

**Dozent: Prof. Dr. Th. Müller**  
**Übungsleiter: Dr. Matthias Mozer**

## Inhalt der Vorlesung

### **Kapitel 1** Einführung

- 1.1 Physikalische Größen und Maßeinheiten
- 1.2 Messungen und Datenauswertung

### **Kapitel 2** Klassische Mechanik

- 2.1 Mechanik von Massenpunkten
- 2.2 Mechanik von Massenpunkten: Newtonsche Gesetze
- 2.3 Systeme von Massenpunkten
- 2.4 Rotation

### **Kapitel 3** Gravitation

- 3.1 Das Gravitationsgesetz
- 3.2 Das Gravitationspotential
- 3.3 Planetenbahnen, Keplersche Gesetze
- 3.4 Bestimmung der Gravitationskonstante  $G$
- 3.5 Gravitation in Massenverteilungen

## Kapitel 4

## Relativistische Mechanik

- 4.1 Bewegte Bezugssysteme, Transformationen
- 4.2 Relativistische Kinematik

## Kapitel 5

## Mechanik fester Körper und Flüssigkeiten

- 5.1 Feste Körper
- 5.2 Hydrostatik und Hydrodynamik
- 5.3 Thermische Eigenschaften von Festkörpern und Flüssigkeiten

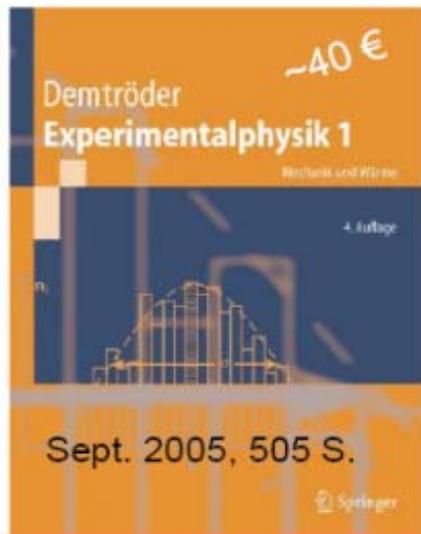
## Kapitel 6

## Schwingungen und Wellen

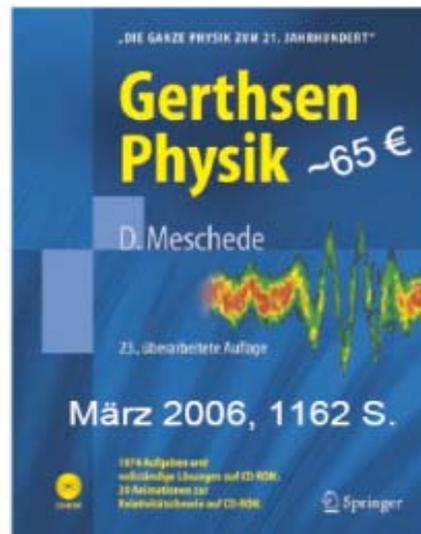
- 6.1 Schwingungen
- 6.2 Wellen
- 6.3 Licht und Materie

Informationen auf

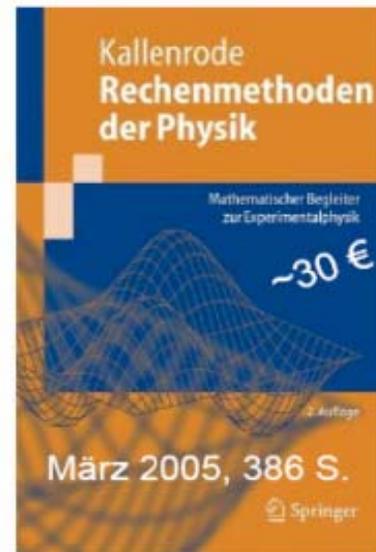
<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~mmozer/WS1314/Vorlesung/>



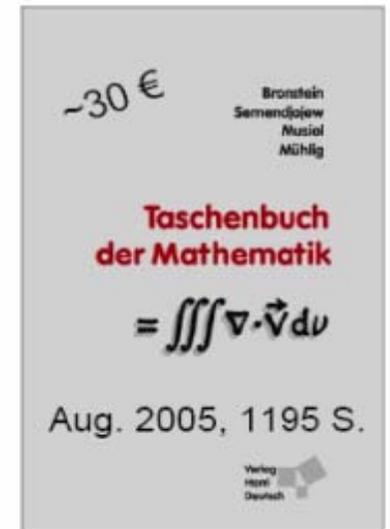
der ‚Demtröder‘: Teil 1 einer vier-bändigen Reihe



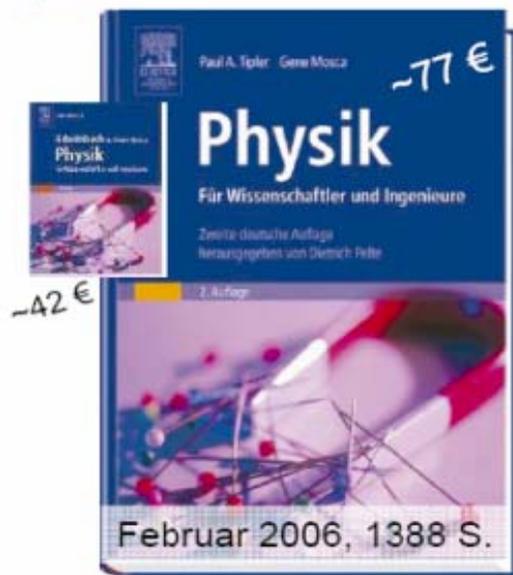
der ‚Gerthsen‘: Standard-Werk, gesamte Physik



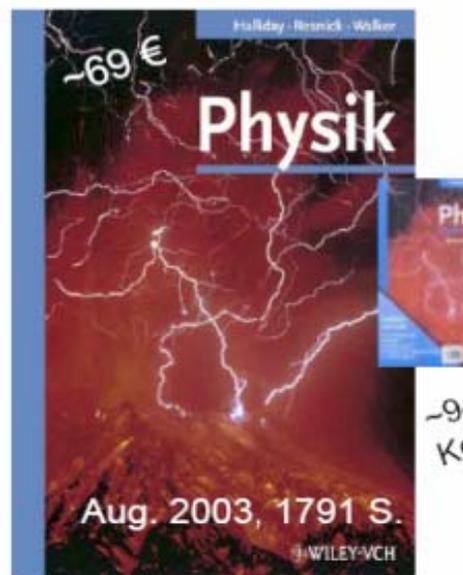
Rechenmethoden der Physik, beispiel- & praxisorientiert



der ‚Bronstein‘: Standard-Referenz, gesamte Mathematik



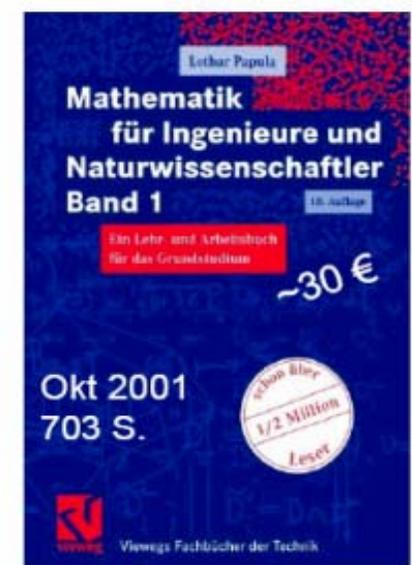
der ‚Tipler‘: dt. Übersetzung des US-Originals (+Arbeitsb.)



der ‚Halliday‘: dt. Übersetzung des US-Originals



Einführung in die mathematischen Methoden



Standard der Ingenieur-Mathematik, gute Didaktik

## Nützliche Seiten:

- <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~mmozer/WS1314/Vorlesung/>
- <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~mmozer/WS1314/Uebungen/>

## Übungen:

- Mi 8:00-9:30 / 9:45-11:15 / 11:30-13:00
- Anmeldung: <http://www.physik.kit.edu/Tutorium/WS1314/Physik1/>
- Anmeldung: 22.10, 12:00 bis 24.10, 12:00

## Blätter:

- Abholen: Dienstag in der Vorlesung oder hier:  
<http://www.physik.kit.edu/Tutorium/WS1314/Physik1/>
- Abgabe: Montag 12:00 in der “Physik I” Box im Hochhaus Erdgeschoss

## Übungen:

- Teilnahme an der Übung ist verpflichtend:  
Voraussetzung für die Klausurteilnahme
- 60% der Punkte auf den Blättern
- 4 mal Vorrechnen in den Übungsgruppen
- Arbeit in Gruppen von 2-3 Personen

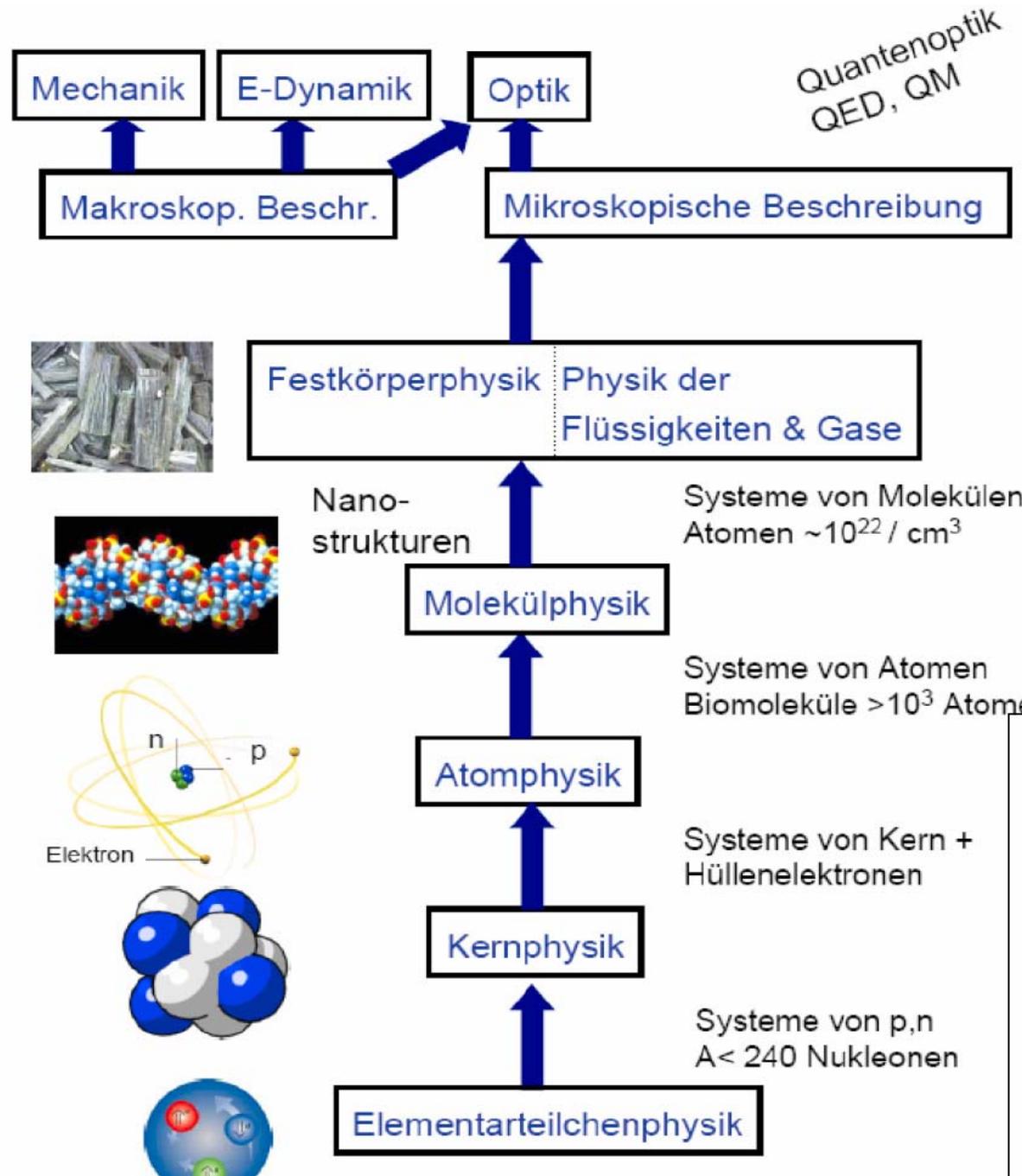
# Einführung

Grundvorlesung  
1./2./3. Semester

5. Semester

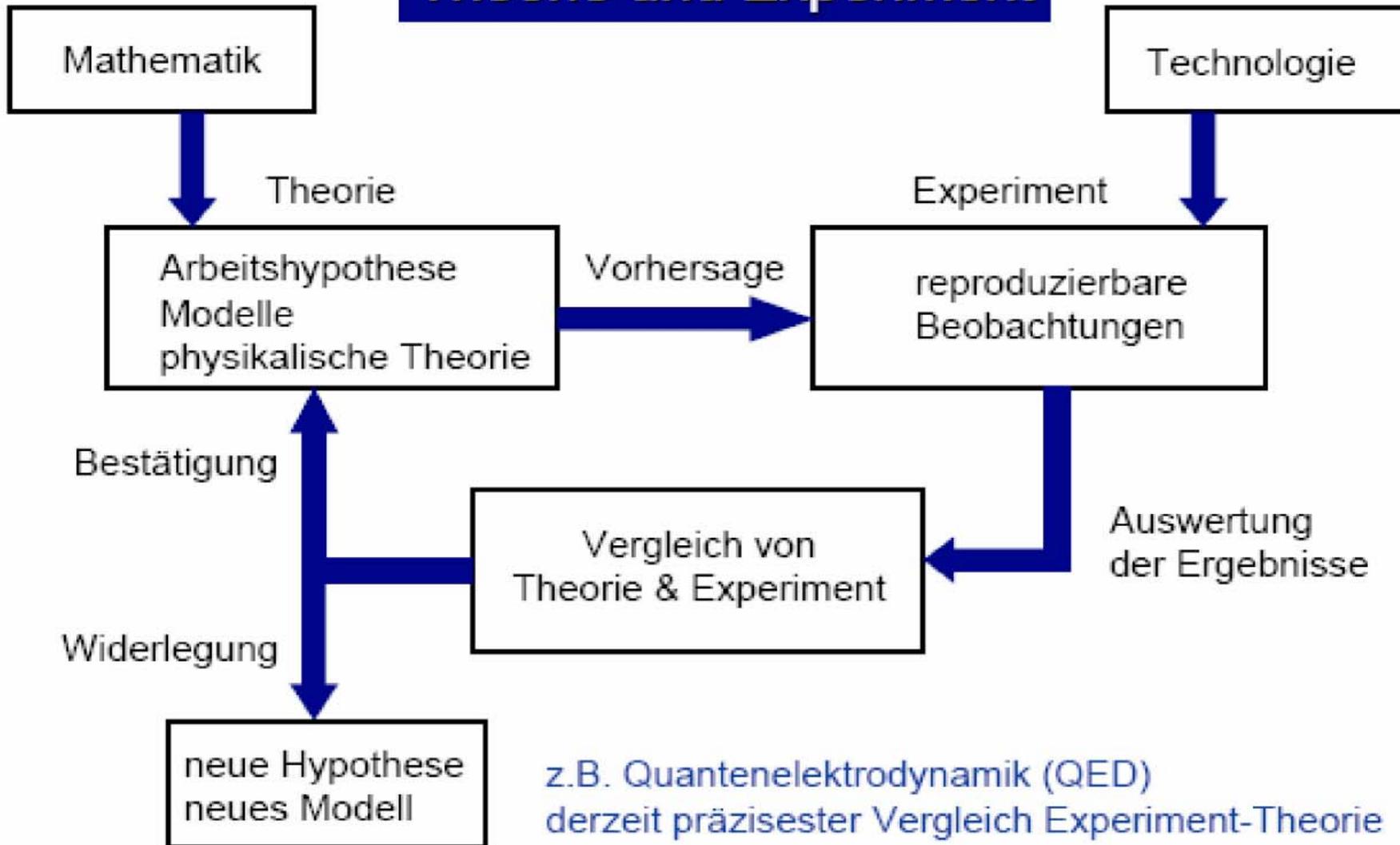
4. Semester

6. Semester



Spezialvorlesungen  
7., 8. Semester:  
Biophysik,  
Nanophysik,  
Nanoelektronik,  
Astroteilchenphysik  
Elementarteilchen-  
physik

# Theorie und Experiment



# Aus aktuellem Anlass: die Entdeckung des Higgs-Bosons

**ES GIBT ZWEI FUNDAMENTALE FRAGEN :**

**WIE IST DAS UNIVERSUM ENTSTANDEN ?**

**WAS SIND SEINE FUNDAMENTALEN BAUSTEINE UND GESETZE?**

**BEIDE FRAGEN SIND MITEINANDER VERKNÜPFT :**

**VERSTÄNDNIS VON DER STRUKTUR DER MATERIE UND IHRER KRÄFTE**



**BESSERES WISSEN ÜBER IHREN URSPRUNG**

**FÜR DIE SUCHE NACH DEN GESETZMÄßIGKEITEN :**

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

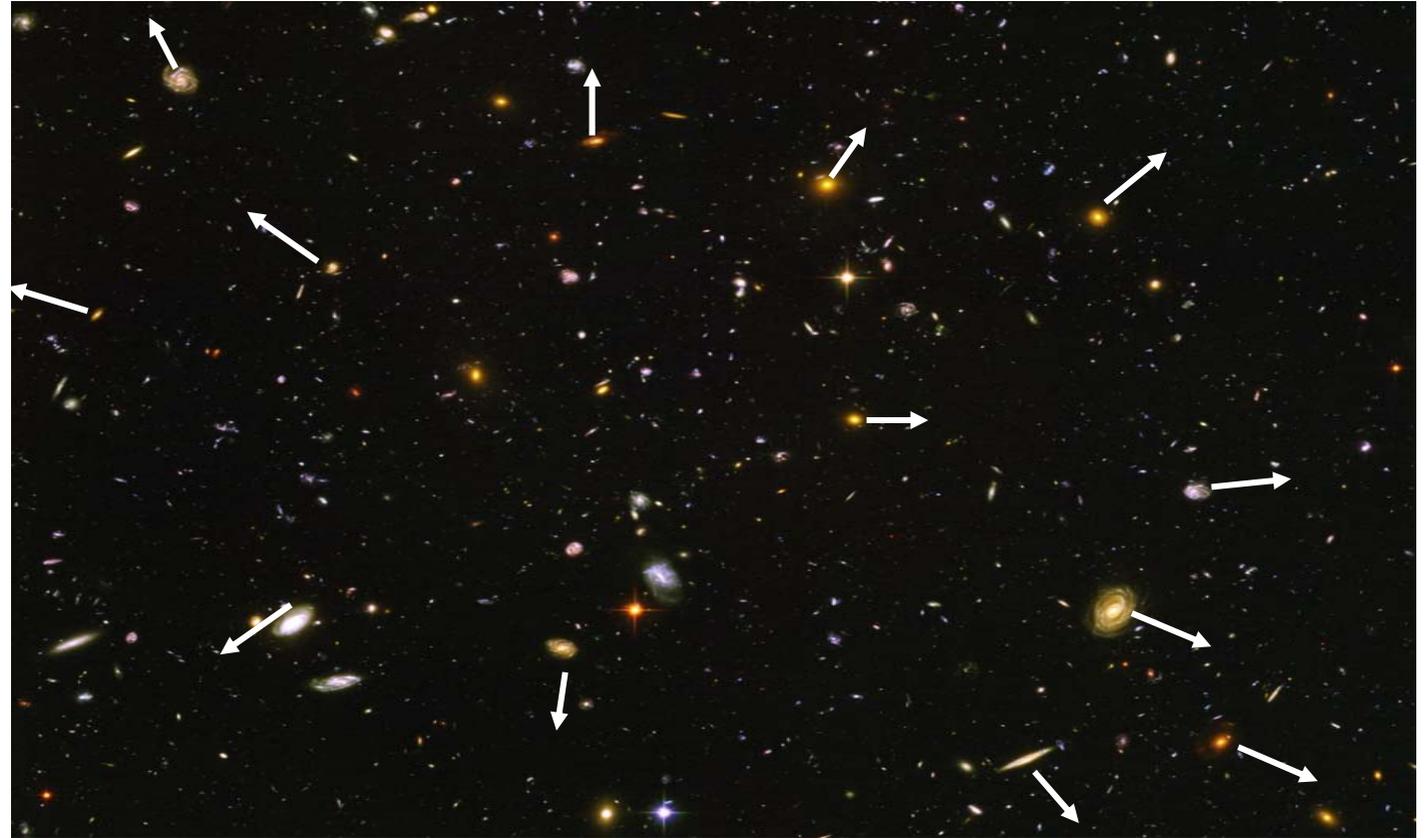
## 1. BEOBACHTUNG:

IM UNIVERSUM GIBT ES 75% Wasserstoff, 24% Helium, <1% übrige Elemente  
→ ELEMENTSYNTHESE IN DEN ERSTEN DREI MINUTEN

## 2. BEOBACHTUNG:

DIE GALAXIEN FLIEGEN  
VON EINANDER WEG  
(Hubble 1930):

JE WEITER WEG,  
DESTO SCHNELLER

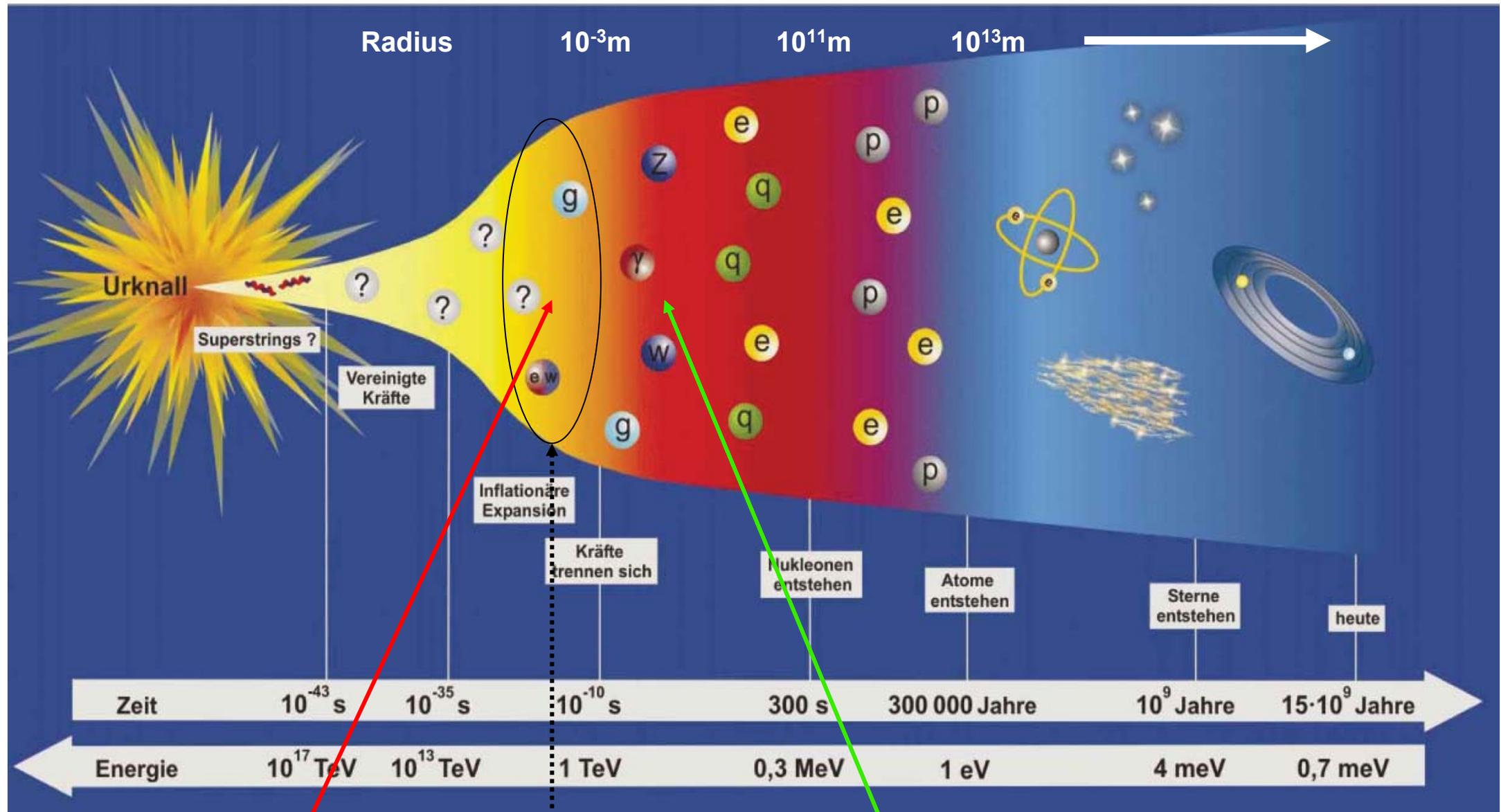


## 3. BEOBACHTUNG:

KOSMISCHE HINTERGRUNDSTRAHLUNG (Penzias, Wilson 1965):

