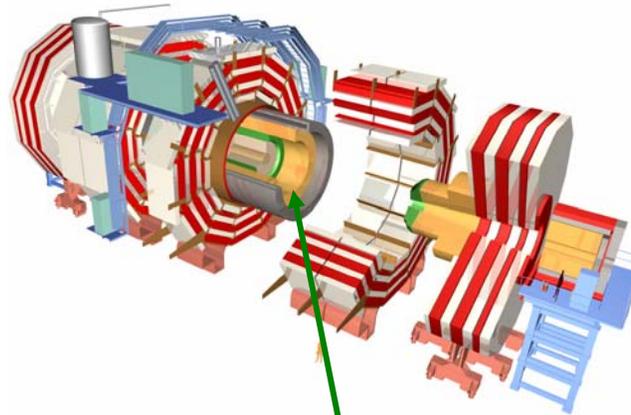
Mikrobondgerät



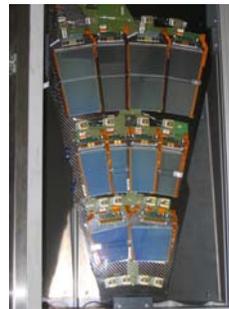
Probestation



Strahlhärte tests  
am FZK Zyklotron



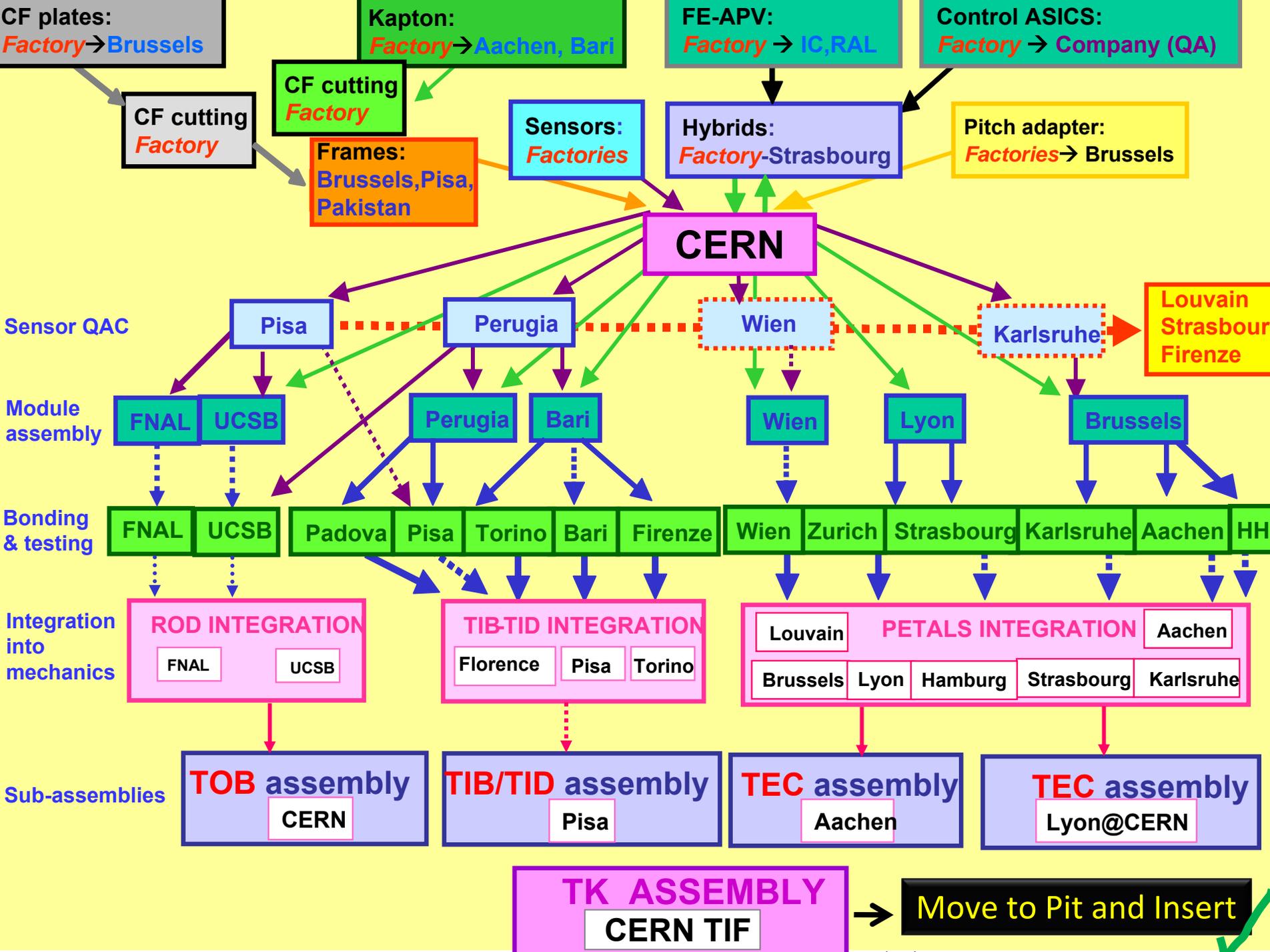
22% vom CMS-Tracker

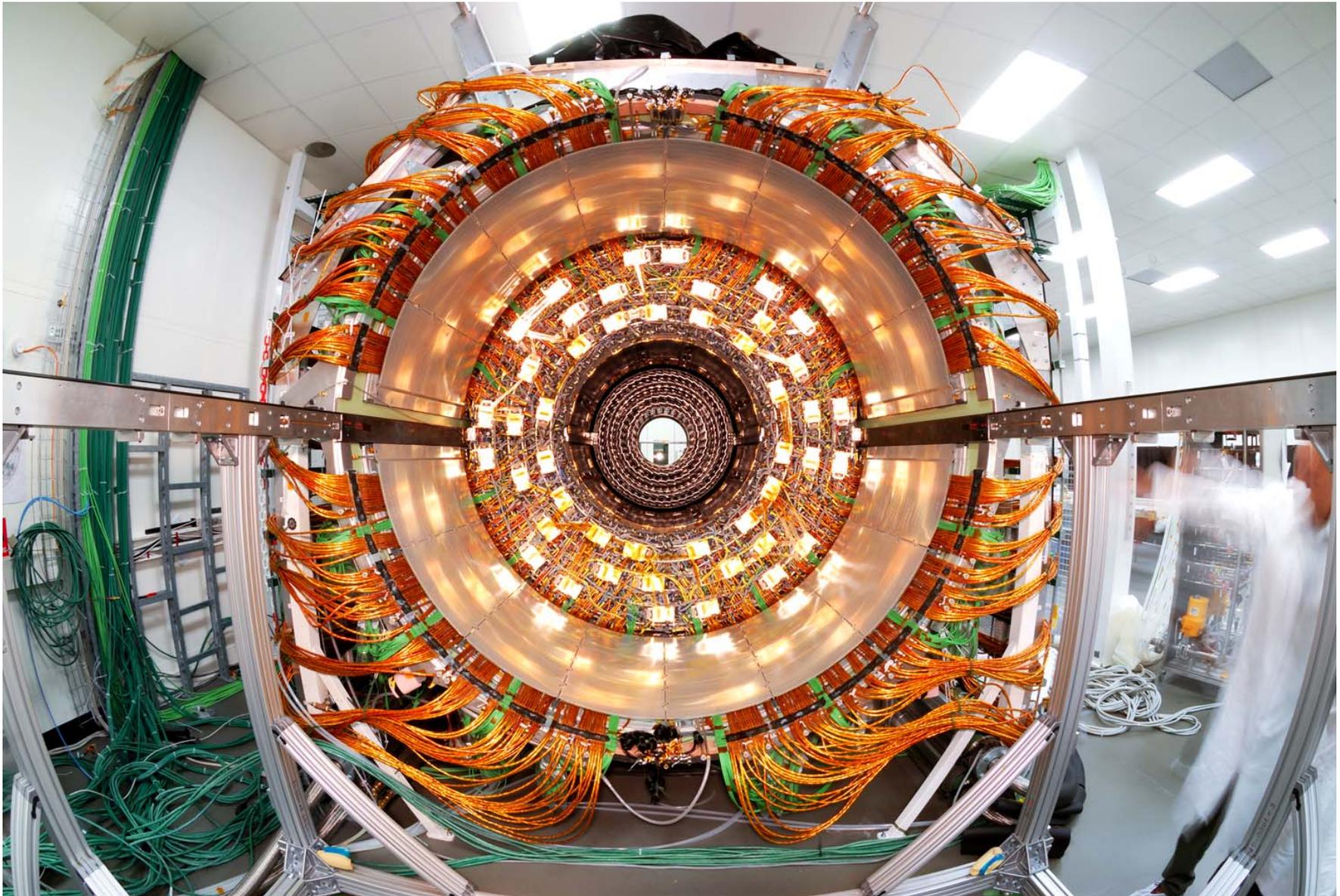


Intern. Vorbereitungstreffen

