



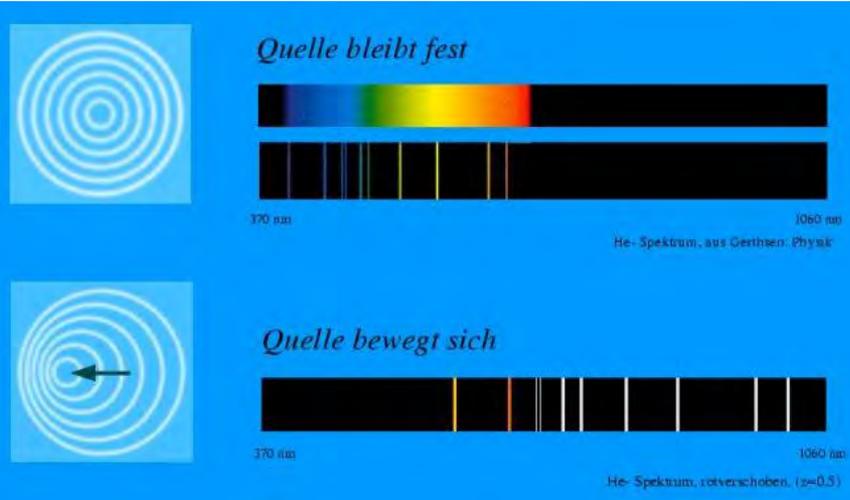
Kurs Urknall - LHC bei doppelter Energie

Wolfgang Lohmann,
BTU, CERN and DESY

Zeuthen , May 2015



Rotverschiebung der Spektrallinien



Cluster nebula in	Distance in light-years	Redshifts
Virgo	78,000,000	H + K 1,200 km s ⁻¹
Ursa Major	1,000,000,000	15,000 km s ⁻¹
Corona Borealis	1,400,000,000	22,000 km s ⁻¹
Bootes	2,500,000,000	39,000 km s ⁻¹
Hydra	3,960,000,000	61,000 km s ⁻¹