→ 2.7 K TEMPERATURSTRAHLUNG: „LICHTBLITZ“ DES URKNALLS



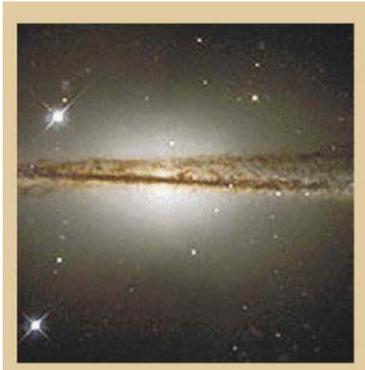


Das wollen wir ergründen

Large Hadron Collider

Heute schon verstanden

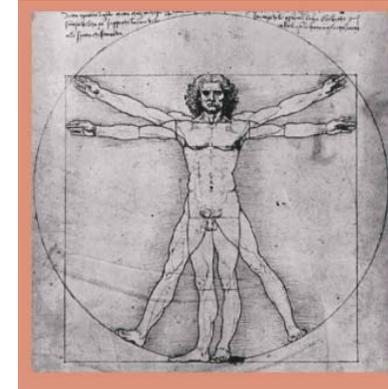
$10^{26}$  m = 100.000.000.000.000.000.000.000.000 m



$10^{26}$  m  
Teleskop



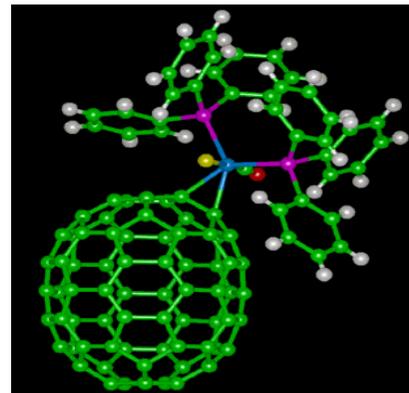
$10^7$  m  
Fernrohr



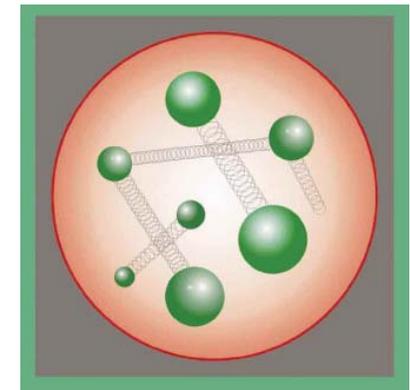
$10^1$  m  
Auge



$10^{-4}$  m  
Mikroskop



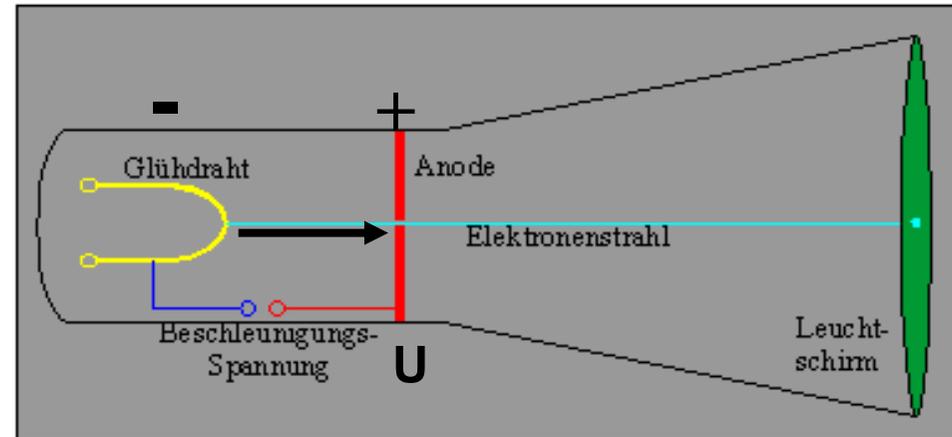
$10^{-8}$  m  
Elektronenmikroskop



$10^{-15}$  m  
Teilchenbeschleuniger,  
Detektoren

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

## PRINZIP EINES TEILCHENBESCHLEUNIGERS: DIE BRAUNSCHE RÖHRE



Beschleunigungsspannung  $U = 1\text{Volt}$   
Energie =  $1\text{eV}$

⇒ kinetische

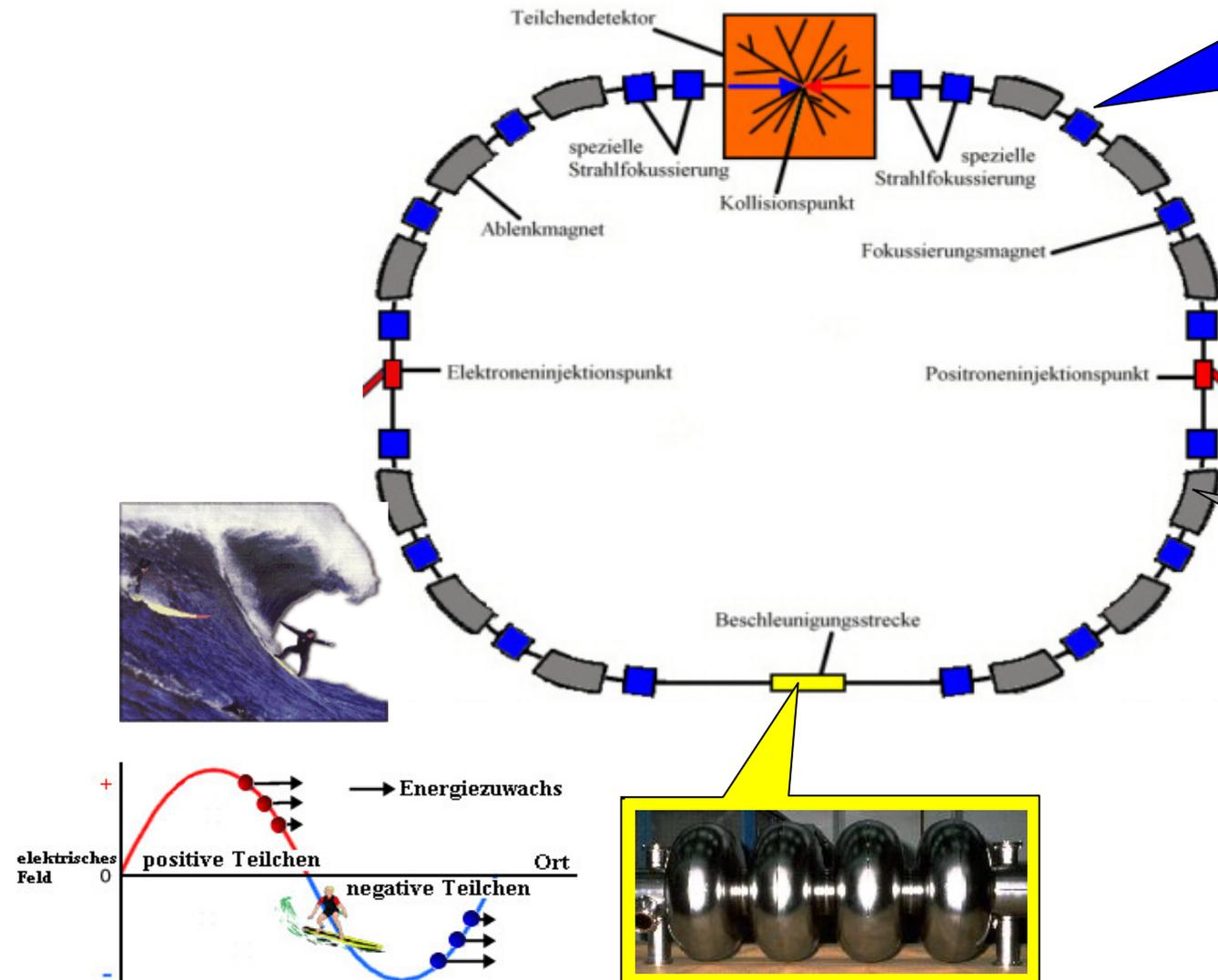
Beschleunigungsspannung  $U = 10000\text{Volt}$

⇒ kinetische Energie =  $10\text{keV}$

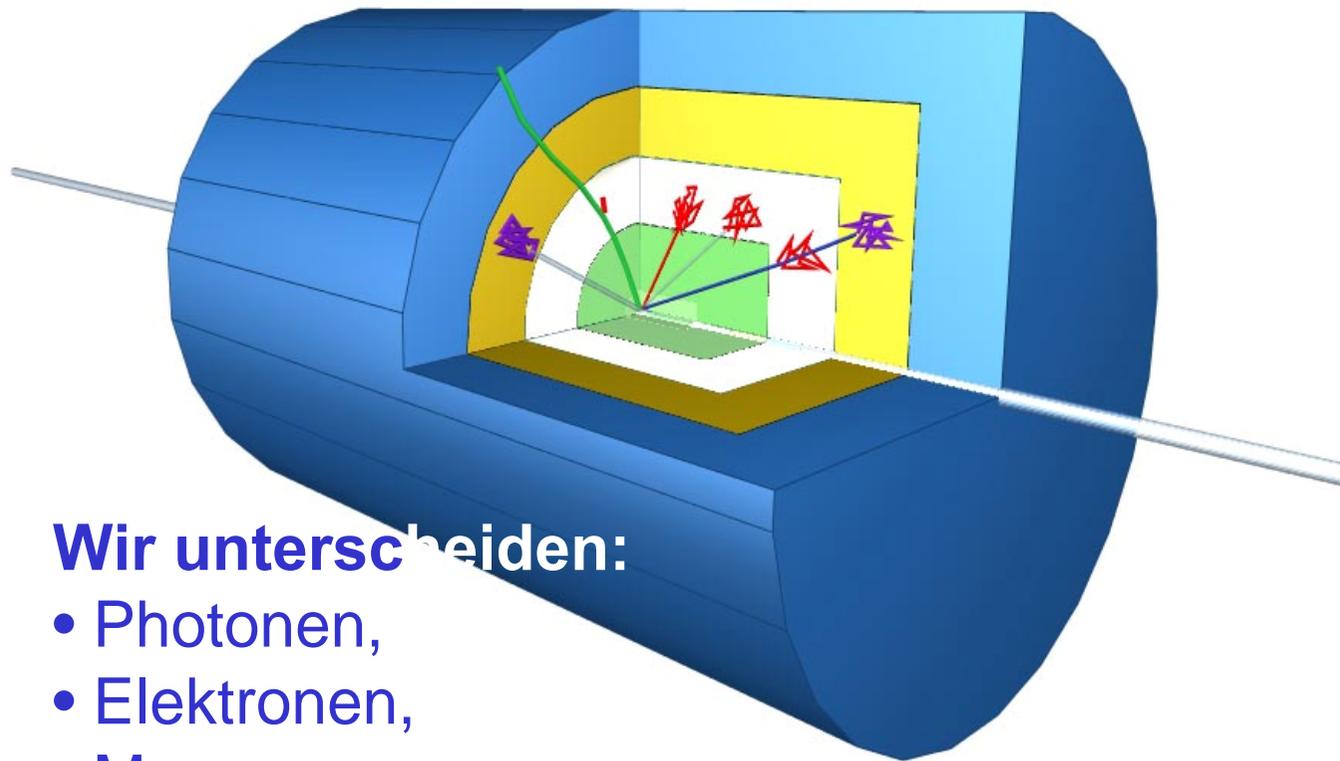
**MODERNE ANFORDERUNGEN:**

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

# PRINZIP EINES KREISFÖRMIGEN TEILCHENBESCHLEUNIGERS:

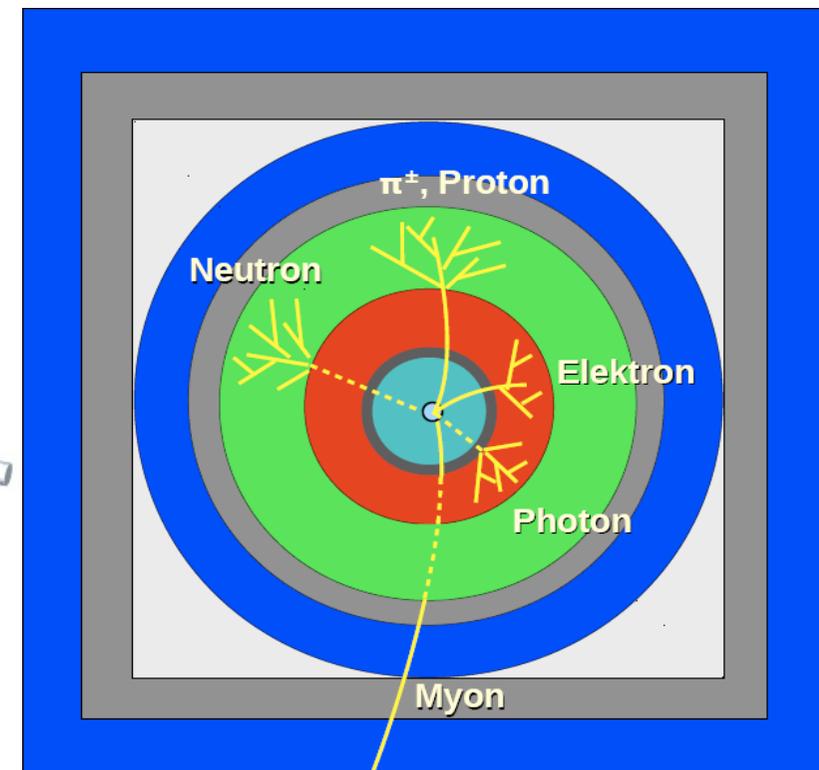


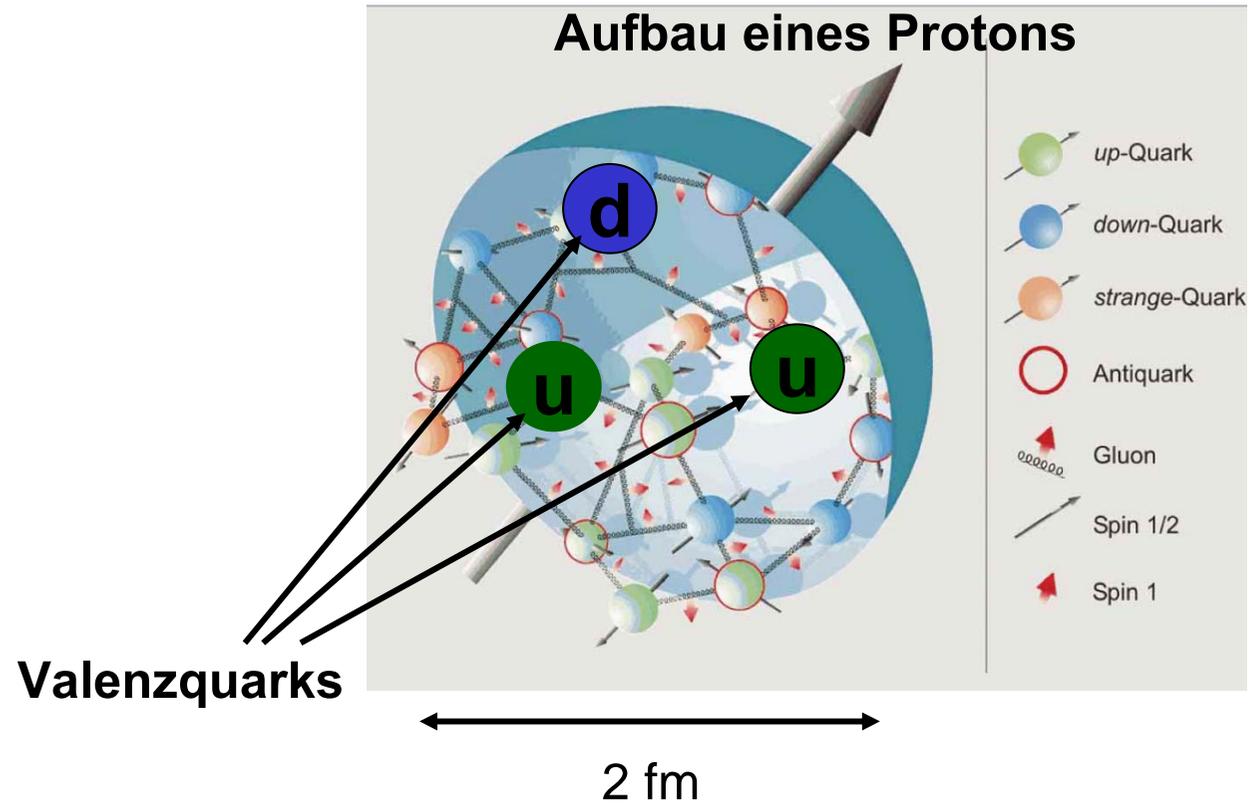
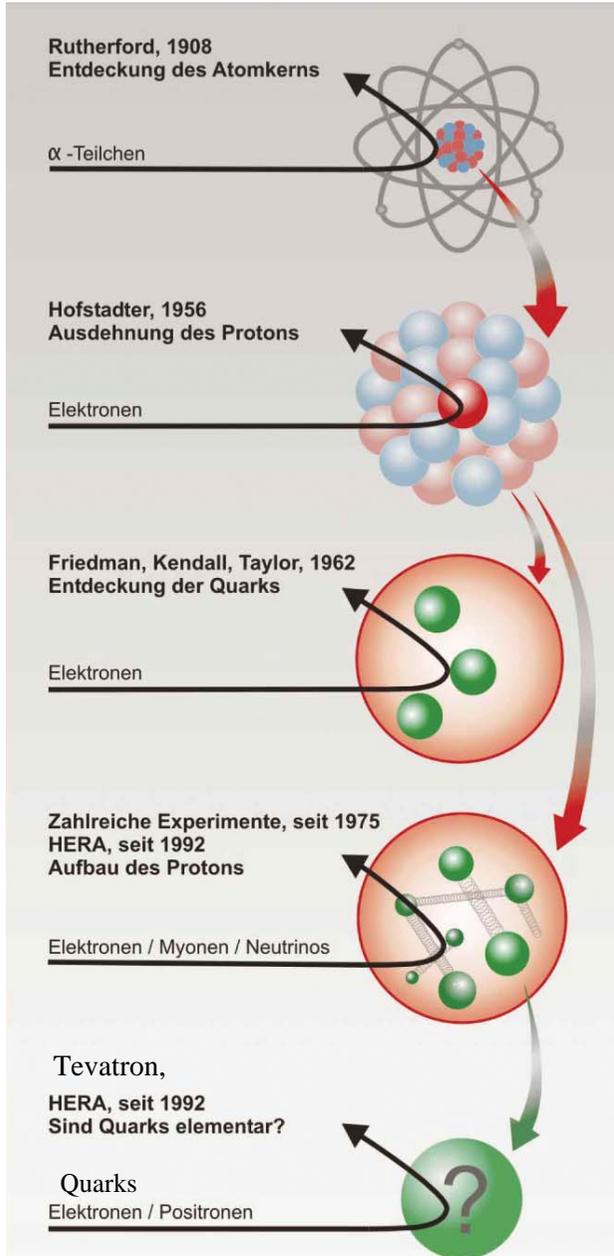
- Bei der Kollision entstehen neue Teilchen
- Nachweis und Vermessung durch konzentrische Anordnungen von Sensoren



## Wir unterscheiden:

- Photonen,
- Elektronen,
- Myonen,
- Quarks
- Neutrinos





**LEPTONEN, QUARKS SIND PUNKTFÖRMIG :  $R < 10^{-19}$  m**

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

**Atomkern : Atomhülle**

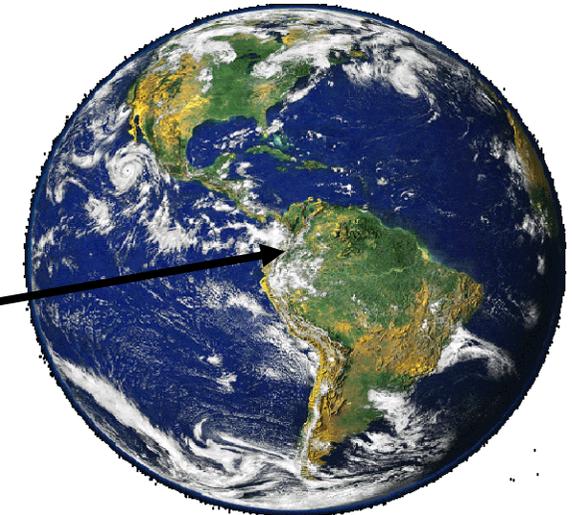
**= Knopf : Innenstadt  
Karlsruhe**



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

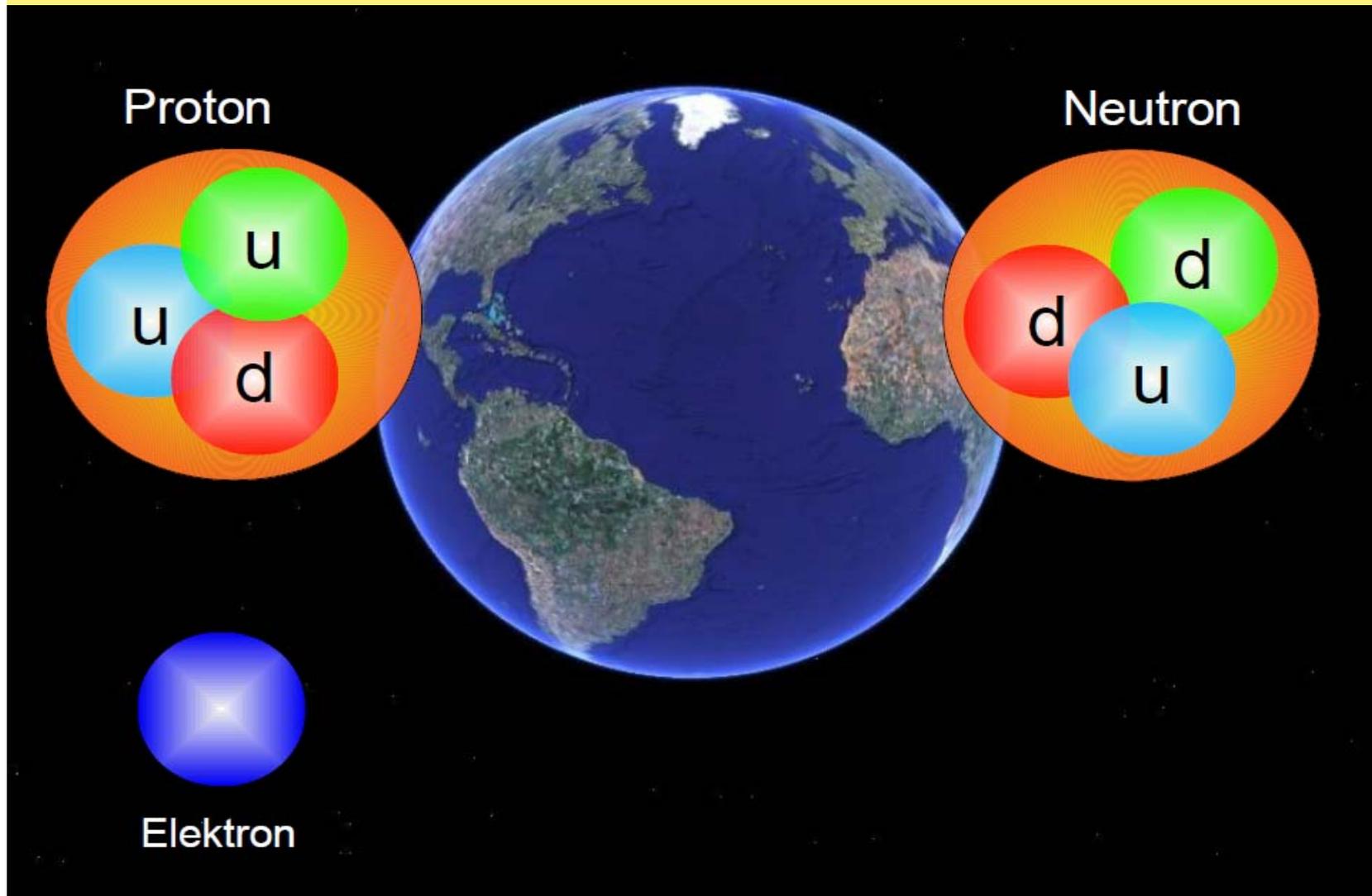
**Quark : Atomhülle**

**< Knopf : Erde**



(Quark : Stecknadelkopf < Stecknadelkopf : Sonnensystem, usw)