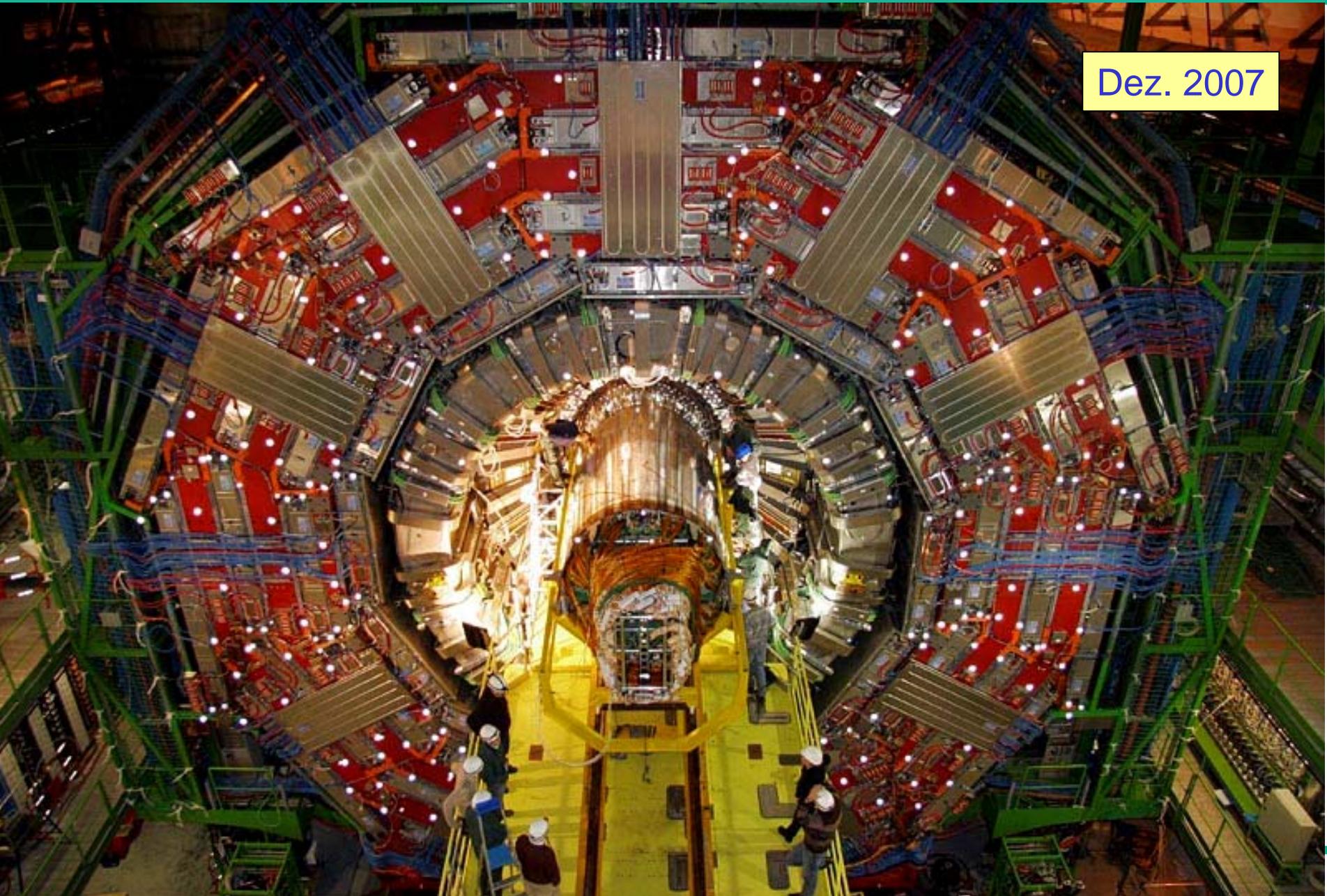


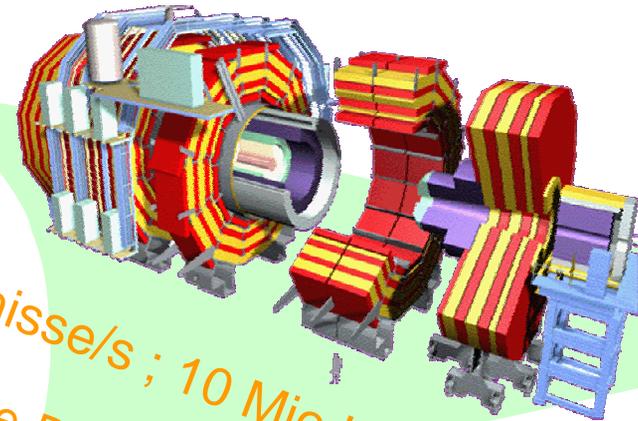
Bau der Großmodule  
„Petal“ (102 Stück)