Vesto Melvin Slipher

November 11, 1875 – November 8, 1969

Arizona 1917

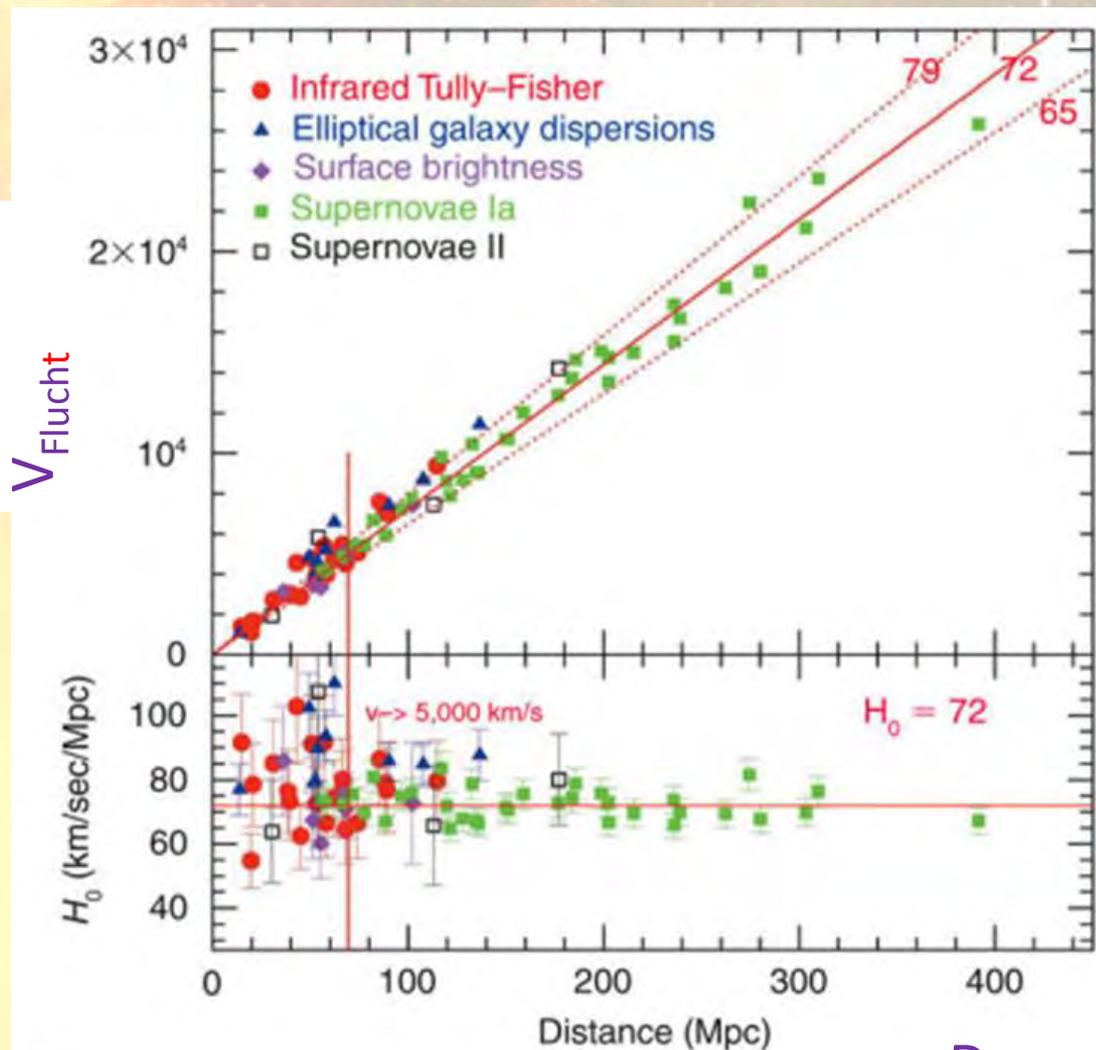
Edwin Hubble, 1929 Mount Wilson



$$V_{\text{Flucht}} = H_0 \times D$$

H_0 : Hubble Konstante

D : Abstand