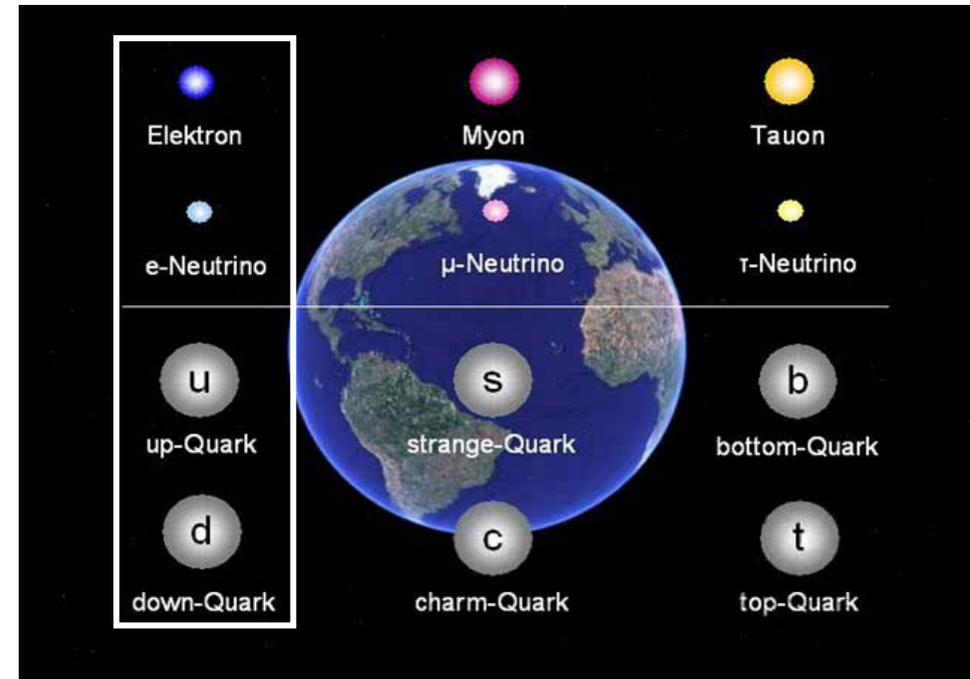
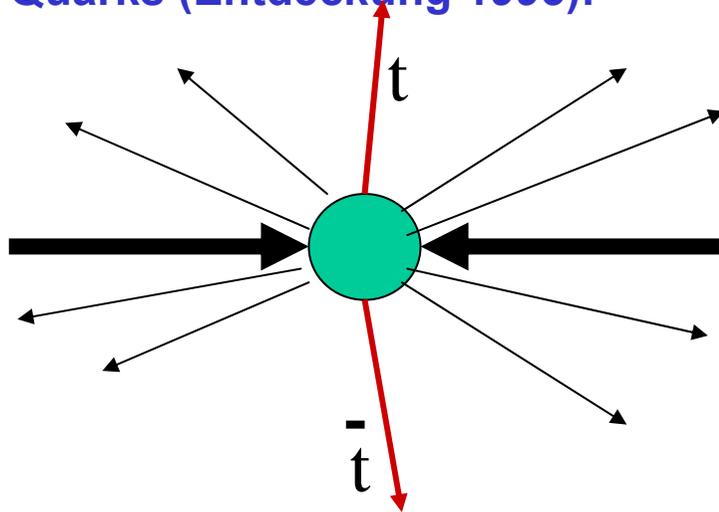
DIE SICHTBARE WELT BESTEHT AUS QUARKS UND LEPTONEN  
DER ERSTEN GENERATION:  $u$ ,  $d$ ,  $e^-$



IN DEN ERSTEN MILLIARDSTEL SEKUNDEN  
DES UNIVERSUMS GAB ES OBJEKTE, DIE  
HEUTE LÄNGST ZERFALLEN SIND.

DIESE KÖNNEN AN TEILCHEN-  
BESCHLEUNIGERN IN KLEINEN  
"URKNALLEN" ERZEUGT WERDEN,

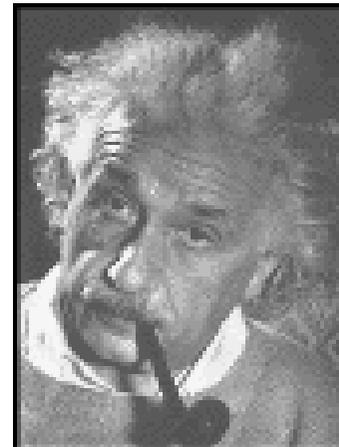
z.B.: Top-Quarks (Entdeckung 1995):



UMWANDLUNG VON ENERGIE IN MATERIE:

Dabei entstehen paarweise Materie- und Antimaterieteilchen

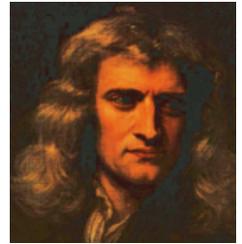
Einsteins (Albert Einstein)



## 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 1882 to 1889 at the University of Karlsruhe.

## SCHWACHE WECHSELWIRKUNG:

**GLASHOW, WEINBERG, SALAM (1967):  
QUANTENFLAVORODYNAMIK**

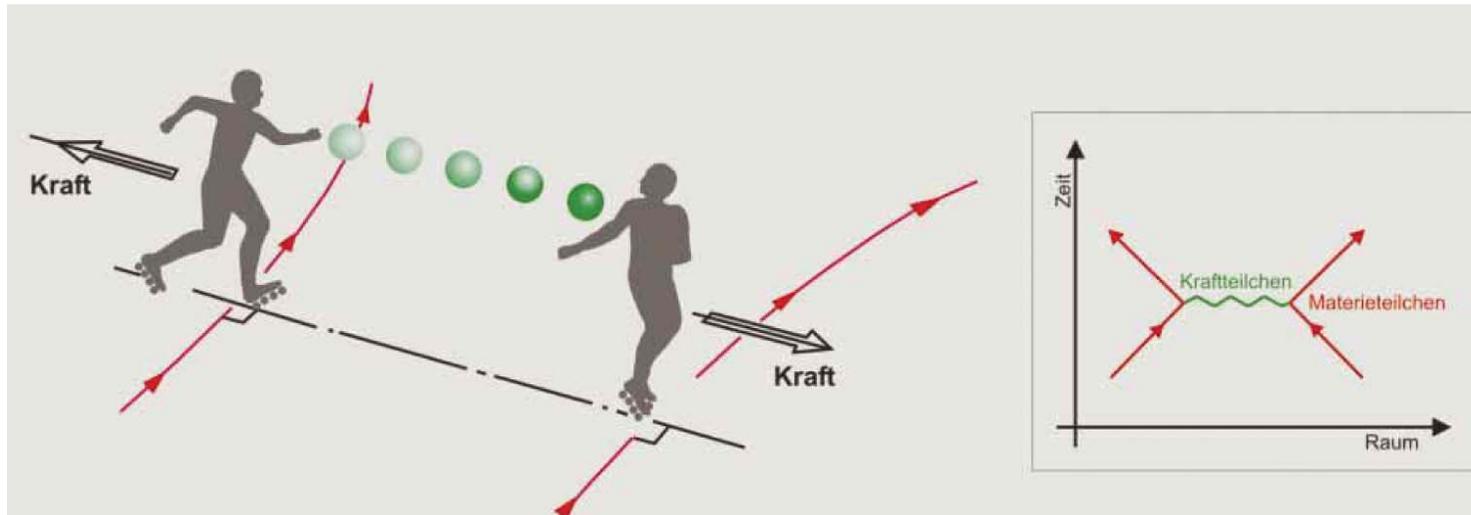


**VEREINIGUNG EM UND SCHWACHE**



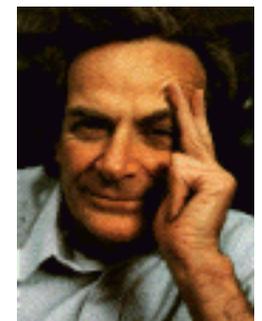
## STARKE WECHSELWIRKUNG:

### POLITZER, GROSS, WILCEK (1970): QUANTENCHROMODYNAMIK

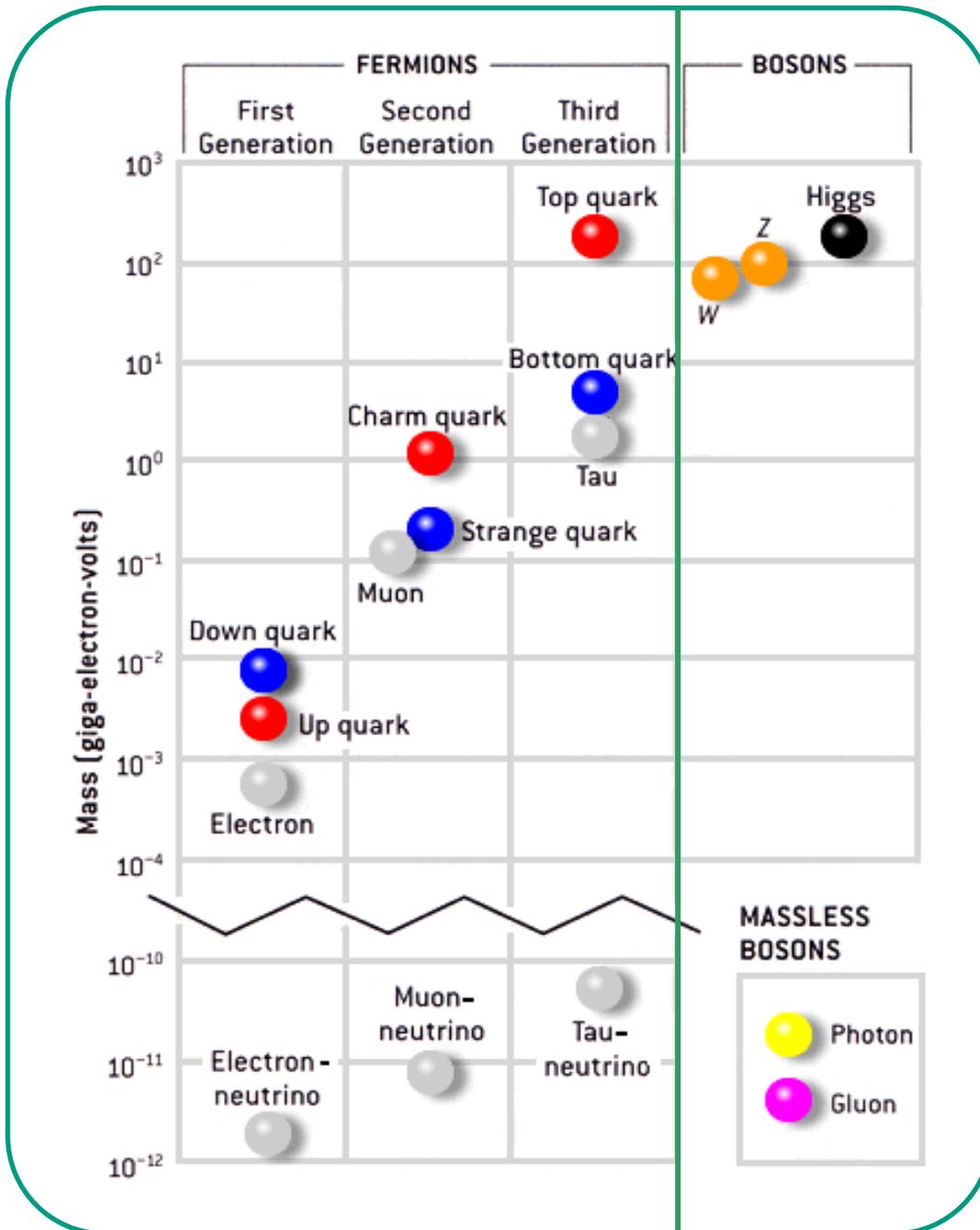


## ALLGEMEIN:

- KÖRPER KÖNNEN KRÄFTE AUF EINANDER AUSÜBEN
- IM MIKROKOSMOS:  
KRÄFTE ENTSTEHEN DURCH AUSTAUSCH VON BOSONEN

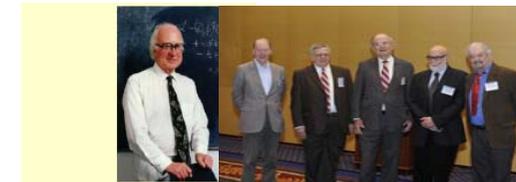


R. Feynmann



Theorie:  
 Alle Elementarteilchen sind masselos. Die Messungen widersprechen dem aber.

Zur Auflösung des Widerspruchs:  
 Einführung eines weiteren Feldes, dessen Bosonen den Teilchen Masse verleihen:  
 Das Higgs-Feld



R. Brout,  
 F. Englert,  
 P. Higgs  
 G. Gounaris  
 C. Hagen  
 T. Kibble

## Kopplung an ein Kraftfeld: das Higgs-Feld

unbekannte Person



interessante  
Persönlichkeit

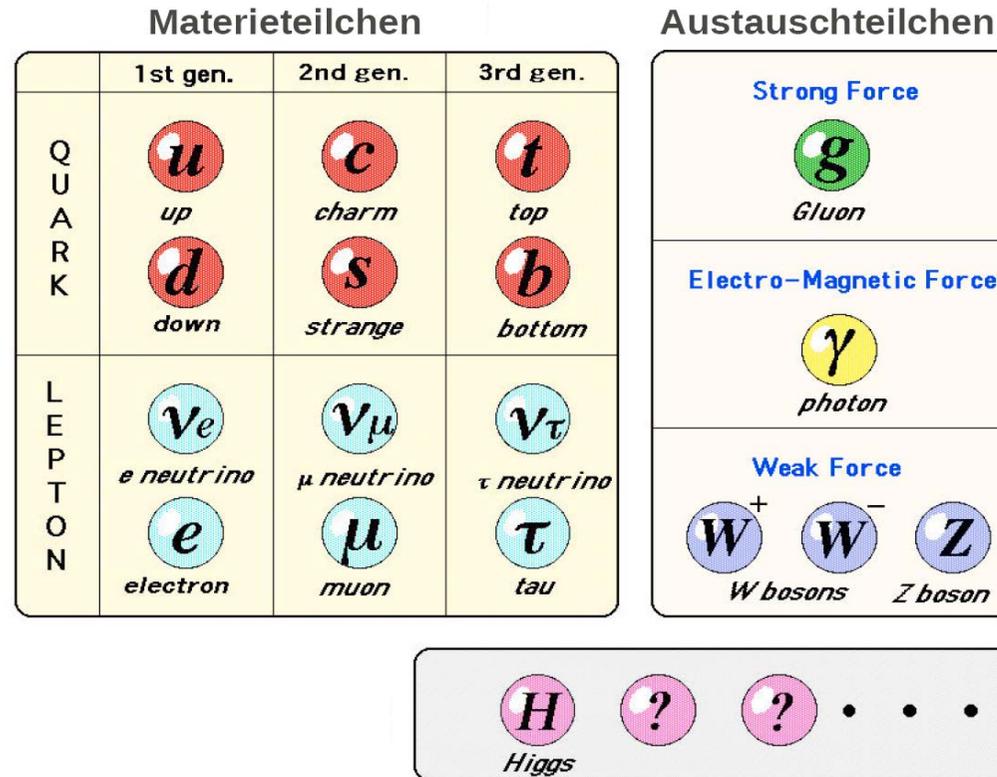


Promi



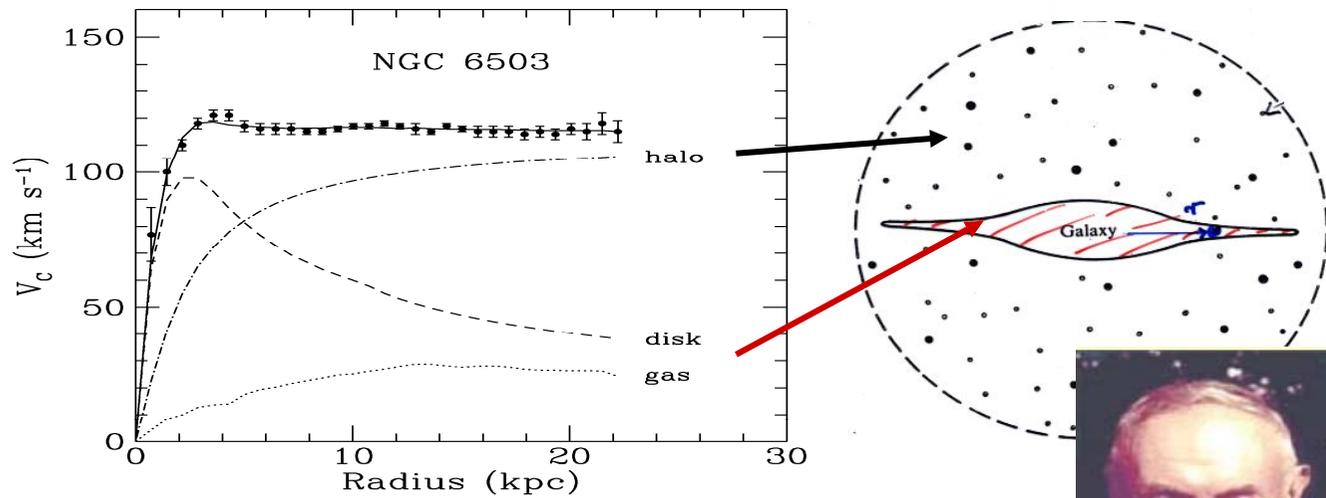
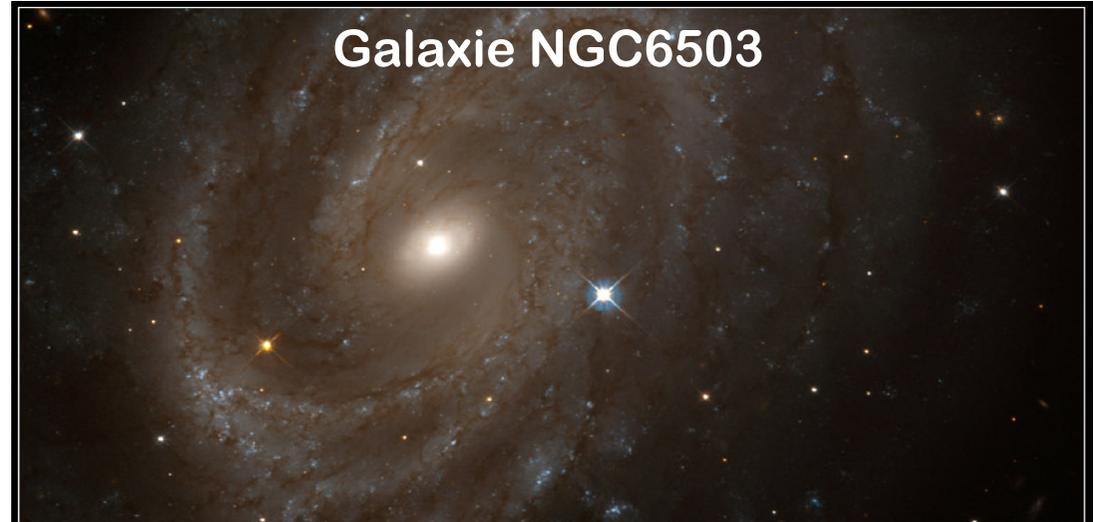
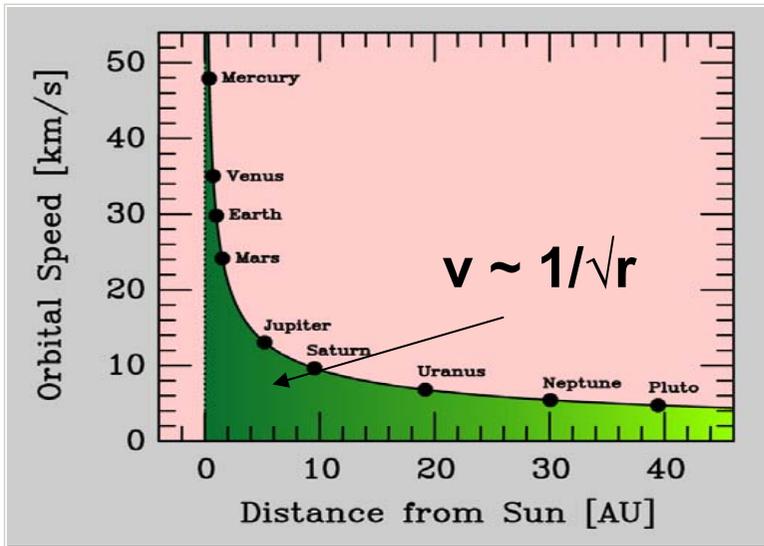
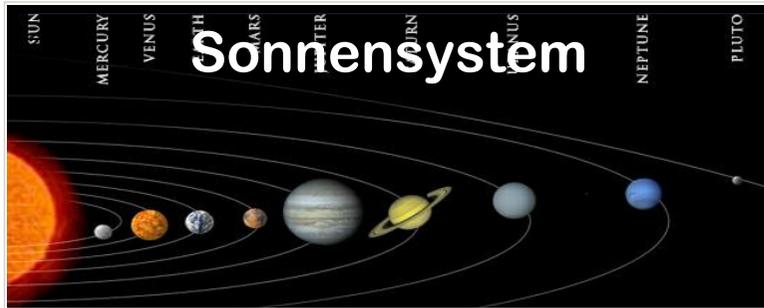
Higgs-Bosonen

## UNSER BILD DER FUNDAMENTALEN TEILCHEN UND KRÄFTE WIRD VON DEM STANDARDMODELL BESCHRIEBEN:



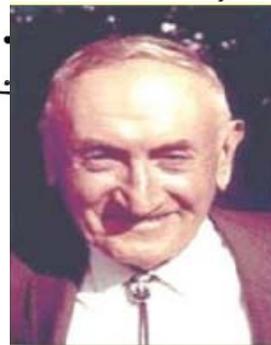
## OFFENE FRAGEN:

- GIBT ES DAS HIGGS-BOSON ? WAS SIND SEINE EIGENSCHAFTEN ?
- WIE ERKLÄRT SICH DIE VIELFALT DER TEILCHEN UND KRÄFTE ?
- WIESO GIBT ES NUR MATERIE IM HEUTIGEN UNIVERSUM ?
- GIBT ES EINE VEREINHEITLICHTE WECHSELWIRKUNG ?
- GIBT ES NOCH MEHR IM UNIVERSUM ? →



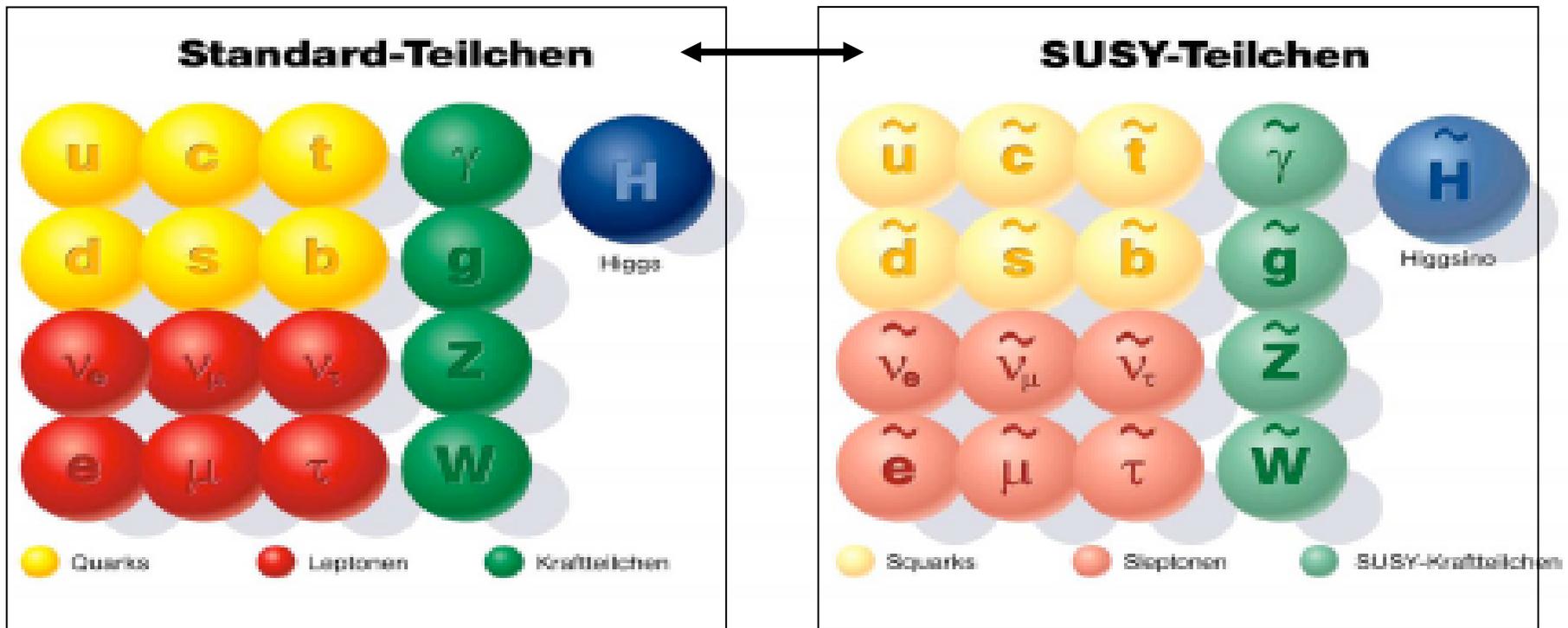
**Im Sonnensystem:  
Gültigkeit von  
Keplers Gesetzen !**