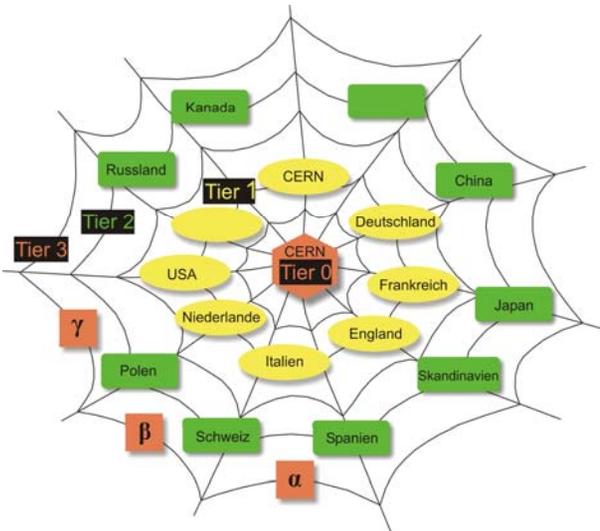


Dez. 2007





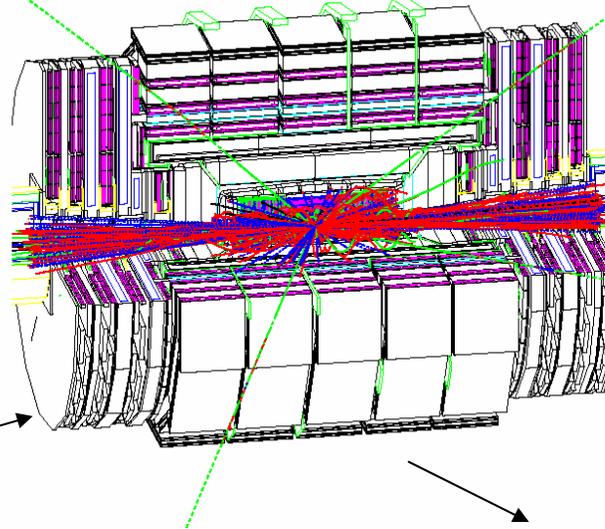
40 MHz ;  $10^9$  Ereignisse/s ; 10 Mio Kanäle  $\Rightarrow$  1 PetaByte/s  
 Online-Datenreduktion  
 Datenspeicherung  
 100 Hz  $\sim$  1  
 PetaByte/Jahr  
 (1,4 Millionen CD)



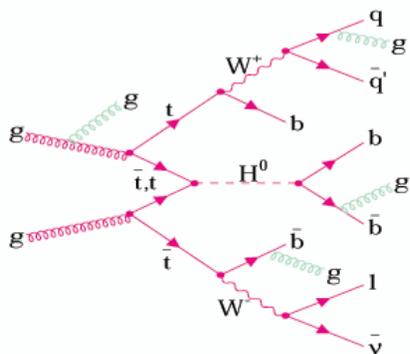
**LÖSUNG: DAS GRID**  $\longrightarrow$  **KIT: GridKa (Tier 1)**

**CampusGrid (Tier 2-3)**

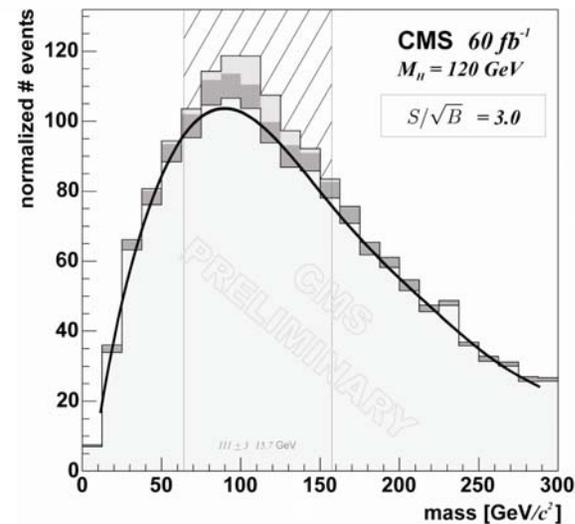
$H(150\text{GeV}) \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow 4\mu$  (event 8)