B

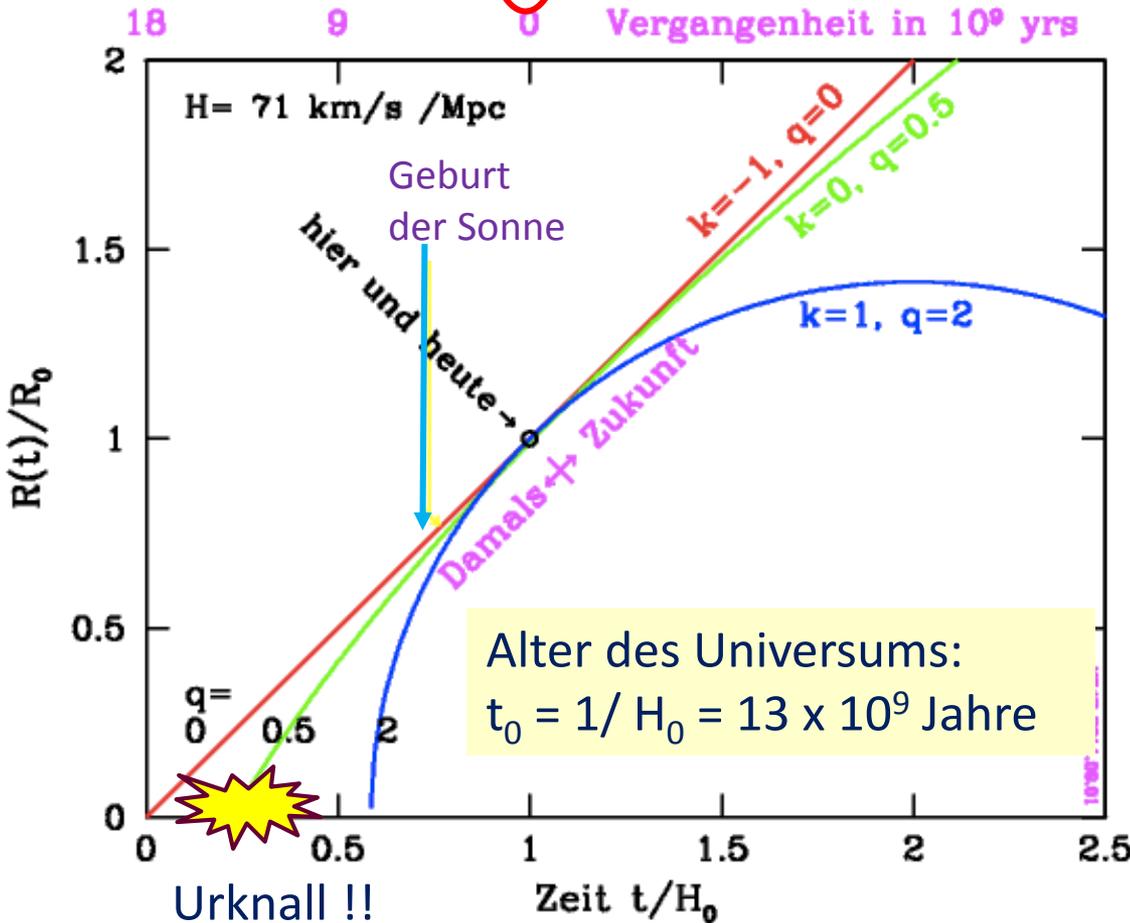
(Wendy L. Freedman, Observatories of the Carnegie Institution of Washington, and NASA)

D

Friedmann Gleichung

Ω_Λ : kosmologische Konstante
 A.Einstein: "meine grösste Eselei"