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



F. Zwicky 1898-1974

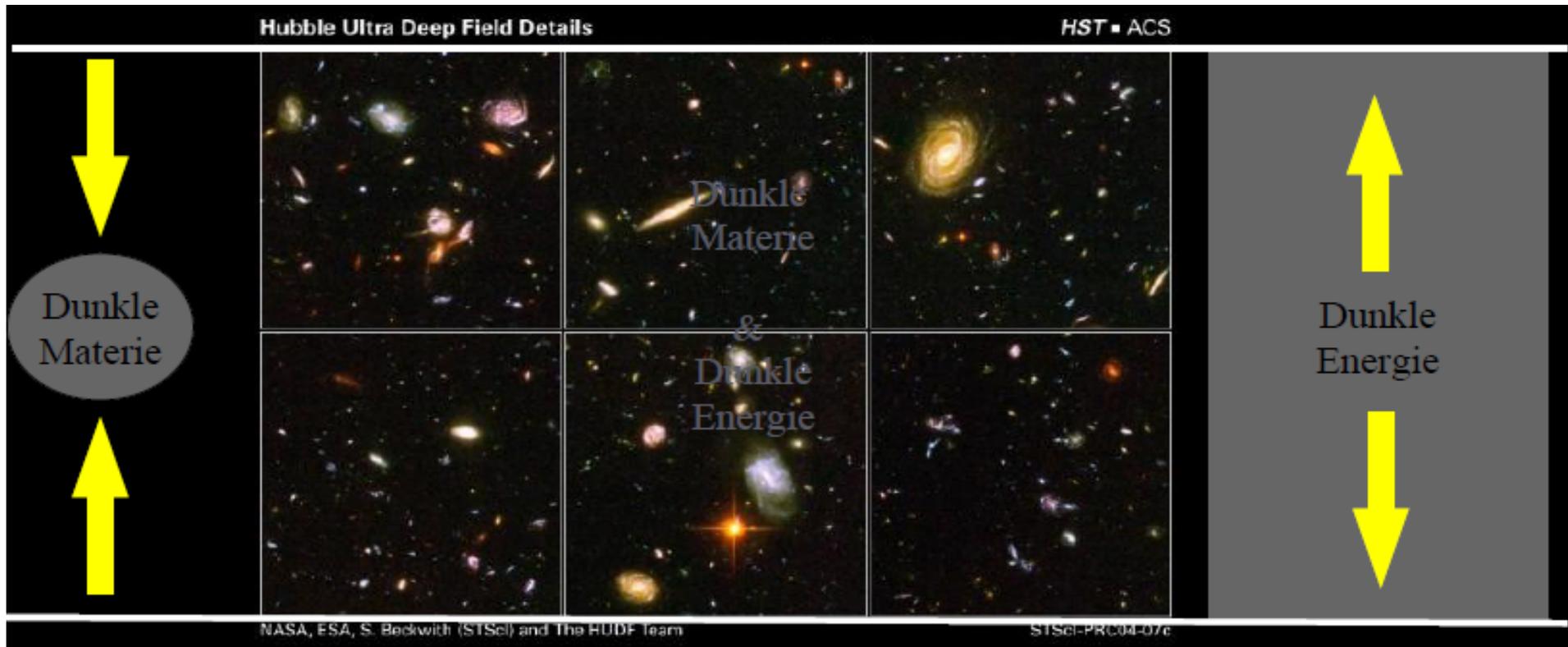
# DUNKLE MATERIE: SUPERSYMMETRISCHE TEILCHEN?



„Unsere Welt“

Supersymmetrische „Schattenwelt“

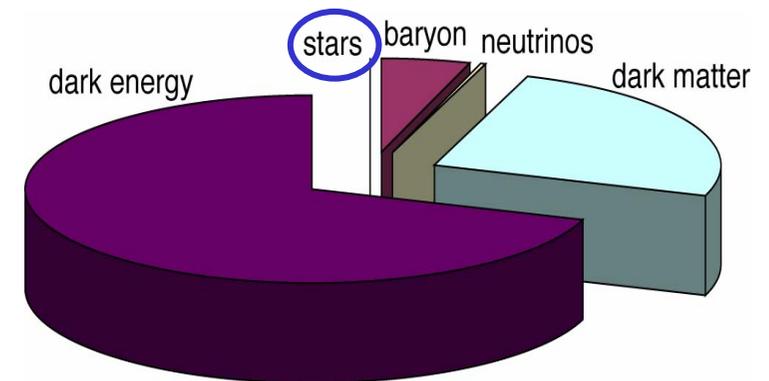
Wenn es diese Teilchen gibt, müssen sie sehr schwer sein!  
 Deren leichtestes würde die Dunkle Materie bilden.



Das Universum dehnt sich immer schneller aus !

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

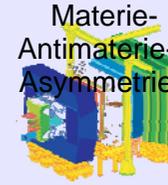
Dunkle Energie könnte dem Higgs-Feld ähneln.



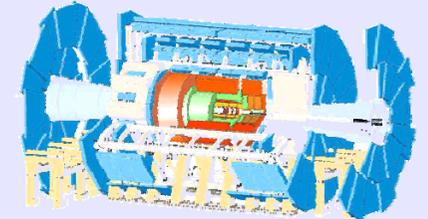
# II. DER LARGE HADRON COLLIDER

- 1984 Erste Ideen für den LHC
- 1988 Beginn mit konkreten Plänen für Detektoren
- 1995 Beginn der Teilnahme der Universität Karlsruhe
- 1998 Beginn der Konstruktion der Detektorelemente,  
Vorbereitung Datenanalyse  
Gründung des GridKa am FZK
- 2005 Beginn mit Zusammenbau des CMS-Detektors am CERN
- 2008 LHC - Detektoren betriebsbereit, Strahl lief herum
- 2009 Proton-Proton-Kollisionen
- 2011 Erste Anzeichen für das Higgs-Boson

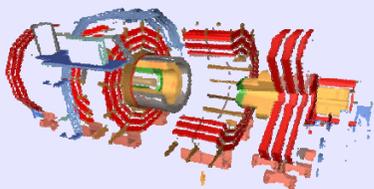
**LHCb**  
Materie-  
Antimaterie-  
Asymmetrie



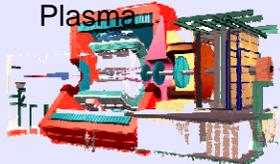
**ATLAS**  
Viel-Zweck-Detektor

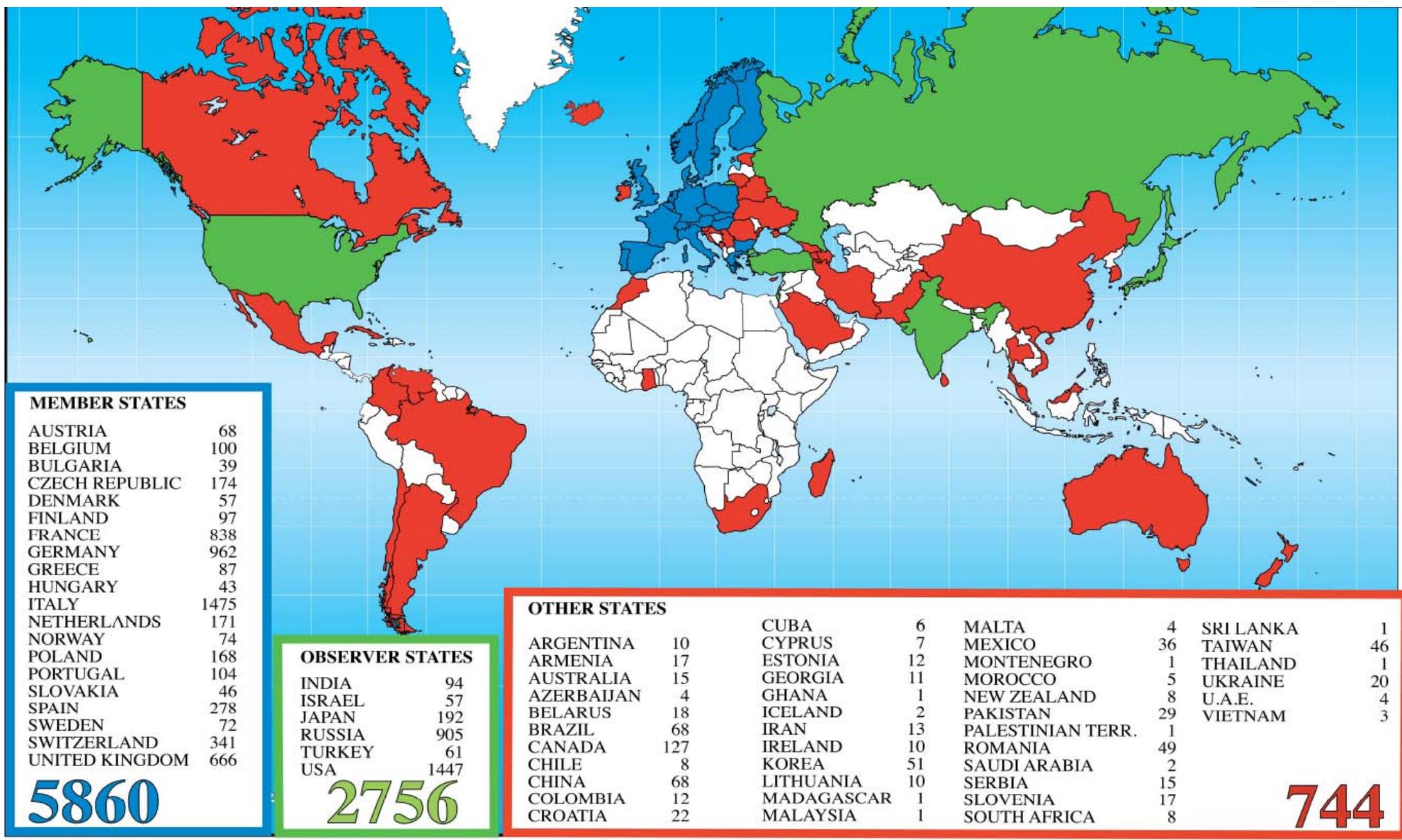


**CMS**  
Viel-Zweck-Detektor

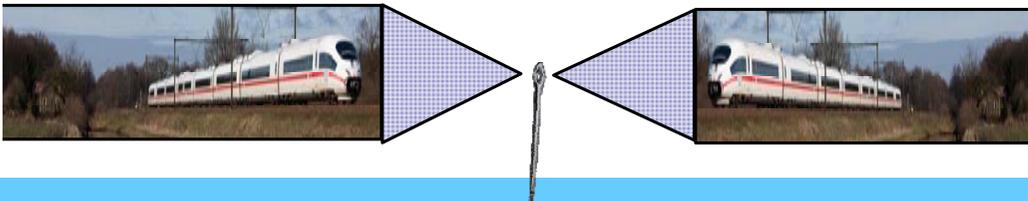
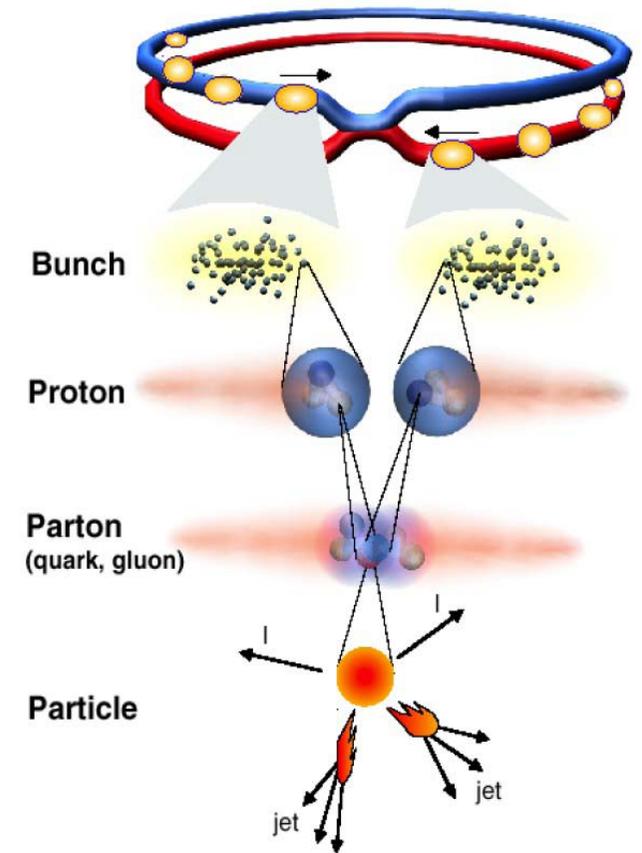
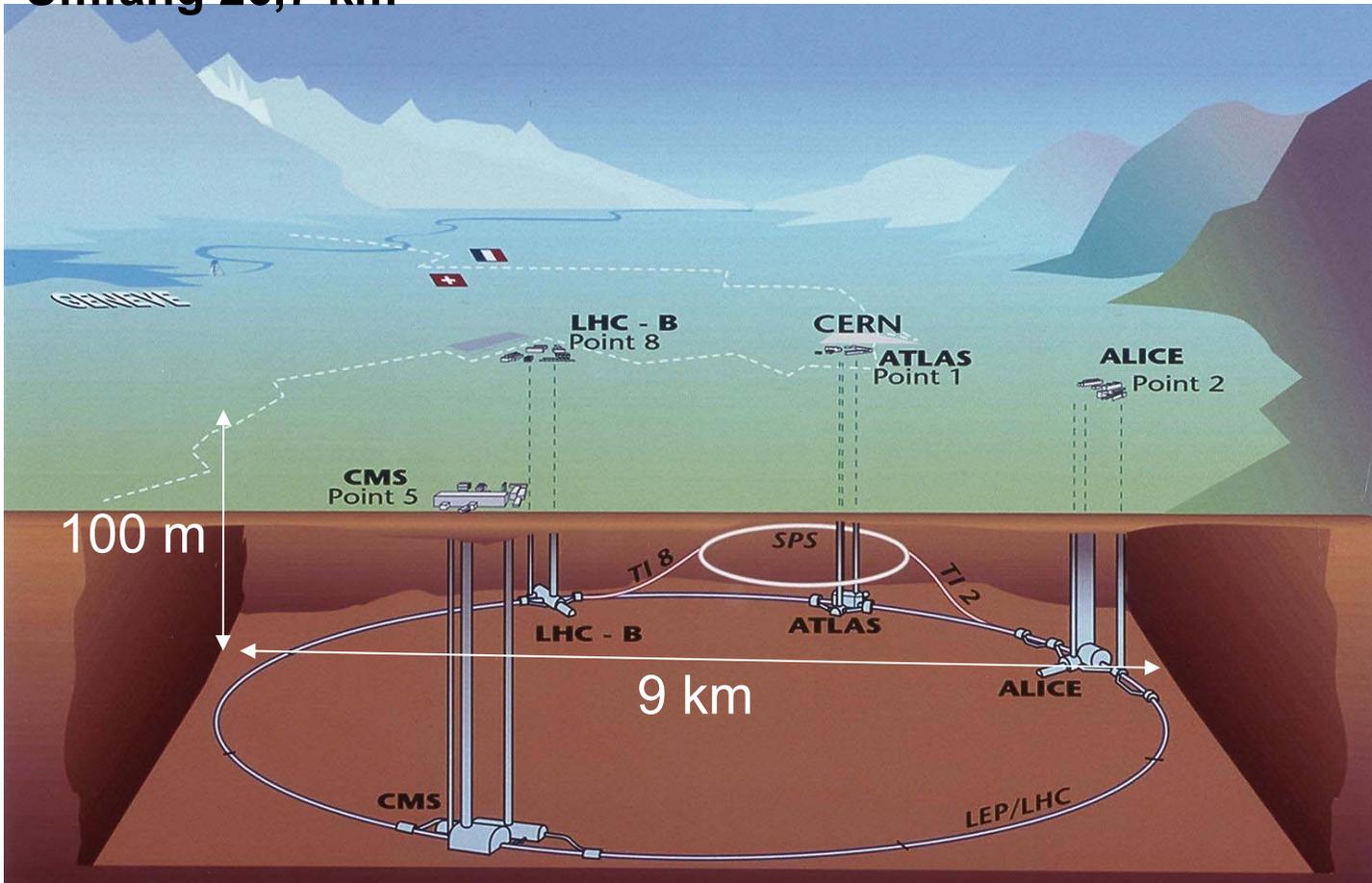


**ALICE**  
Quark-Gluon-  
Plasma





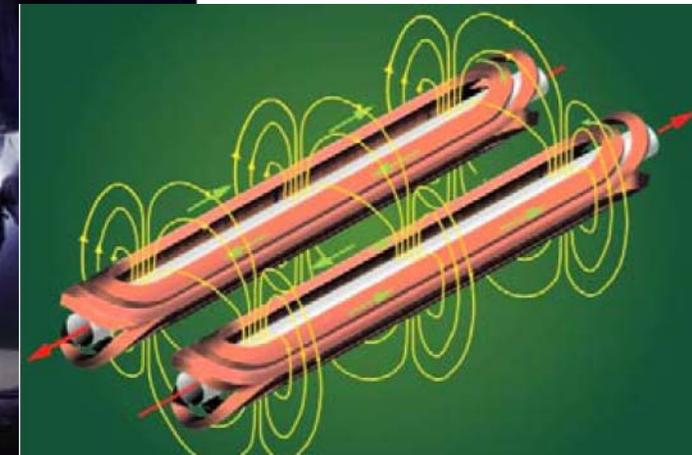
**Proton-Proton-Kollisionen bei max. 14 TeV**  
**Schwerpunktsenergie**  
**Kollisionsraten bis  $10^9/s$**   
**Umfang 26,7 km**



**Die Strahlen haben die Energie eines ICE in voller Fahrt (360 MJ) !**



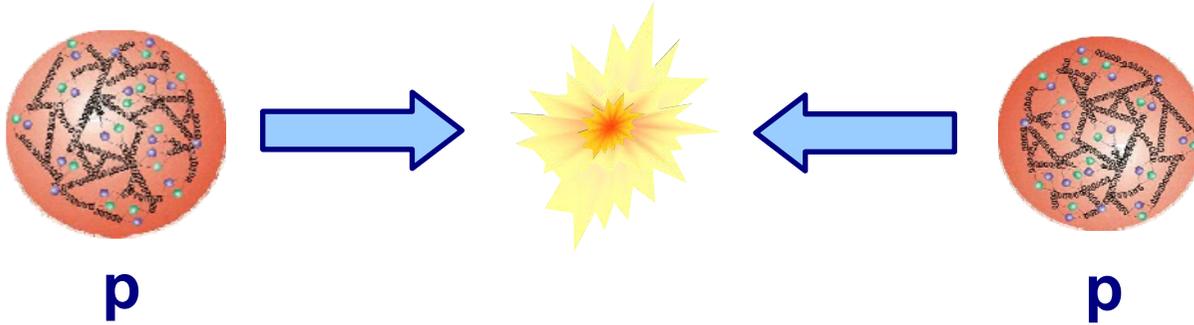
- Magnetfeld von 8,3 Tesla
- insgesamt 1232 Stück, 15 m lang
- 270'000 km Kabelstränge mit 6400  $7\mu\text{m}$  dicken supraleitenden Filamenten
- Strom von 11'700 A
- Betriebstemperatur von 1.9 K



**Abkühlung durch 120 Tonnen suprafluides Helium**

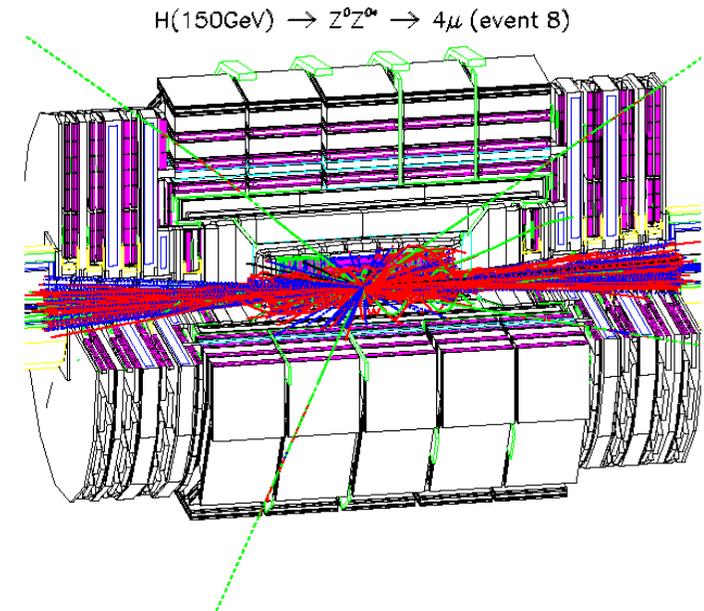
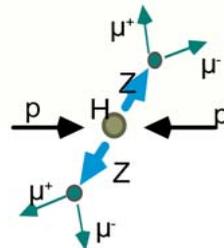


Insgesamt  
30.000 km  
Transportweg

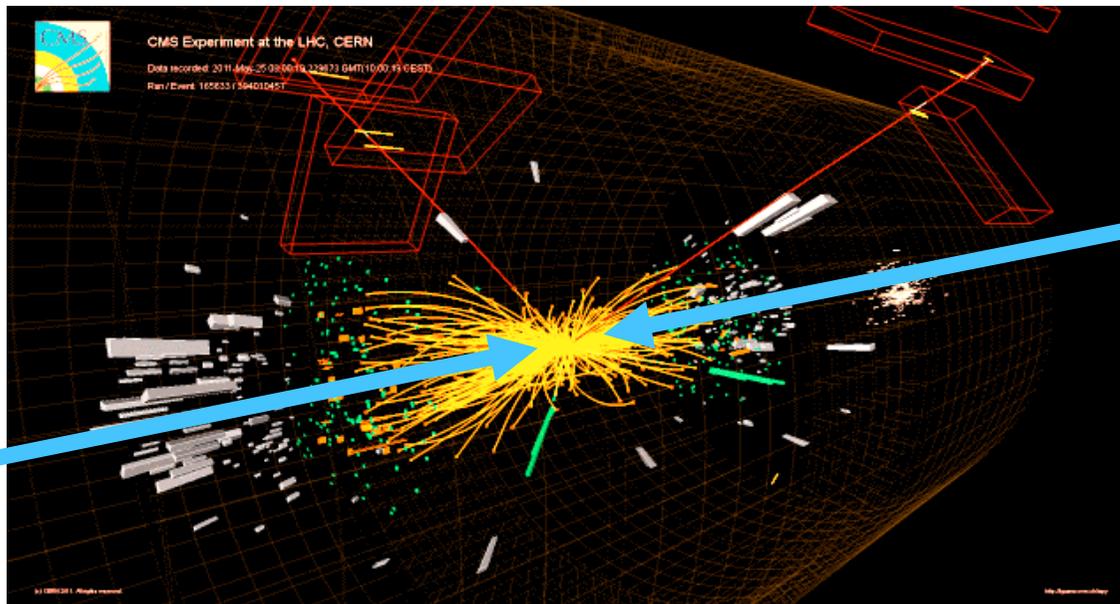


- Die meisten Kollisionen sind „Streifschüsse“.
- Bei den Kollisionen entstehen sehr viele Sekundärteilchen (bis >150).
- Darin können die Zerfallsprodukte eines Higgs-Boson enthalten sein.
- In einer Aufnahme („Ereignis“) können bis zu 70 Kollisionen enthalten sein.
- Die Aufnahmen erfolgen mit 40 MHz.