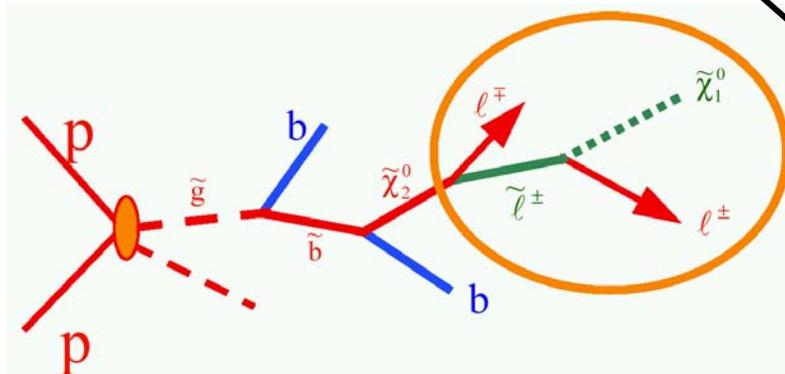
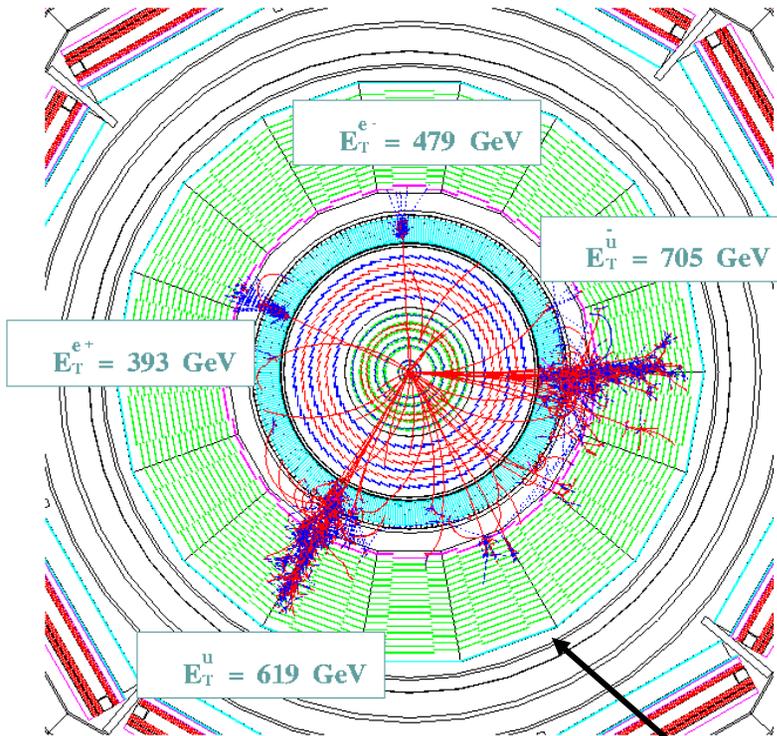
Simulation eines Ereignisses



Der Prozeß



ERWARTETES SIGNAL AM LHC



## Zerfallskette

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

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

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

$$\tilde{l}^{\pm} \rightarrow \tilde{\chi}_1^0 + l^{\pm}$$

## Endzustand

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

Dunkle Materie ?

**Tests des SM:** Präzisionsmessungen im Bereich von  $<10^{-19}$  m

**Higgs:** Experimentell schwierig nachzuweisen  
Entdeckung frühestens 2010

**SUSY:** Theoretisches Konzept ist überzeugend:  
Entdeckung schon früh (2009) am LHC möglich

**Überraschungen:** Durchaus möglich !!!  
Extra Dimensionen  
Kleine Schwarze Löcher  
Neue Wechselwirkungen oder Symmetrien

DIE SUCHE NACH DEN FUNDAMENTALEN BAUSTEINEN DER NATUR UND DEREN HERKUNFT IST PHILOSOPHISCHES ANLIEGEN SEIT MENSCHENGEDENKEN

WIE WIR DIE FRÜHEREN KULTUREN BEURTEILEN, WERDEN AUCH WIR SPÄTER AN UNSEREN ERKENNTNISSEN GEMESSEN WERDEN

**UNSERE FORSCHUNG IST VERKNÜPFT  
MIT DER AUSBILDUNG VON WISSENSCHAFTLICHEM NACHWUCHS  
UND DER SUCHE NACH ANWENDUNGEN IM TÄGLICHEN LEBEN**

Unsere Forschung wird großzügig gefördert von Universität, FZK, Land, DFG, BMBF, HGF



BN N

Samstag, 13. / Sonntag, 14. März 2004