**Higgs-Bosonen  
entstehen sehr selten!**



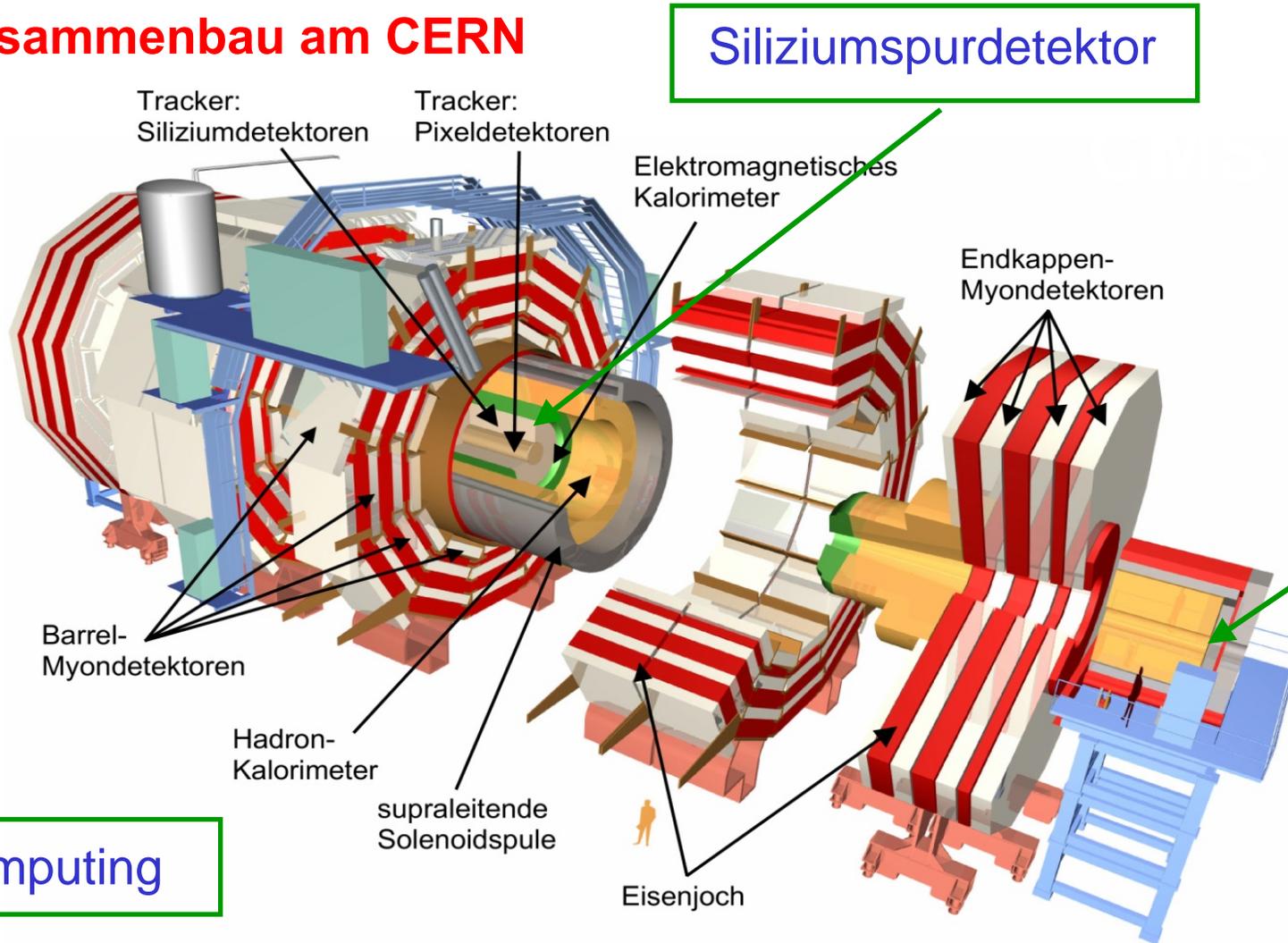
**Für eine Entdeckung  
müssen  $10^{14}$  Kollisionen  
betrachtet werden.**



Nur eine von 5 Milliarden Kollisionen erzeugt ein Higgs-Boson. Nur ein von 10000 Higgs-Bosonen sind nachweisbar.



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



### CMS-Detektor:

25m lang, 16m Höhe  
 14000 Tonnen  
 Nettokosten 550 MSFr  
 =1100

Real

Strahlmonitor

### CMS-Kollaboration:

2310 Wissenschaftler  
 38 Staaten  
 175 Institute



In Deutschland:  
 RWTH Aachen, DESY,  
 U. Hamburg, KIT

IEKP Karlsruhe: 70

Computing

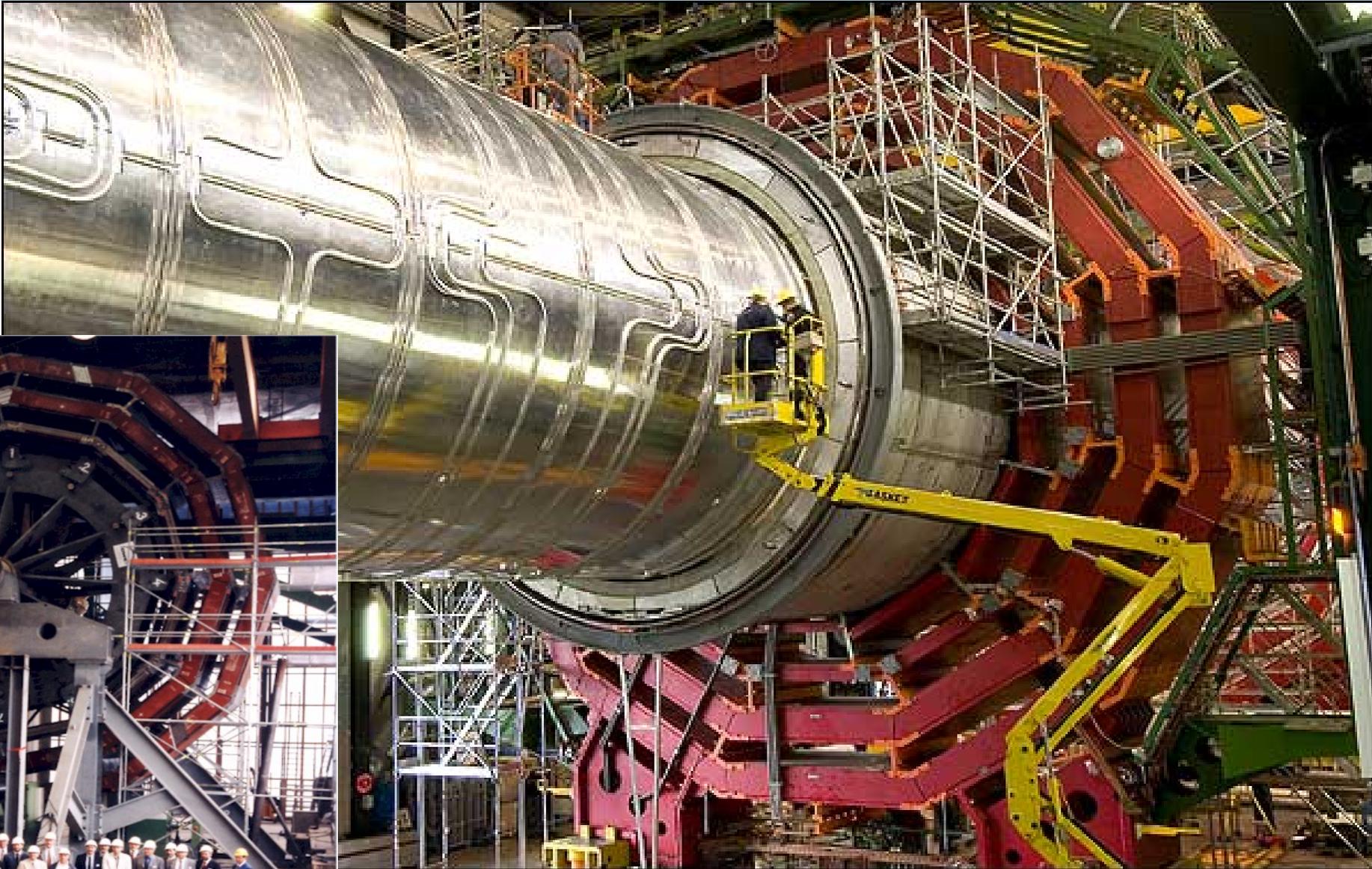
Software / Datenanalyse

NameCMS	NamfCMS	InstCode	CMSId	ActivName	StatusCMS	Projects	PhysicsAccess	Zshflag
Barth	Christan	KARLSRUHE-IEKP	7735	Doctoral Student	CMS	TK	Yes	Yes
Baus	Colin	KARLSRUHE-IEKP	8985	Doctoral Student	CMS	HC	Yes	Yes
Berger	Joram	KARLSRUHE-IEKP	7672	Doctoral Student	CMS	CORE	Yes	Yes
Böser	Christan	KARLSRUHE-IEKP	8394	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Chwalek	Thorsten	KARLSRUHE-IEKP	6572	Physicist	CMS	OFF	Yes	Yes
De Boer	Wim	KARLSRUHE-IEKP	1257	Physicist	CMS	TK	Yes	Yes
Descroix	Alexis	KARLSRUHE-IEKP	7969	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Dierlamm	Alexander	KARLSRUHE-IEKP	3064	Physicist	CMS	TK	Yes	Yes
Dirkes	Guido	KARLSRUHE-IEKP	2988	Physicist	CMS	TK	No	Yes
Doll	Timo	KARLSRUHE-IEKP	8409	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Eber	Robert	KARLSRUHE-IEKP	8552	Doctoral Student	CMS	TK	Yes	Yes
Feindt	Michael	KARLSRUHE-IEKP	1788	Physicist	CMS	GEN	No	No (Exception not possible)
Frensch	Felix	KARLSRUHE-IEKP	8518	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Grusonke	Jasmin	KARLSRUHE-IEKP	6529	Physicist	CMS	TK	No	Yes
Guthoff	Moritz	KARLSRUHE-IEKP	8265	Doctoral Student	CMS	TECH	Yes	Yes
Hackstein	Christoph	KARLSRUHE-IEKP	6628	Doctoral Student	CMS	OFF	Yes	Yes
Hansen	Jens	KARLSRUHE-IEKP	8164	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Hartmann	Frank	KARLSRUHE-IEKP	2929	Physicist	CMS	TK	Yes	Yes
Hauth	Thomas	KARLSRUHE-IEKP	7884	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Heindl	Stefan Michael	KARLSRUHE-IEKP	7590	Doctoral Student	CMS		No	Yes
Heinrich	Michael	KARLSRUHE-IEKP	6050	Physicist	CMS	OFF	Yes	Yes
Heitz	Stefan	KARLSRUHE-IEKP	9110	Non-Doctoral Student	CMS	OFF	No	Yes
Held	Hauke	KARLSRUHE-IEKP	7274	Doctoral Student	CMS	DAQ	Yes	Yes
Hoffmann	Karl-Heinz	KARLSRUHE-IEKP	6501	Doctoral Student	CMS	TK	Yes	Yes
Hoss	Jan	KARLSRUHE-IEKP	9111	Non-Doctoral Student	CMS	OFF	No	Yes
Husemann	Ulrich	KARLSRUHE-IEKP	5414	Physicist	CMS	CORE	Yes Exception	Yes
Katkov	Igor	KARLSRUHE-IEKP	6367	Physicist	CMS	HC	Yes	Yes
Kernert	David	KARLSRUHE-IEKP	8360	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Komaragiri	Jyothsna Rani	KARLSRUHE-IEKP	7799	Physicist	CMS	TRG	Yes	Yes
Kommayer	Andreas	KARLSRUHE-IEKP	8988	Doctoral Student	CMS	TK	Yes	Yes
Kuhr	Thomas	KARLSRUHE-IEKP	6764	Physicist	CMS	GEN	No	Yes
Lemaire	Simon	KARLSRUHE-IEKP	8353	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Maier	Benedikt	KARLSRUHE-IEKP	9028	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Martschel	Daniel	KARLSRUHE-IEKP	6780	Doctoral Student	CMS	CORE	Yes	Yes
Moi	Xavier	KARLSRUHE-IEKP	8341	Engineer Software	CMS		No	Yes
Mueller	Steffen	KARLSRUHE-IEKP	5878	Doctoral Student	CMS	TECH	Yes	Yes
Müller	Thomas	KARLSRUHE-IEKP	8659	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Müller	Thomas	KARLSRUHE-IEKP	635	Physicist	CMS	RUN	Yes	Yes
Niegel	Martin	KARLSRUHE-IEKP	5337	Physicist	CMS	GEN	Yes	Yes
Nürnberg	Andreas	KARLSRUHE-IEKP	8443	Doctoral Student	CMS		Yes	Yes
Oberst	Oliver	KARLSRUHE-IEKP	5652	Physicist	CMS	OFF	Yes	Yes
Oehler	Andreas	KARLSRUHE-IEKP	5141	Physicist	CMS	CORE	Yes	Yes
Ott	Jochen	KARLSRUHE-IEKP	6827	Doctoral Student	CMS	OFF	Yes	Yes
Pefffer	Thomas	KARLSRUHE-IEKP	6632	Physicist	CMS	TK	Yes	Yes
Pfeffer	Olga	KARLSRUHE-IEKP	8593	Non-Doctoral Student	CMS		No	No (Exception not possible)

NameCMS	NamfCMS	InstCode	CMSId	ActivName	StatusCMS	Projects	PhysicsAccess	Zshflag
Quast	Gunter	KARLSRUHE-IEKP	3341	Physicist	CMS	CORE	Yes	Yes
Rabbertz	Klaus	KARLSRUHE-IEKP	3953	Physicist	CMS	GEN	Yes	Yes
Rabnikov	Fedor	KARLSRUHE-IEKP	5095	Physicist	CMS	CORE	Yes	Yes
Rabnikova	Natalia	KARLSRUHE-IEKP	3265	Engineer Software	CMS	CORE	Yes	Yes
Renz	Manuel	KARLSRUHE-IEKP	6993	Physicist	CMS	TK	No	Yes
Riedel	Stephan	KARLSRUHE-IEKP	8411	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Röcker	Steffen	KARLSRUHE-IEKP	7808	Doctoral Student	CMS	CORE	Yes Exception	Yes
Roscher	Frank	KARLSRUHE-IEKP	8667	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Schädler	Nena	KARLSRUHE-IEKP	7242	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Schieferdecker	Philipp	KARLSRUHE-IEKP	5833	Physicist	CMS	DAQ	No	Yes
Schilling	Frank-Peter	KARLSRUHE-IEKP	4934	Physicist	CMS	RUN	Yes	Yes
Schmidt	Gernard	KARLSRUHE-IEKP	7874	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Schoft	Gregory	KARLSRUHE-IEKP	6114	Physicist	CMS	OFF	Yes	Yes
Serr	Thorsten	KARLSRUHE-IEKP	8522	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Simonis	Hans-Jürgen	KARLSRUHE-IEKP	1327	Physicist	CMS	TK	Yes	Yes
Spannagel	Simon	KARLSRUHE-IEKP	9112	Non-Doctoral Student	CMS	OFF	No	Yes
Stober	Fred-Markus Helmut	KARLSRUHE-IEKP	6543	Doctoral Student	CMS	OFF	Yes	Yes
Theel	Andreas	KARLSRUHE-IEKP	2036	Engineer Mechanical	CMS	TK	No	No (Exception not possible)
Troendle	Daniel	KARLSRUHE-IEKP	7265	Doctoral Student	CMS	GEN	Yes	Yes
Ulrich	Ralf	KARLSRUHE-IEKP	8359	Physicist	CMS	GEN	Yes Exception	Yes
Wagner-Kuhr	Jeanline	KARLSRUHE-IEKP	6637	Physicist	CMS	RUN	Yes	Yes
Wayand	Stefan	KARLSRUHE-IEKP	8270	Non-Doctoral Student	CMS		Yes Exception	Yes
Weiler	Thomas	KARLSRUHE-IEKP	2854	Physicist	CMS	TK	Yes	Yes
Wöhrmann	Clemens	KARLSRUHE-IEKP	8775	Doctoral Student	CMS		Yes	Yes
Zaise	Manuel	KARLSRUHE-IEKP	6177	Physicist	CMS	OFF	Yes	Yes
Zelssler	Stefan	KARLSRUHE-IEKP	9167	Non-Doctoral Student	CMS	OFF	Yes	Yes
Ziada	Marian	KARLSRUHE-IEKP	7842	Engineer Software	CMS	CORE	No	Yes

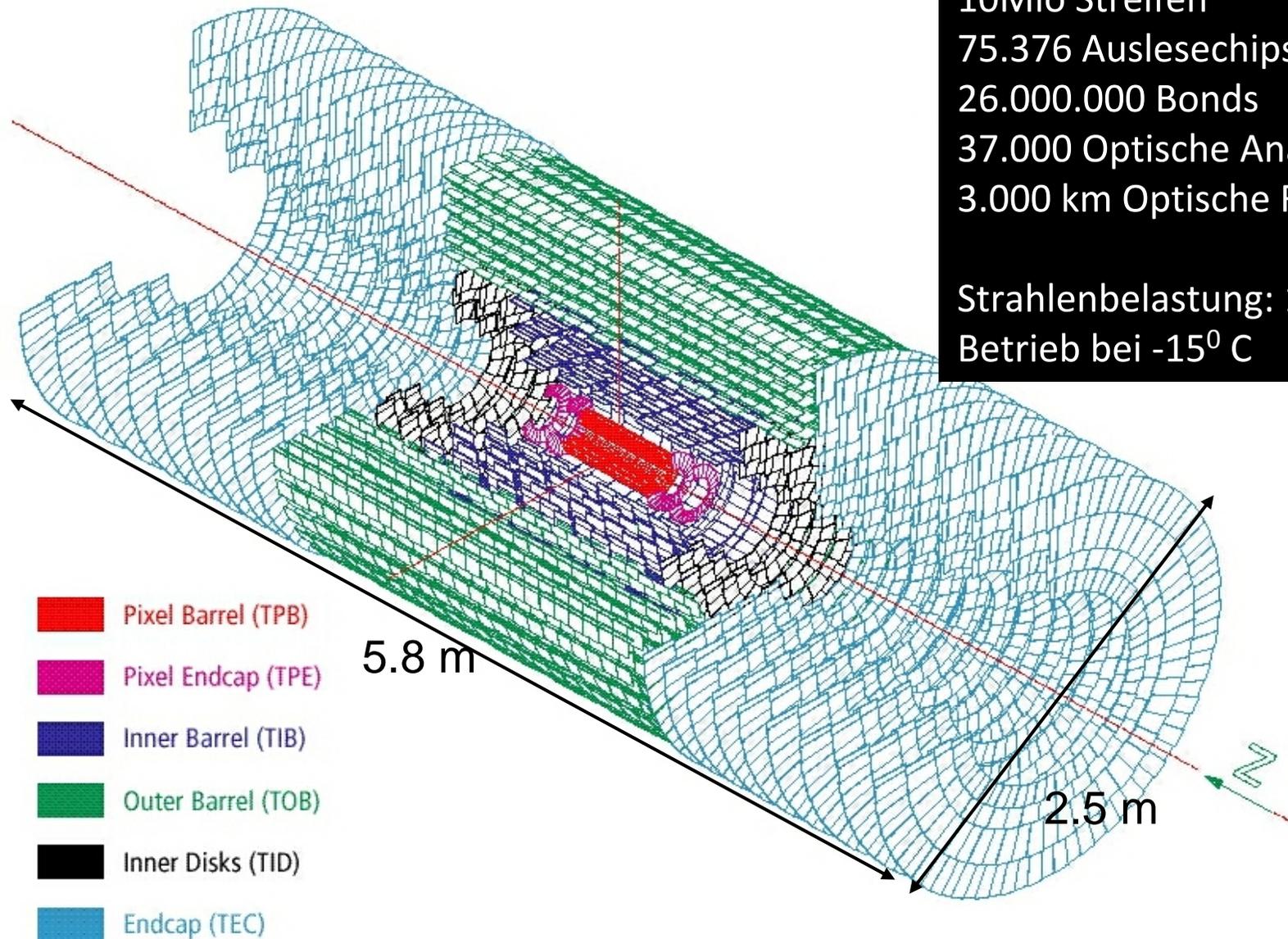


Einschub der  
inneren  
Kryostatwand



Bau des Eisenjochs in der DWE-Werft

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



206 m<sup>2</sup> (Streifen) + 1 m<sup>2</sup> (Pixel)

25.000 Siliziumsensoren

10Mio Streifen

75.376 Auslesechips

26.000.000 Bonds

37.000 Optische Analogverbindungen

3.000 km Optische Fibern

Strahlenbelastung:  $10^{13} - 10^{15} n_{eq}/cm^2$

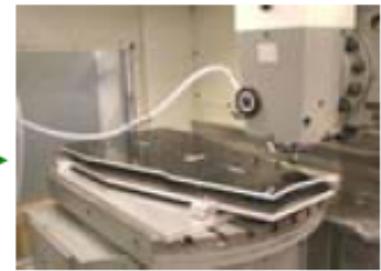
Betrieb bei -15<sup>0</sup> C



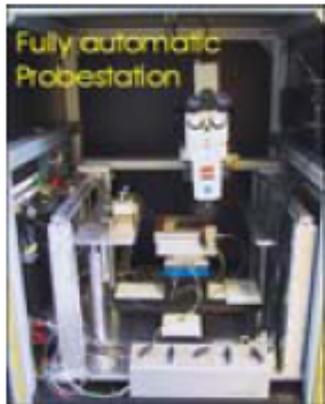
Wirebonding of 900 modules



Electronic test of modules



Precision machining of Detector supports



Quality controle of 8000 sensors



Insertion of tracker into CMS



Assembly of supermodules (petals)



Pilot center for petal tests



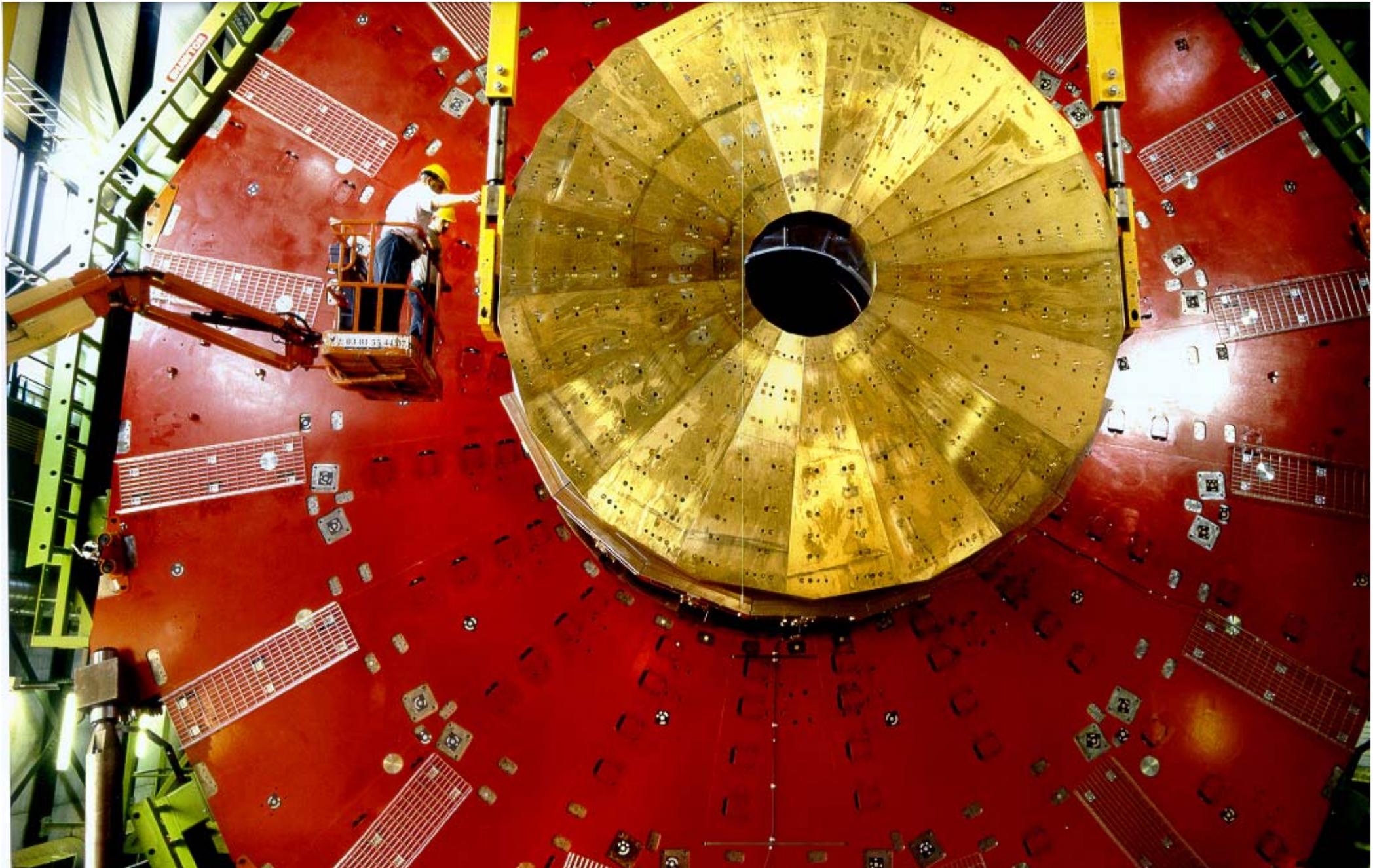
Test of radiation hardness at cyclotron



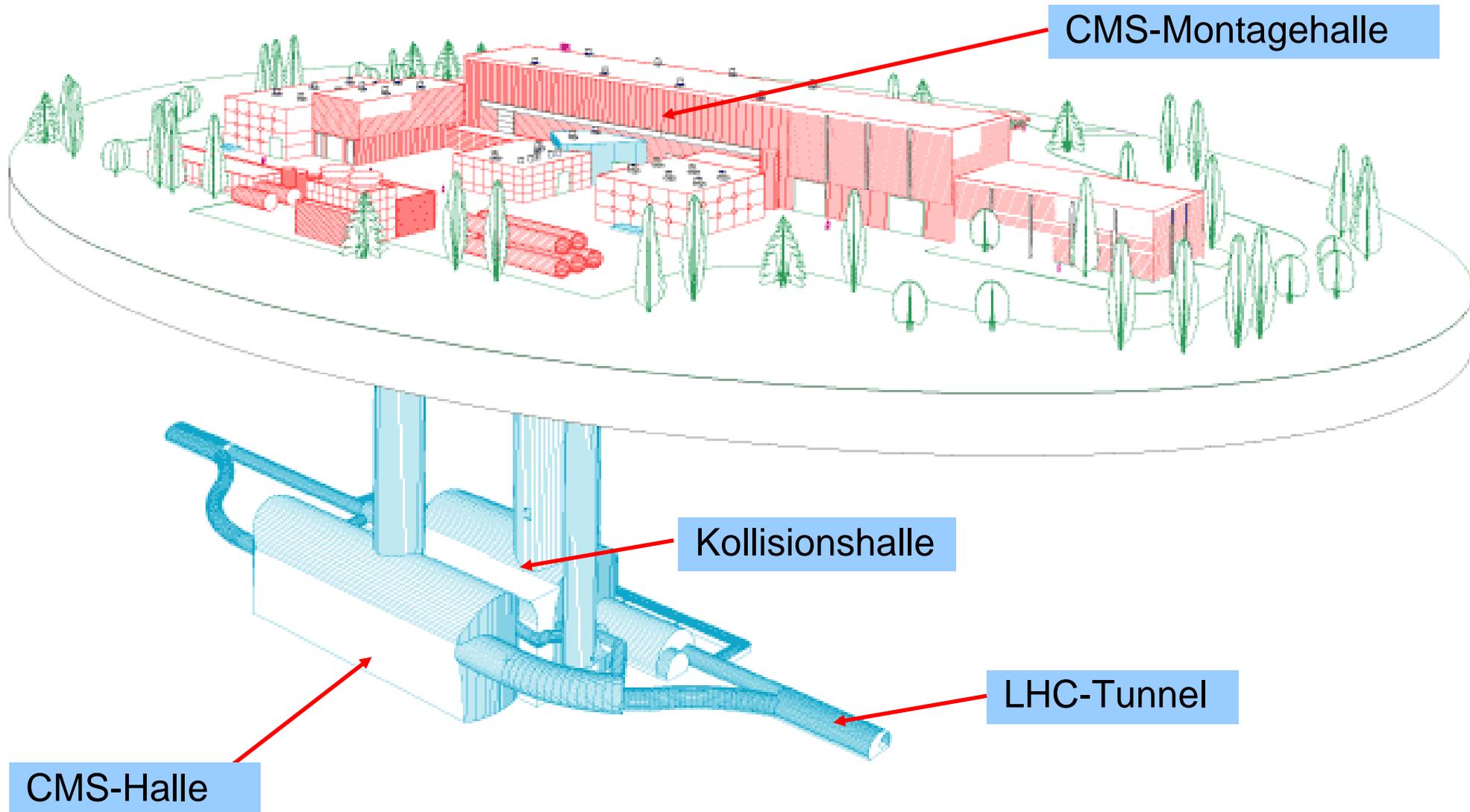
Assembly of tracker



IEKP: Construction of 102 Petals for tracker (30%)



**Auf dem Papier...**



...im Bau

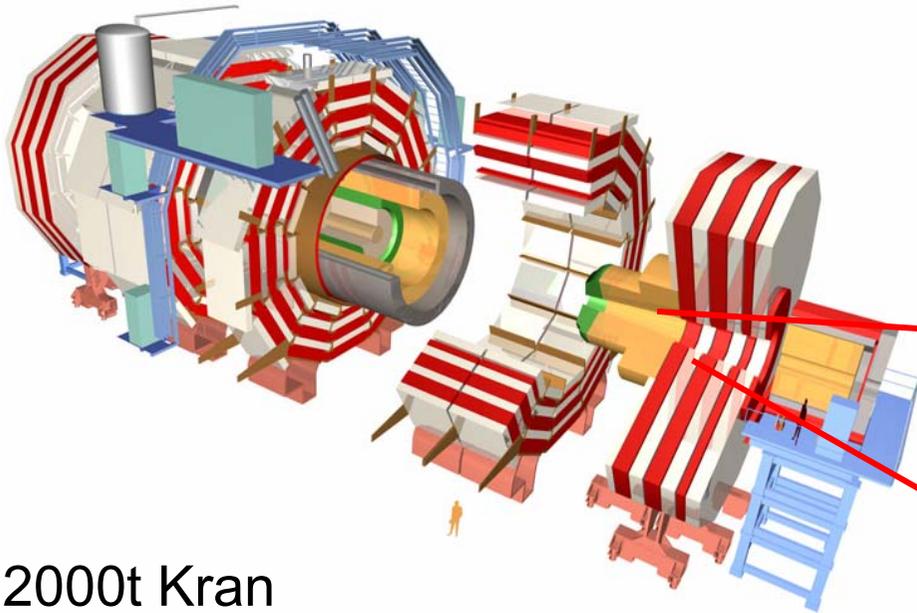


Jan 1999

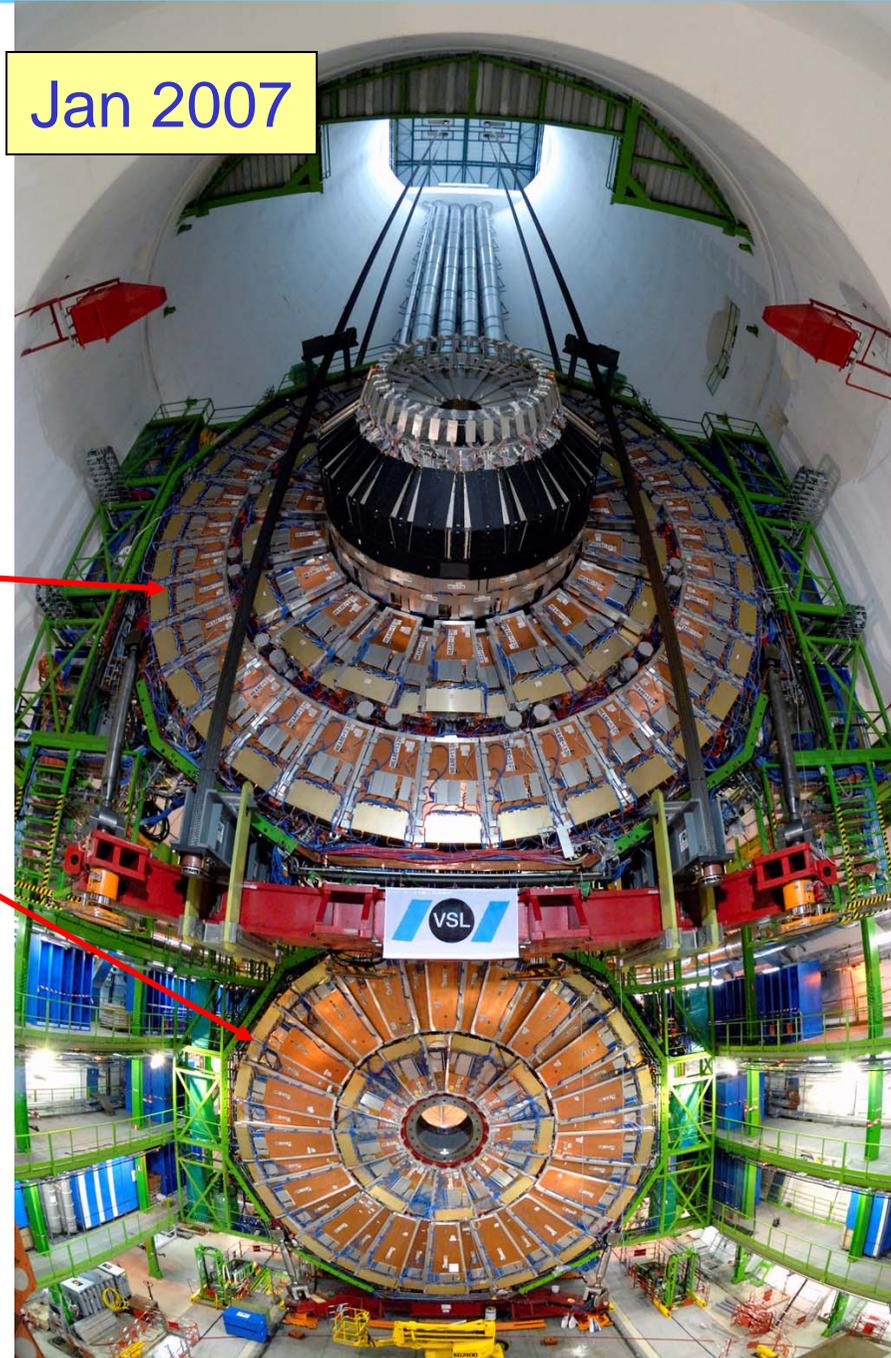


## Absenken einer Endkappe

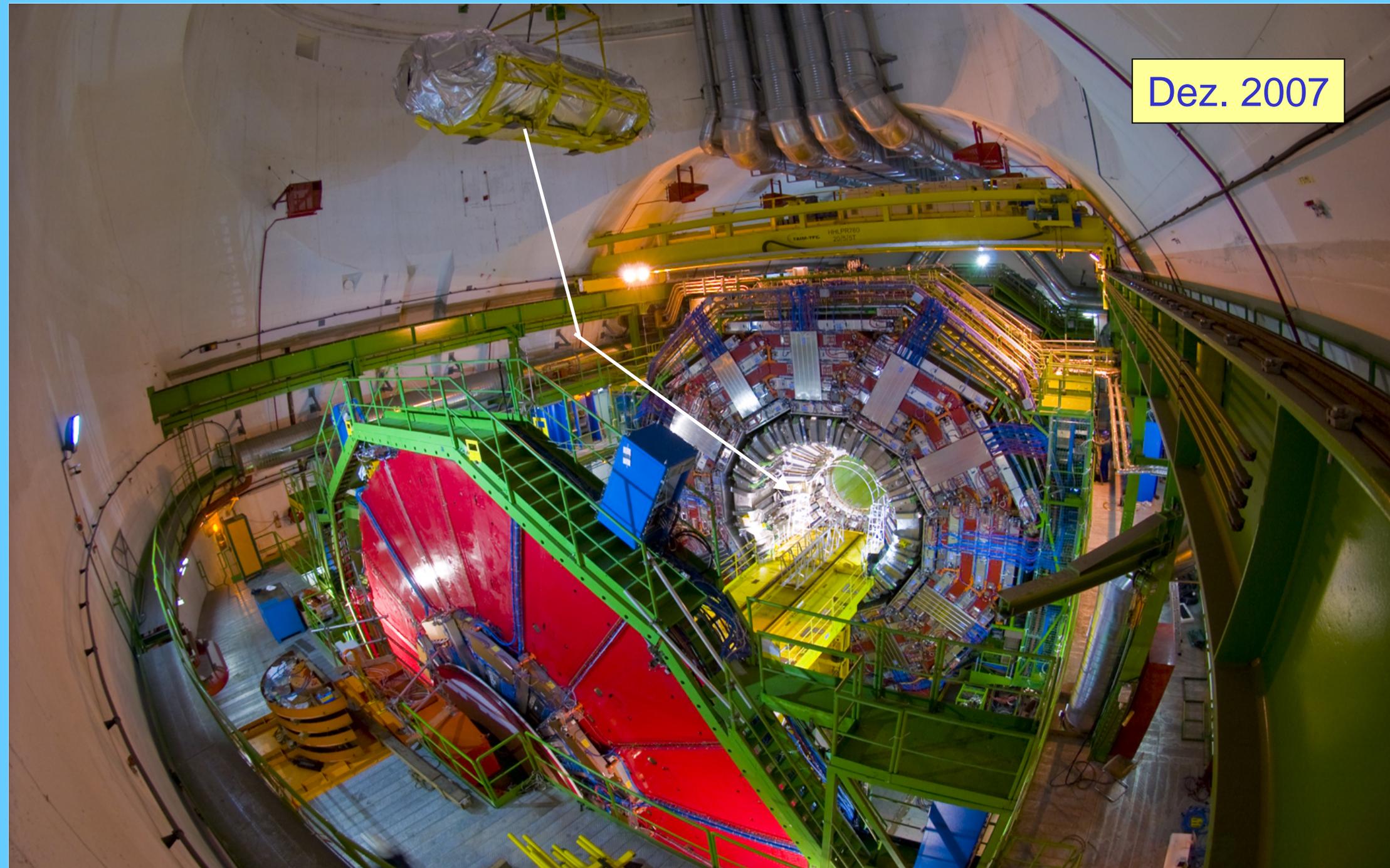
Jan 2007

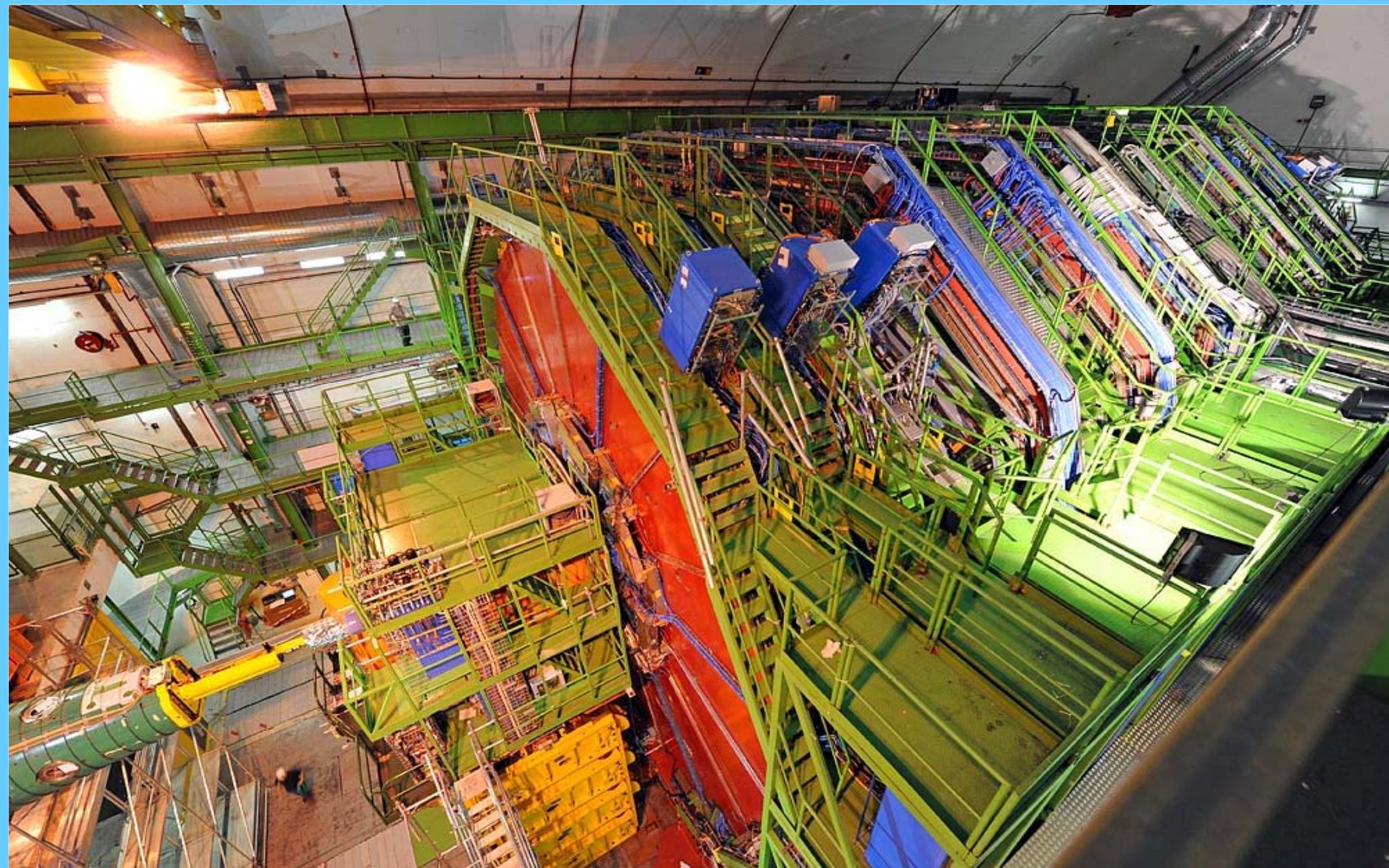


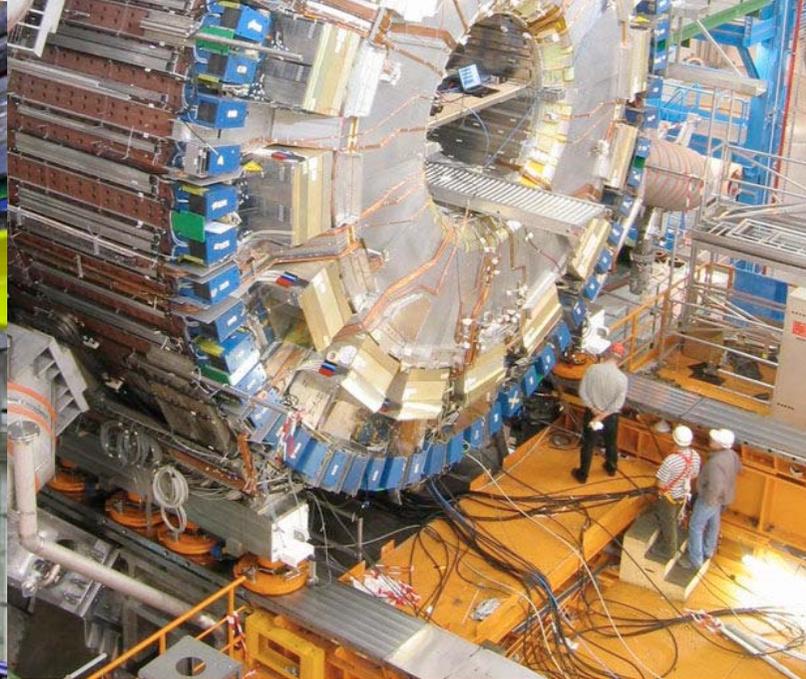
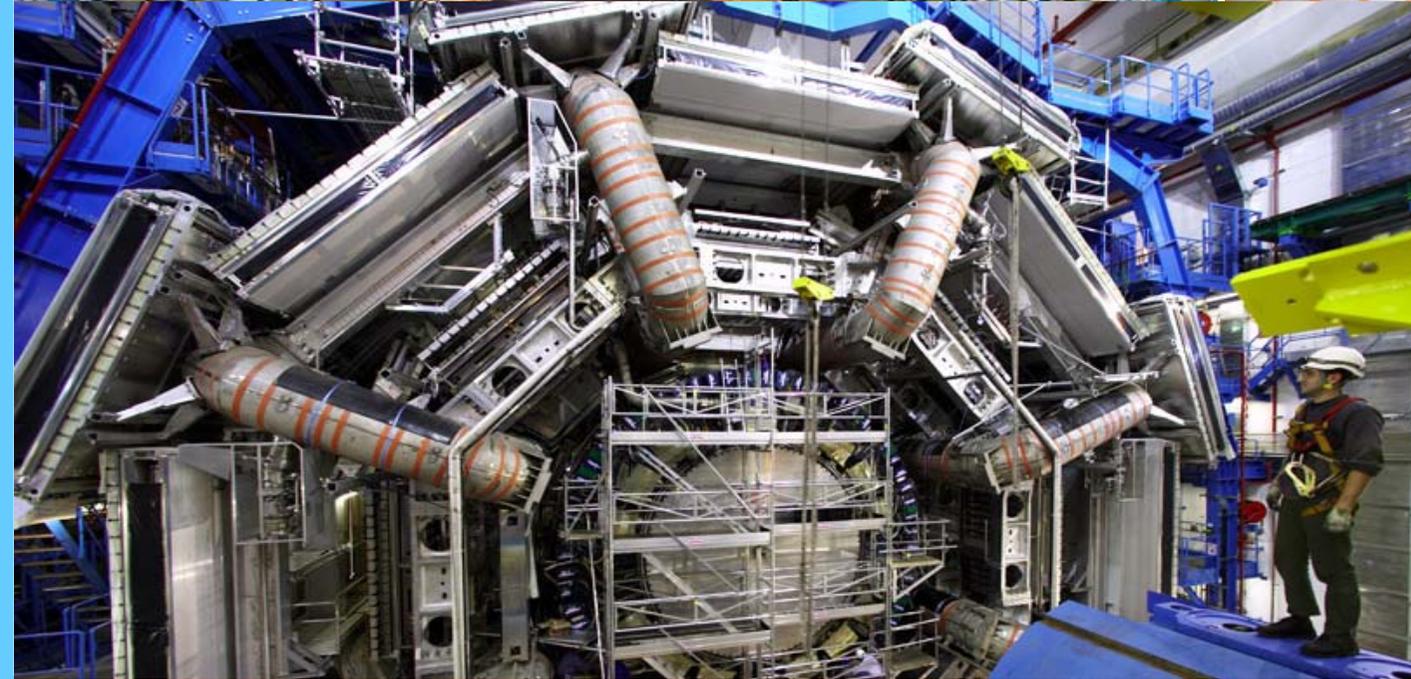
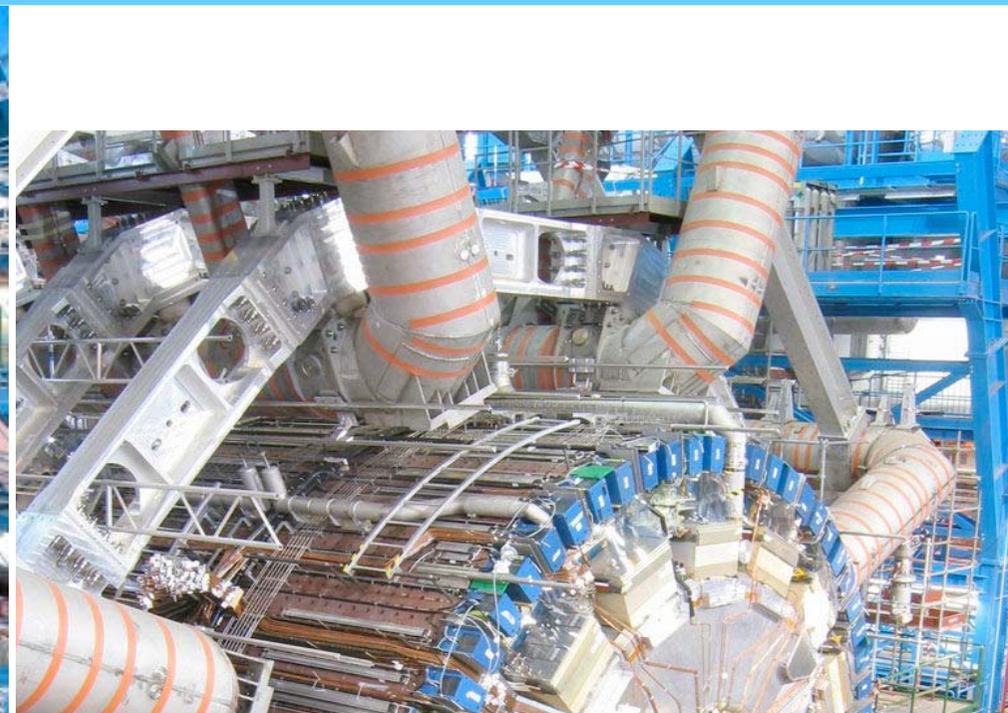
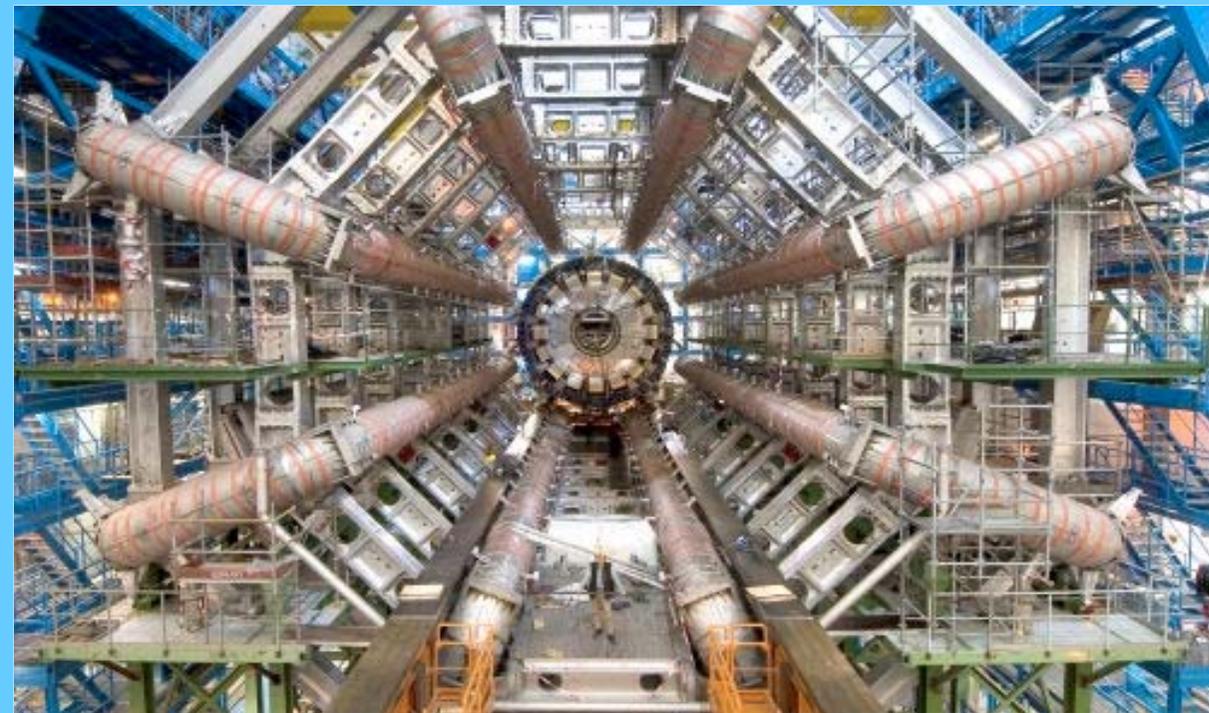
2000t Kran

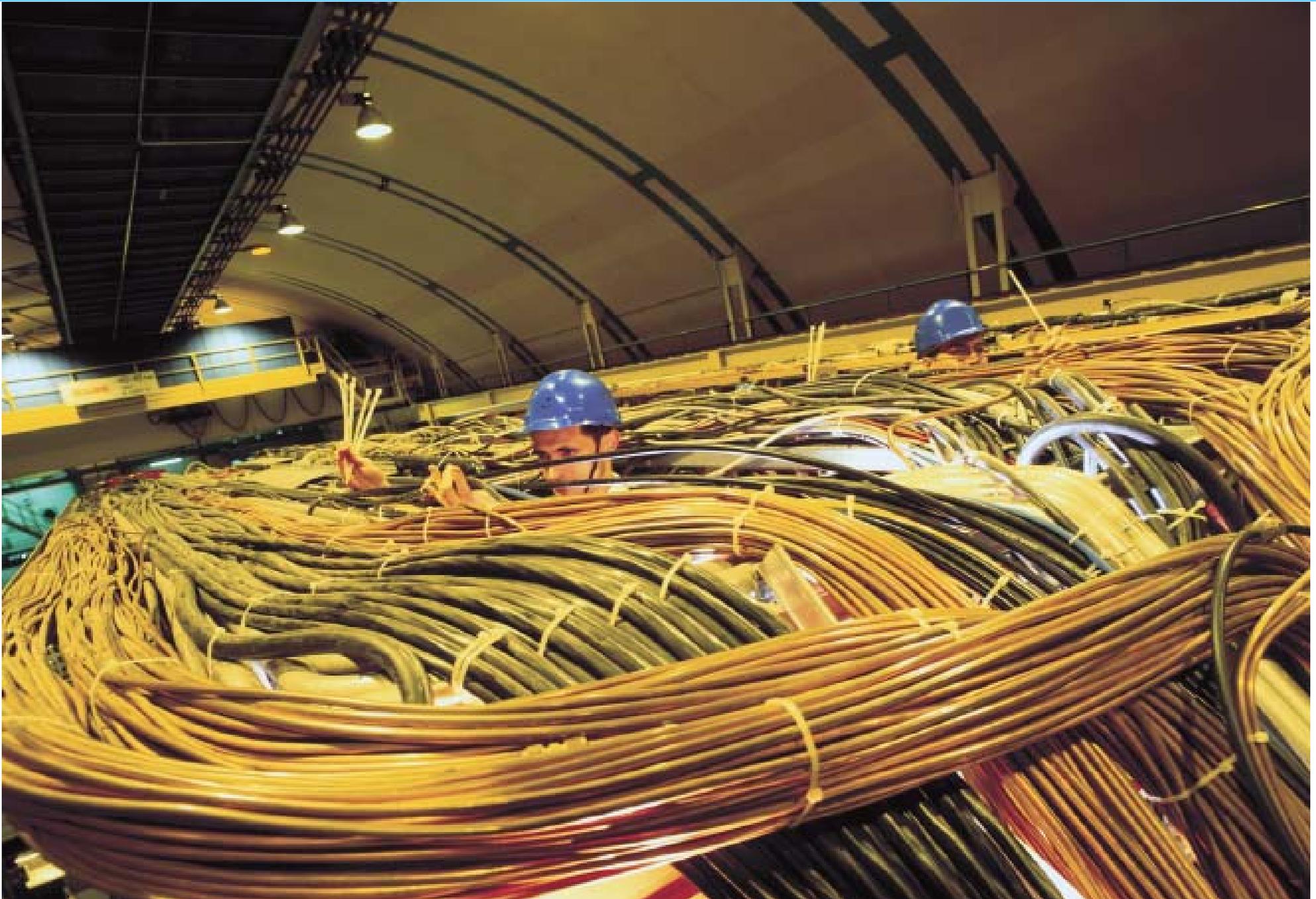


Dez. 2007





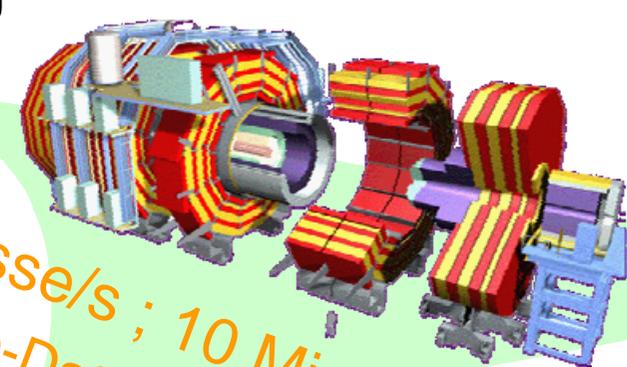




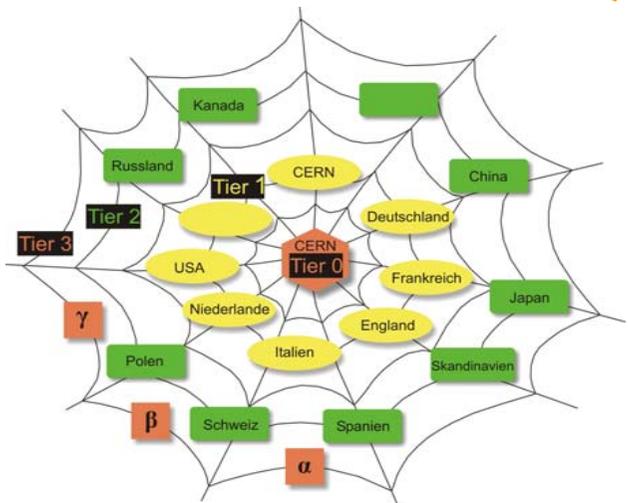
Am CERN wurde das World-Wide Web erfunden.

Das Grid ist eine Weiterentwicklung

40 MHz ;  $10^9$  Ereignisse/s ; 10 Mio Kanäle  $\Rightarrow$  1 PetaByte/s  
 Online-Datenreduktion  
 Datenspeicherung



100 Hz  
 ~1PetaByte/Jahr  
 (1,4 Millionen CD)



**KIT: GridKa (Tier 1)**

CampusGrid (Tier 2-3)

**LÖSUNG: DAS GRID**

## Neuronale Netze

moderne statistische Methoden:  
Entwicklung von NeuroBayes®

### NeuroBayes® Teacher

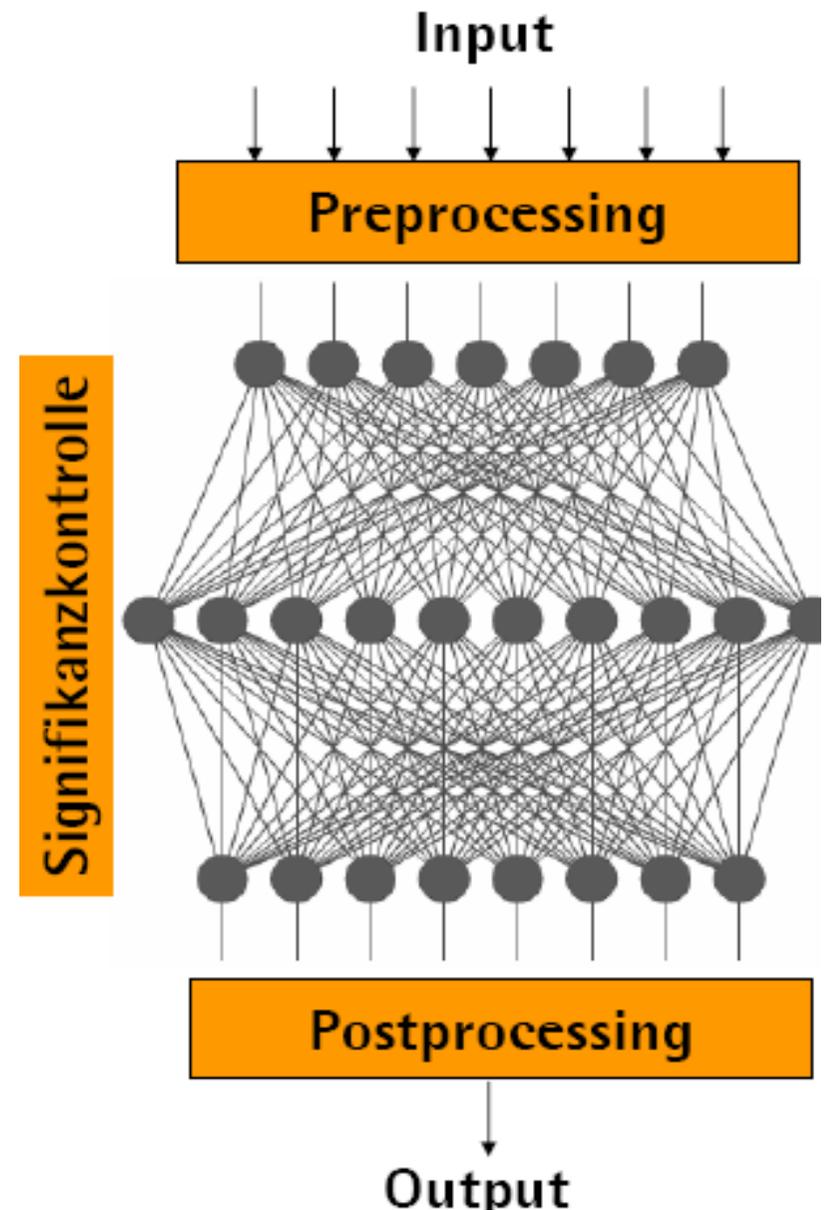
Lernen von komplizierten  
Zusammenhängern aus  
bestehenden Datenbanken

### NeuroBayes® Expert

Prognosen für unbekannte Daten

### erfolgreiche Anwendungen:

- exp. Teilchenphysik (multivariante Analysen (b-tagging bei CDF))
- Risikostudien für Finanzinstitute, Versicherungen,...





Fünf CERN DG waren zuständig und präsent:  
Schopper, Rubbia, Llewellyn Smith, Maiani, Aymar



10 September 2008: LHC Inauguration

cmsShow: rfiio:///castor/cern.ch/cms/store/temp/express/BeamCommissioning09/ExpressPhysics/FEVT/v2/000/122/314/7AAB2A4D-5ED8-DE1

File Edit View Window Help

Delay 3.0s Run 122314 Event 15145452 Mon Nov 23 19:20:55 2009 CEST Lumi block id: 25

Event Filtering is OFF

**FIREWORKS**

Summary View

Add Collection

- ECal
- HCal
- Jets
- Tracks

	pt	eta	phi
<input checked="" type="checkbox"/> Track 0	4.9	-0.2	0.3
<input checked="" type="checkbox"/> Track 1	5.0	-0.1	0.2
<input checked="" type="checkbox"/> Track 2	3.7	-0.8	0.3
<input checked="" type="checkbox"/> Track 3	4.0	-0.7	0.3
<input checked="" type="checkbox"/> Track 4	4.6	-0.4	0.6
<input checked="" type="checkbox"/> Track 5	4.8	-0.3	0.6
<input checked="" type="checkbox"/> Track 6	4.9	-0.2	1.0
<input checked="" type="checkbox"/> Track 7	5.0	-0.1	1.1
<input checked="" type="checkbox"/> Track 8	4.4	-0.5	1.1
<input checked="" type="checkbox"/> Track 9	3.0	-1.1	1.1
<input checked="" type="checkbox"/> Track 10	3.0	-1.1	1.0
<input checked="" type="checkbox"/> Track 11	5.0	-0.1	1.2
<input checked="" type="checkbox"/> Track 12	4.1	-0.7	1.5
<input checked="" type="checkbox"/> Track 13	3.6	-0.9	2.6
<input checked="" type="checkbox"/> Track 14	4.9	-0.2	-2.3
<input checked="" type="checkbox"/> Track 15	3.5	0.9	0.4
<input checked="" type="checkbox"/> Track 16	3.7	0.8	0.7
<input checked="" type="checkbox"/> Track 17	5.0	0.1	0.8
<input checked="" type="checkbox"/> Track 18	3.6	0.8	0.9
<input checked="" type="checkbox"/> Track 19	4.3	0.6	1.4
<input checked="" type="checkbox"/> Track 20	4.6	0.4	1.6
<input checked="" type="checkbox"/> Track 21	3.0	1.1	1.9
<input checked="" type="checkbox"/> Track 22	4.6	0.4	2.3
<input checked="" type="checkbox"/> Track 23	3.6	0.9	-2.0
<input checked="" type="checkbox"/> Track 24	2.8	1.2	-0.1

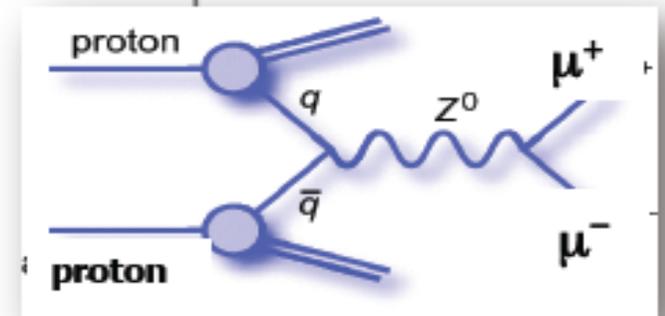
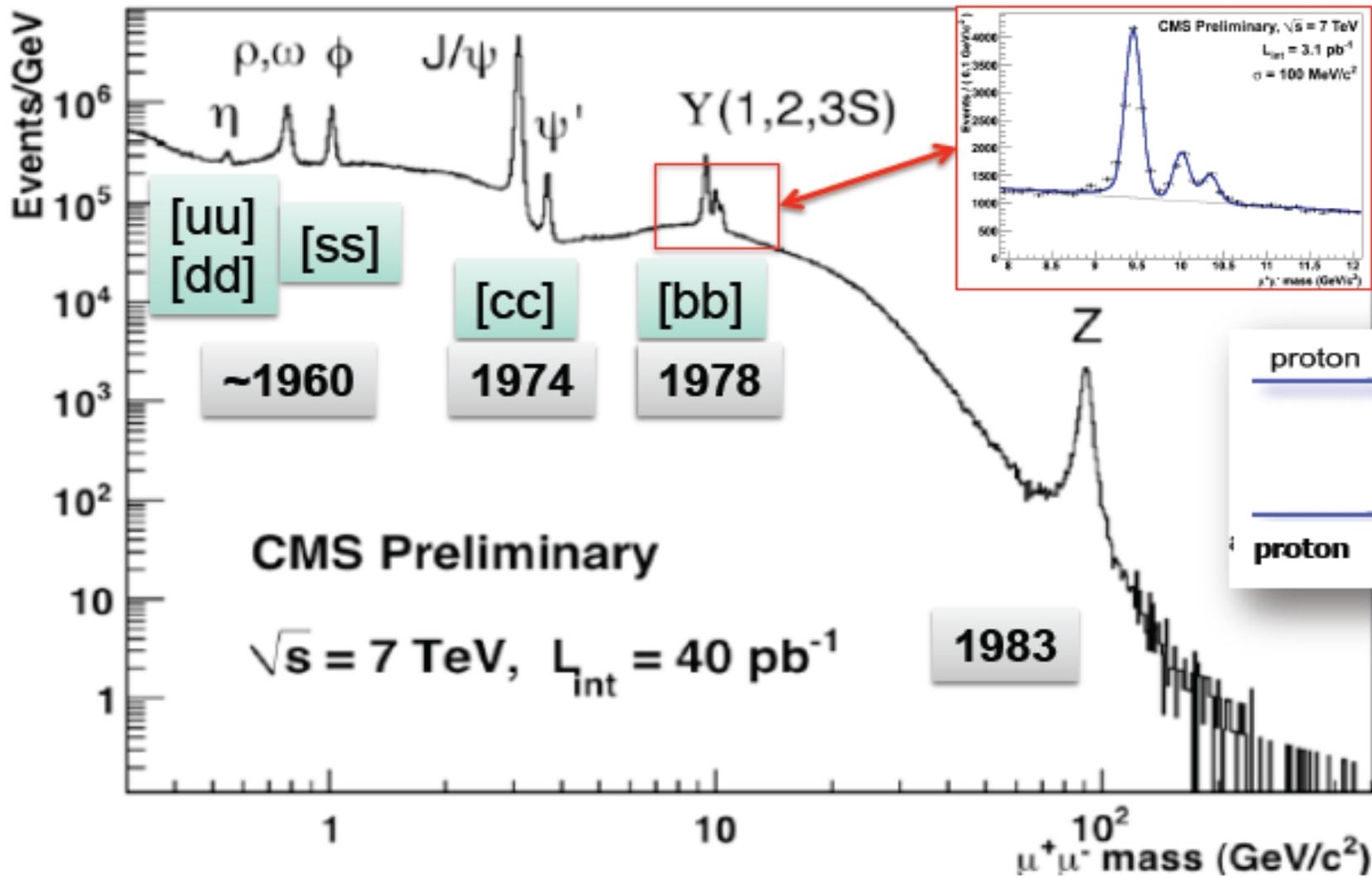
- Muons
- Electrons
- Vertices
- DT-segments
- CSC-segments
- Photons
- MET
- siStripClusters

Views

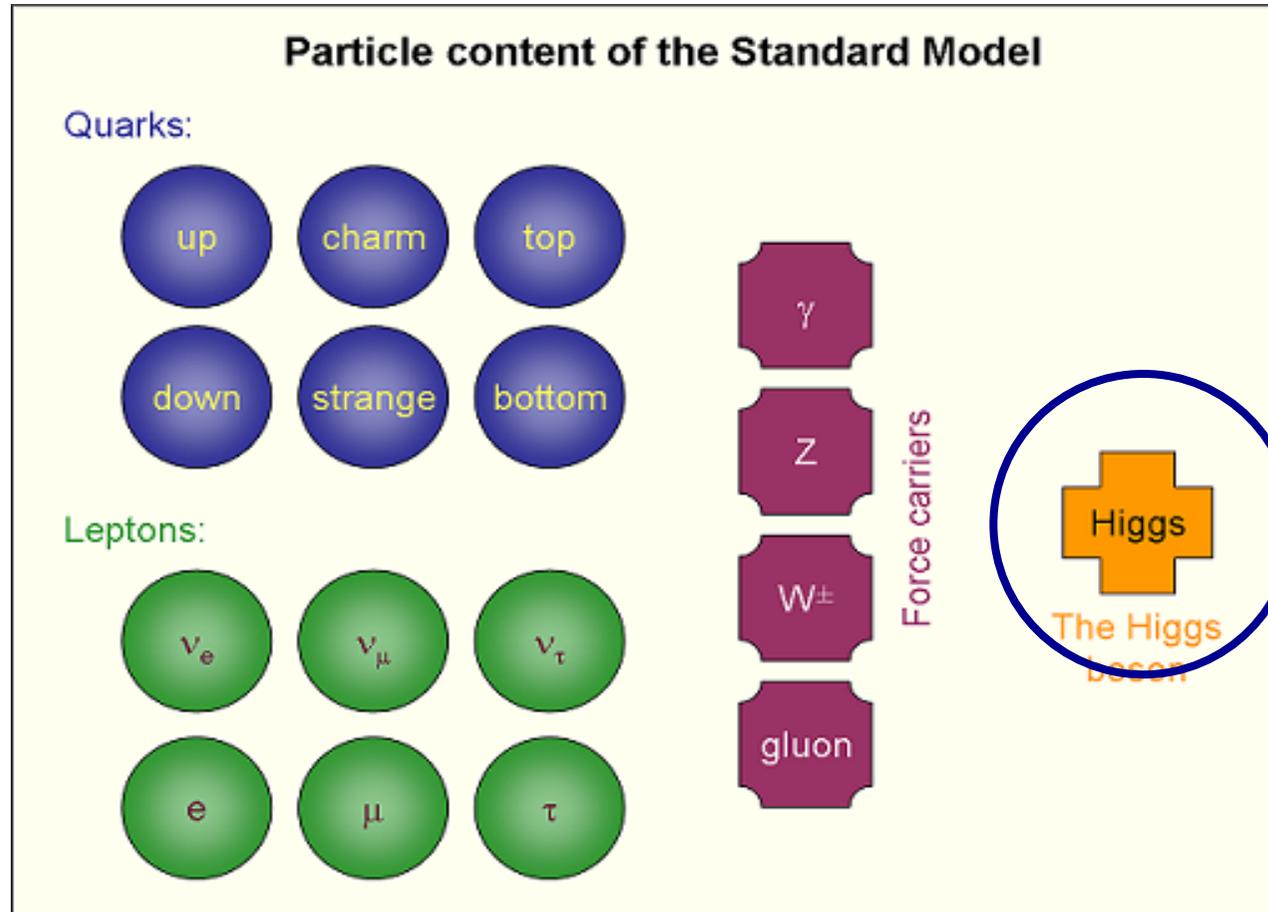
Rho Phi

Rho Z

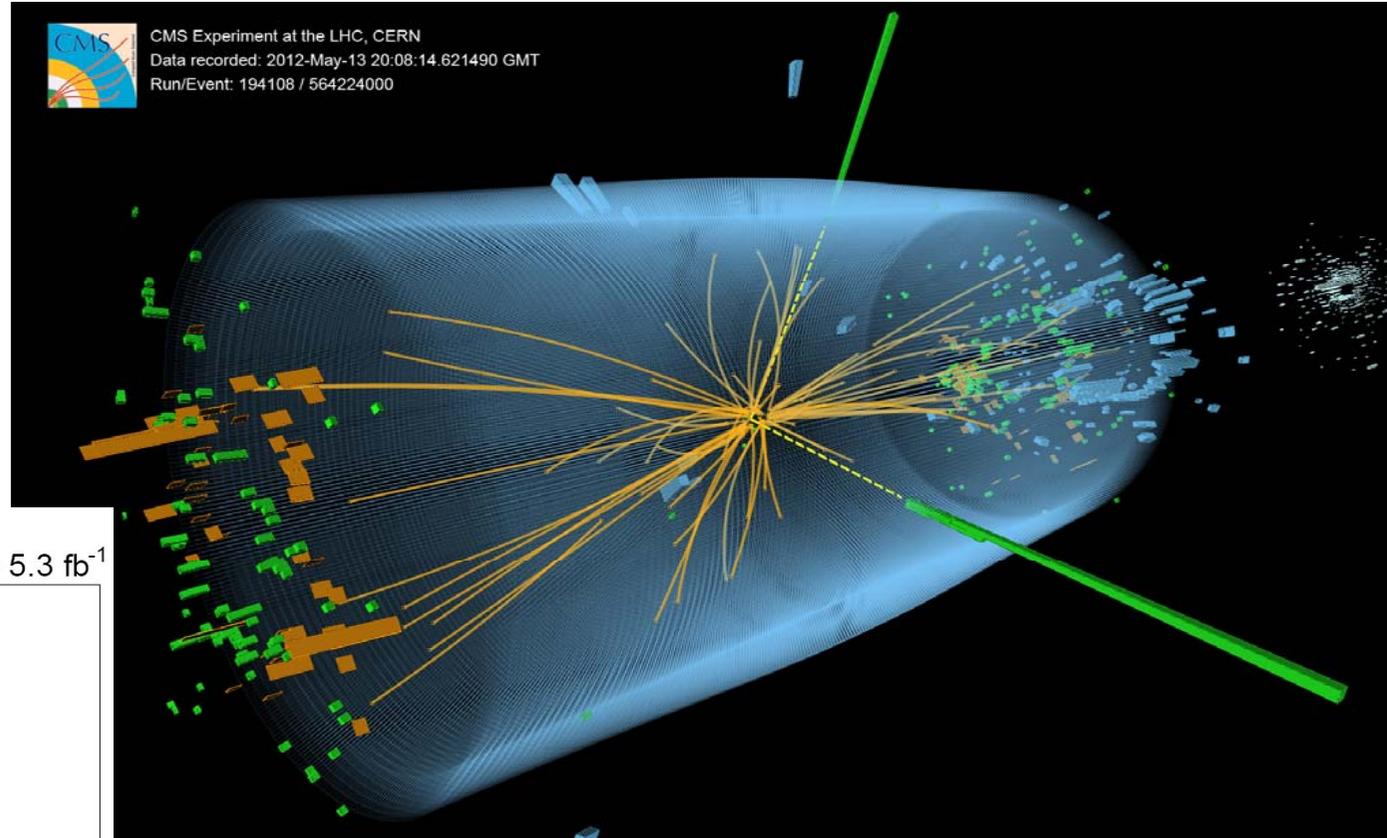
3D



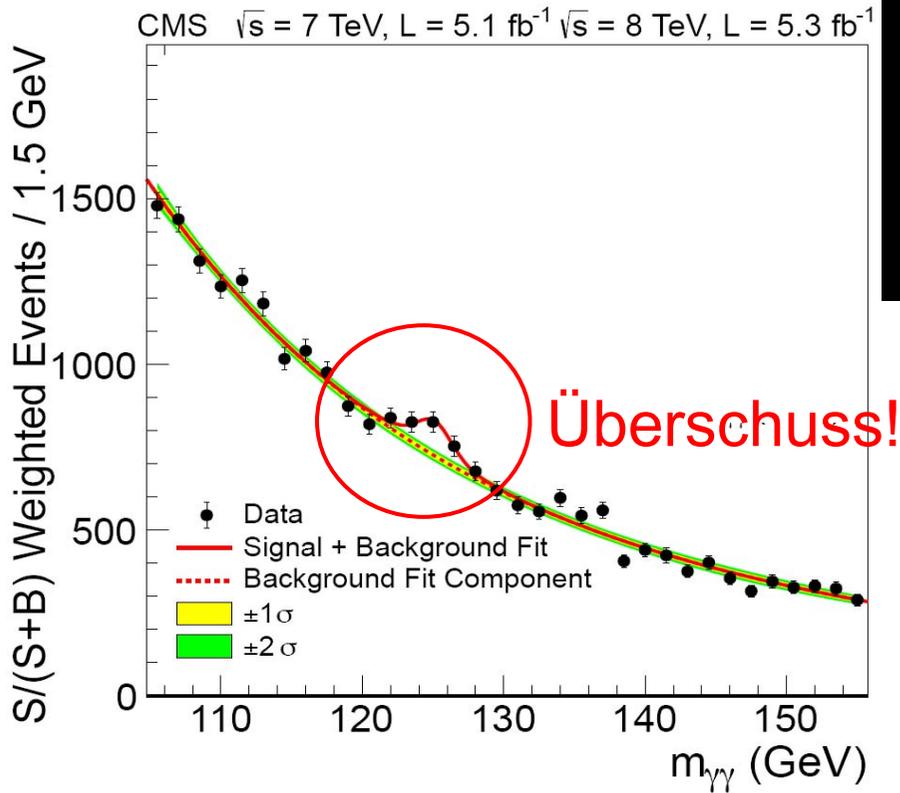
50 Jahre Teilchenphysik wurden in einem Jahr – 2009 – wiederholt!



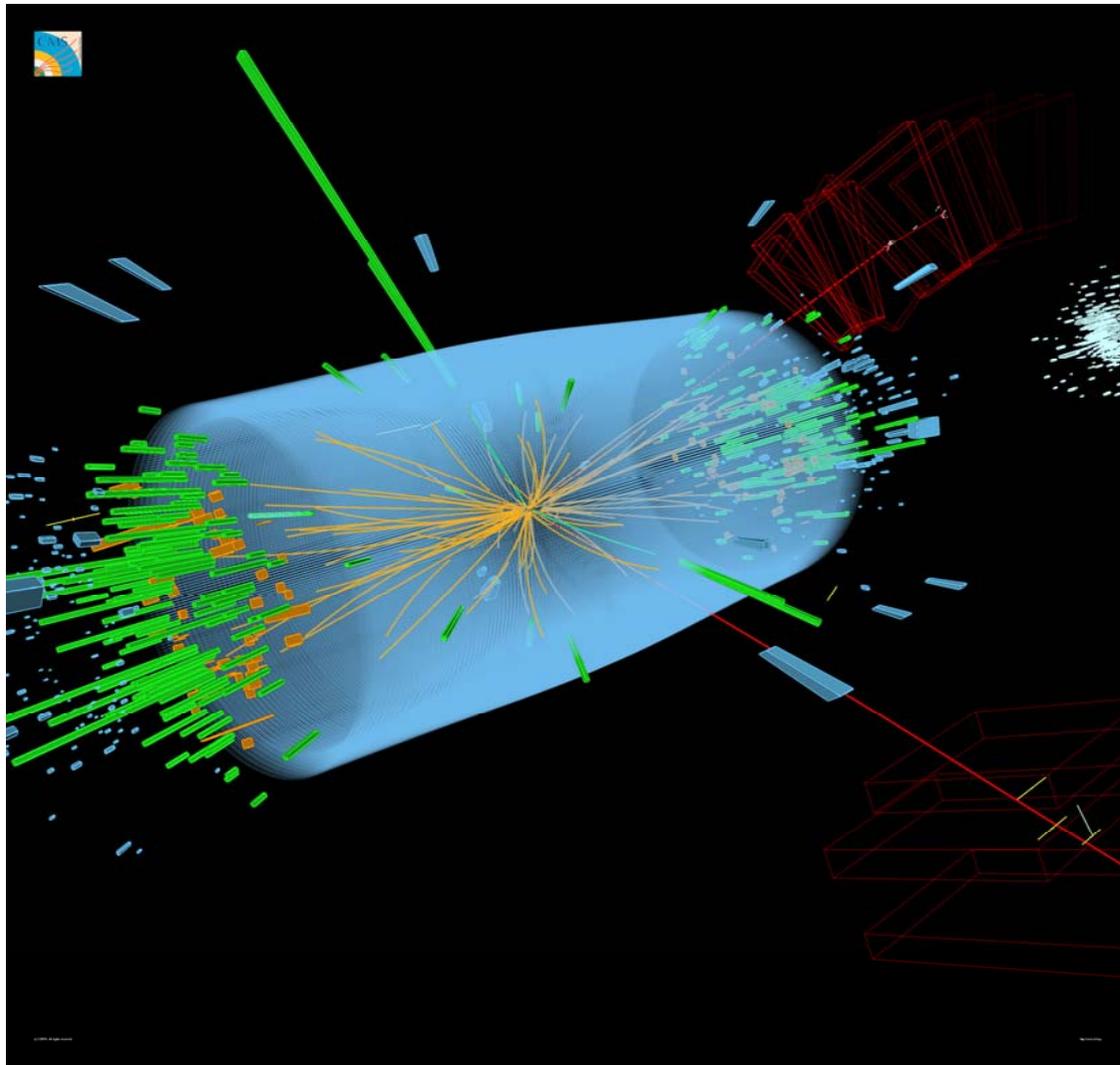
Kandidat für  
 $pp \rightarrow X + H; H \rightarrow \gamma\gamma$



CMS Experiment at the LHC, CERN  
 Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
 Run/Event: 194108 / 564224000



Zahl der Ereignisse mit  $H \rightarrow \gamma\gamma$  - Kandidaten



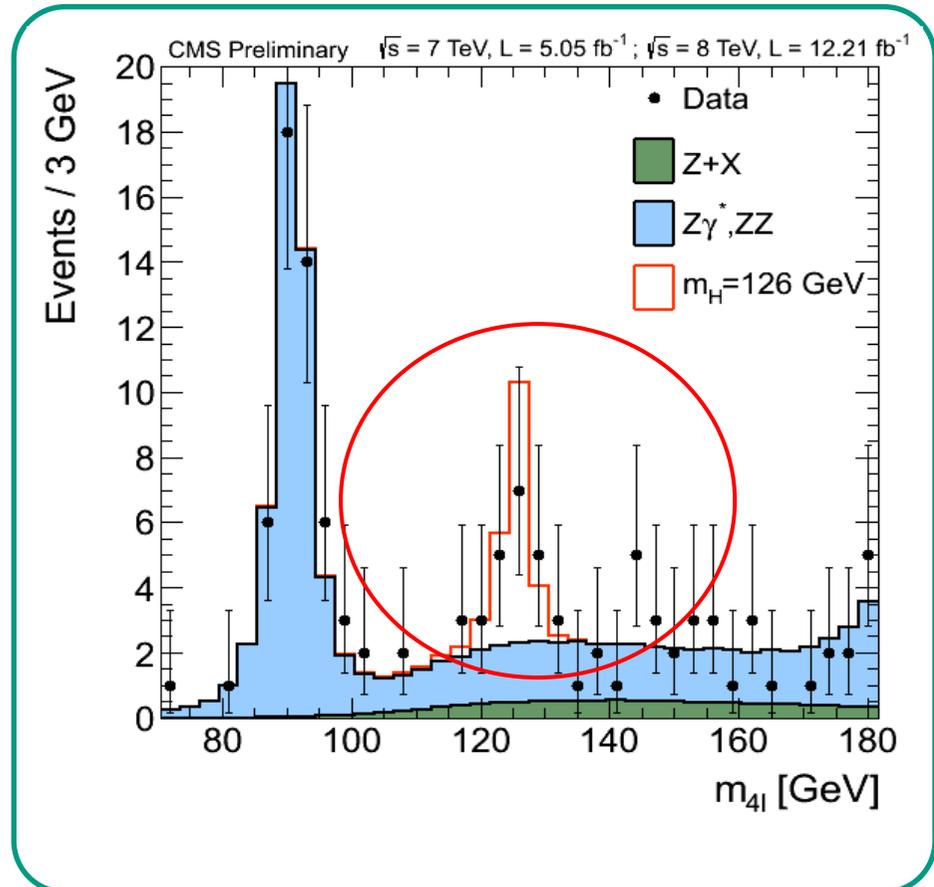
Zahl der Ereignisse mit  $H \rightarrow ZZ$  - Kandidaten

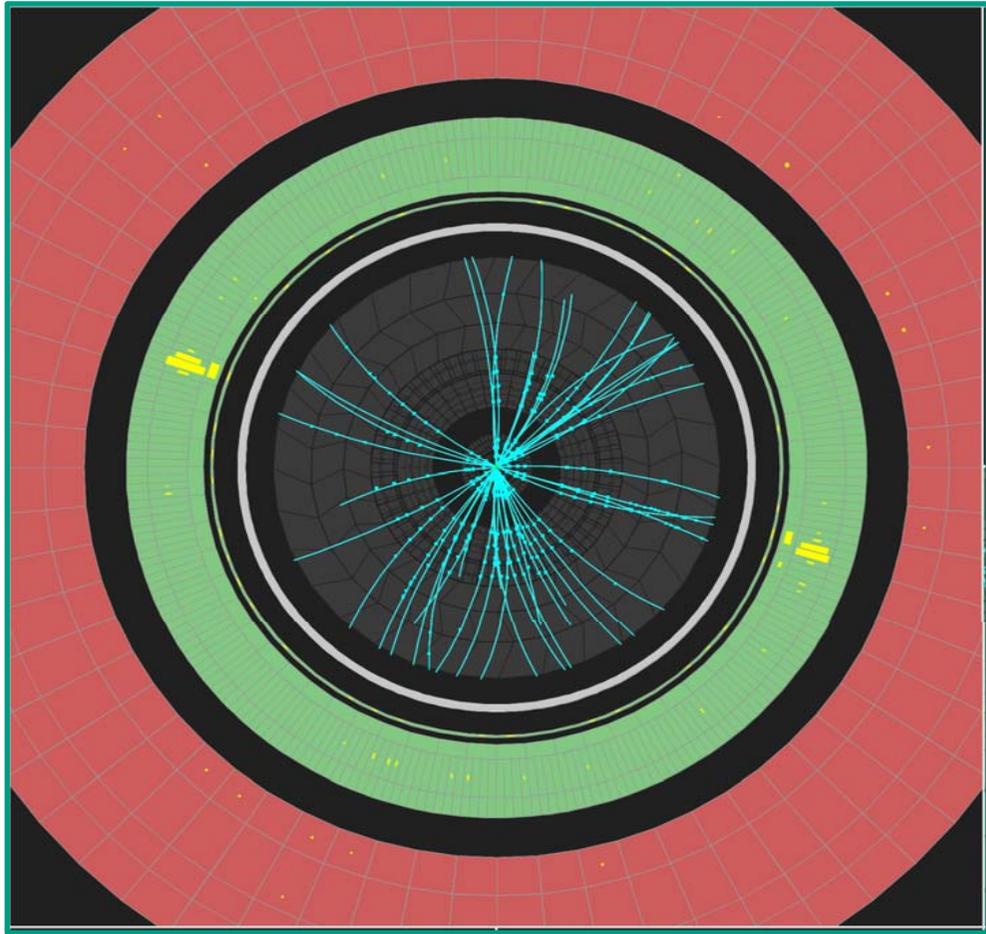
Kandidat für

$$pp \rightarrow X + H; H \rightarrow ZZ^*,$$

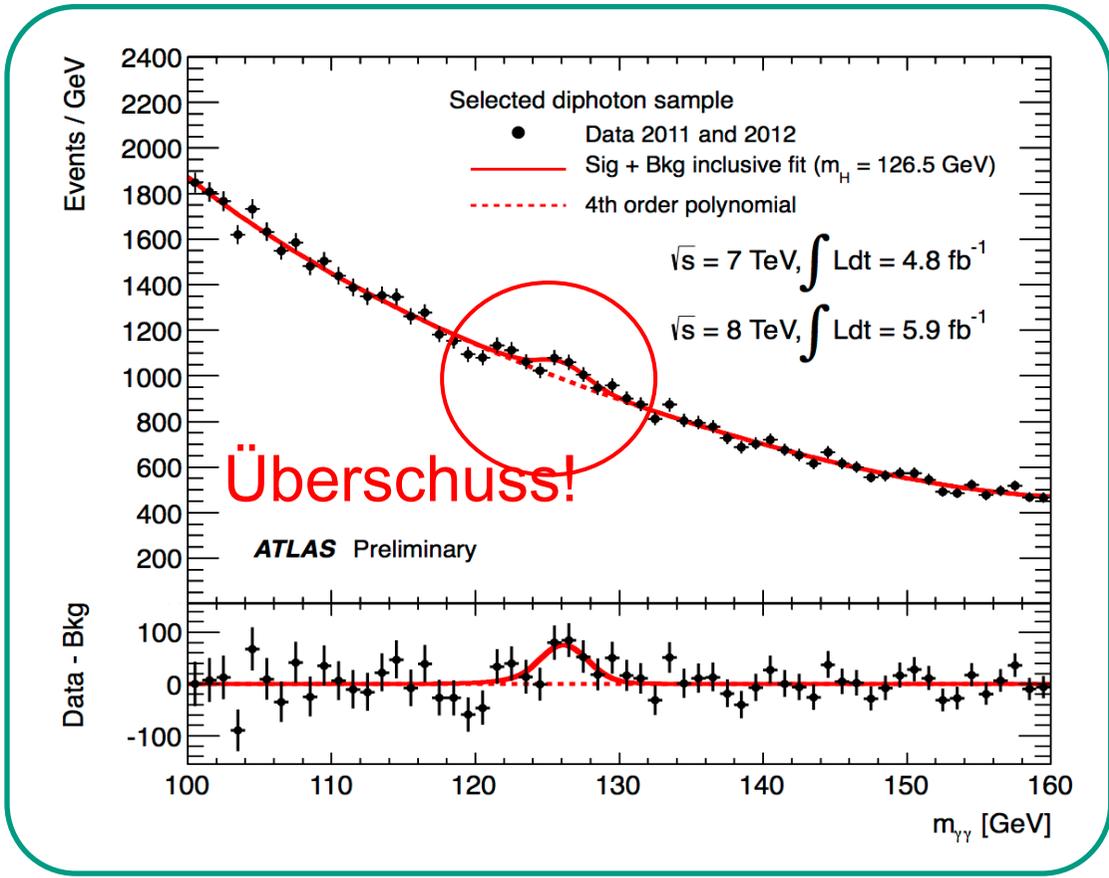
$$Z \rightarrow e^- e^+$$

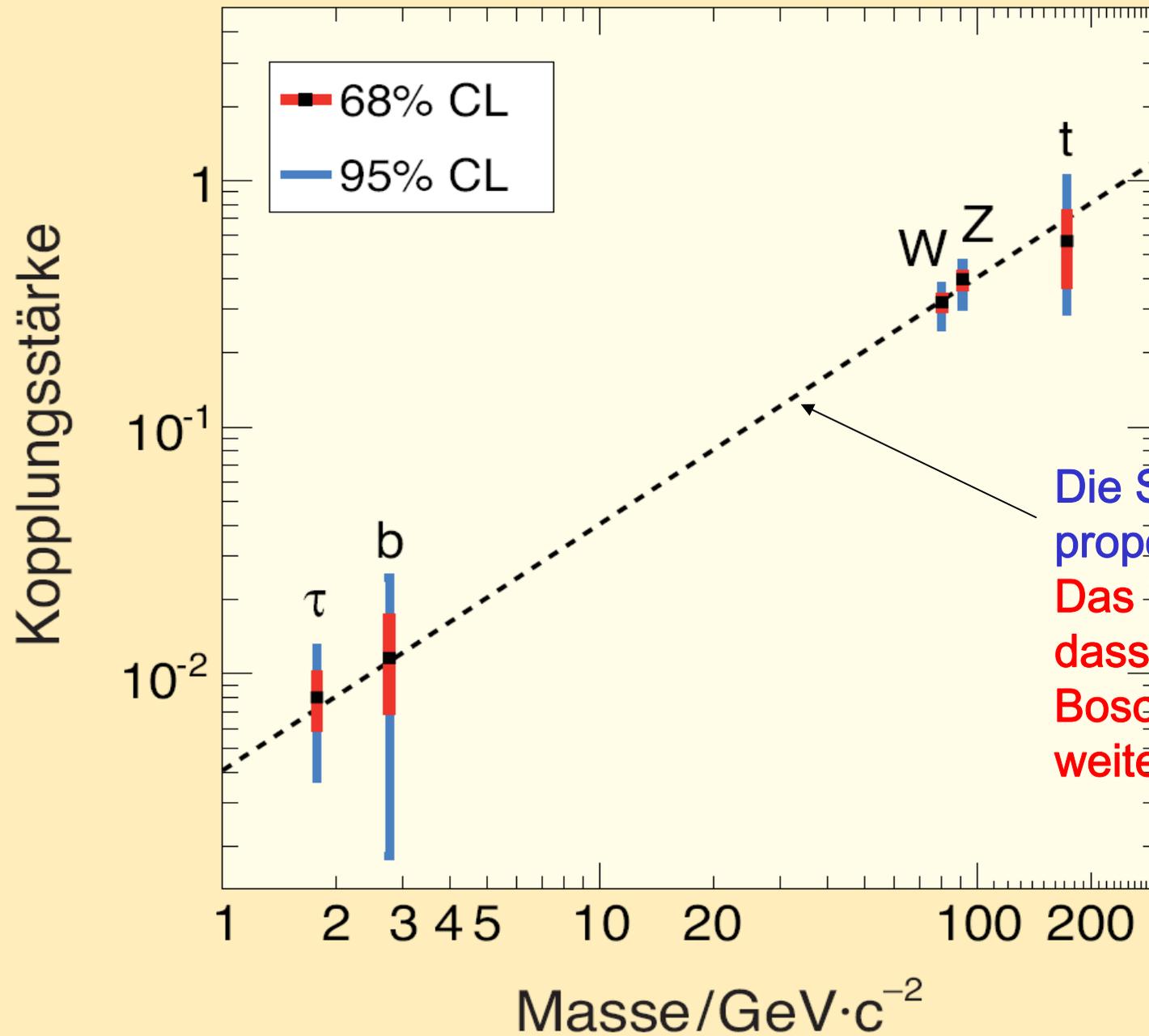
$$Z^* \rightarrow \mu^- \mu^+$$





Kandidat für  
 $pp \rightarrow X + H; H \rightarrow \gamma\gamma$



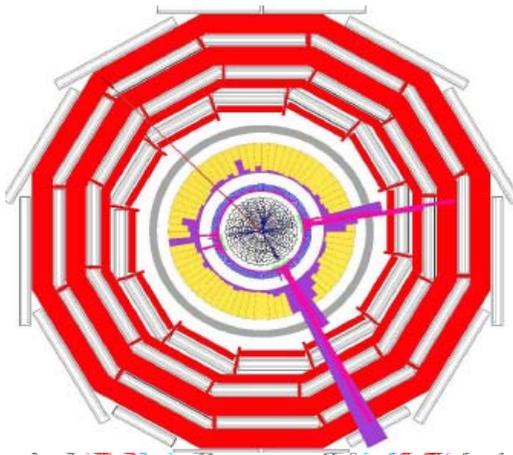


Die Stärke der Kopplung ist proportional zu der Masse!  
 Das ist der wichtigste Beweis, dass es sich um das Higgs-Boson handelt (es gibt noch weitere!)

Wir erleben eine Blütezeit in der Suche nach den fundamentalen Fragen der Natur. Mehr als 10.000 Menschen aus 40 Nationen haben die Weltmaschine gebaut, die jetzt in Betrieb ist.  
Die Beobachtung des (Higgs-) Bosons ist eine Entdeckung von fundamentaler Bedeutung. Allerdings bleiben einige Fragen offen!

## Gegenwert unserer Forschung:

1. Erkenntnis
2. Anschub und Erfindungen
3. Ausbildung



Unser nächstes  
Ziel: Dunkle Materie!

Das Karlsruher Team