$$H(t)^2 = H_0^2 (\Omega_0 \cdot x_1 - k x_2 + \Omega_\Lambda)$$

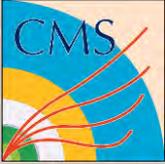


$k = 1$: Geschlossenes Universum

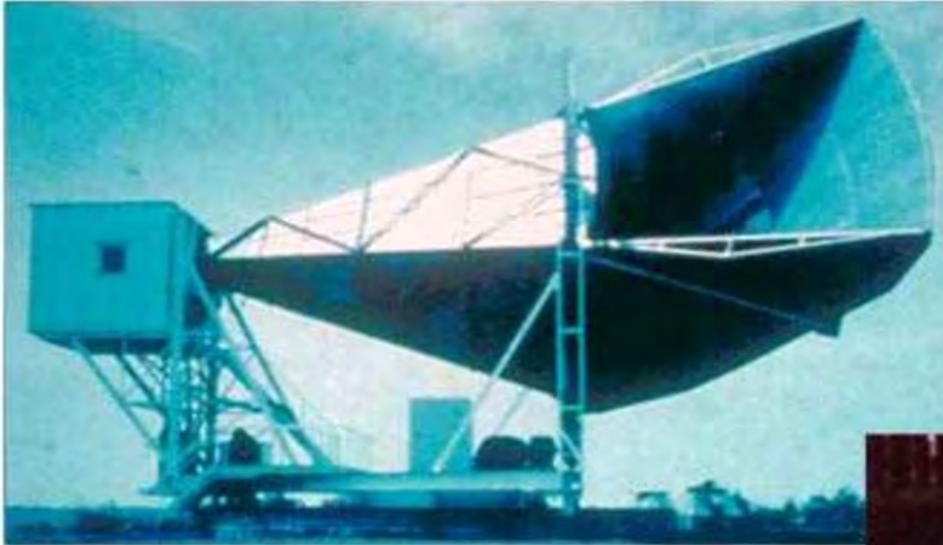


$k = 0$: flaches Universum
 $k = -1$: offenes Universum

Es gab eine „Stunde Null“ und es war heiss



DISCOVERY OF COSMIC BACKGROUND

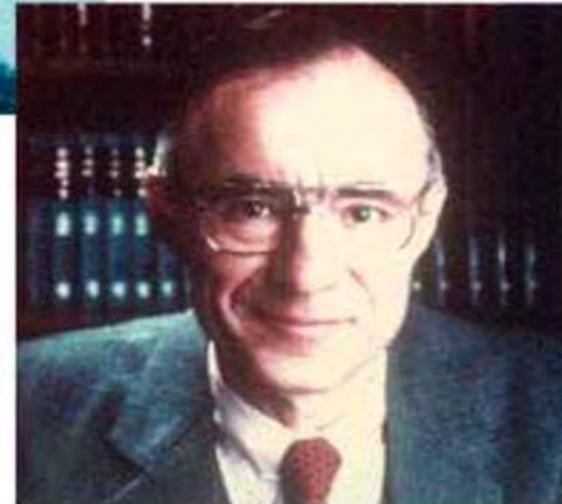


Microwave Receiver

Verhergesagt von George Gamow und anderen um 1940
Entdeckt von Penzias und Wilson
1964
3 K Strahlung
(Nobelpreis 1978)



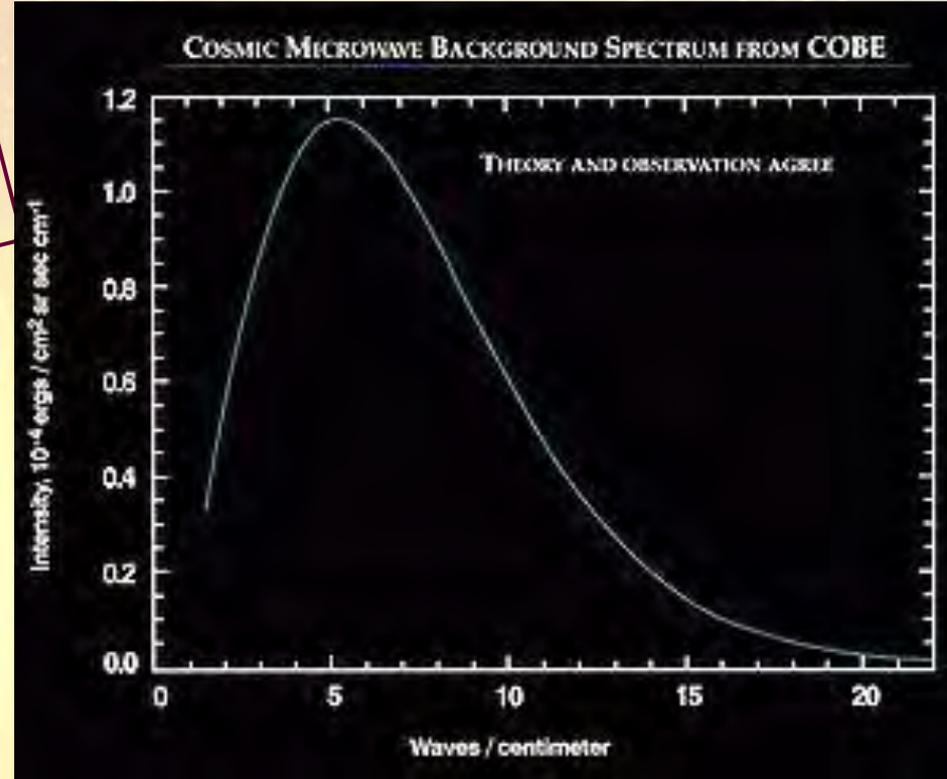
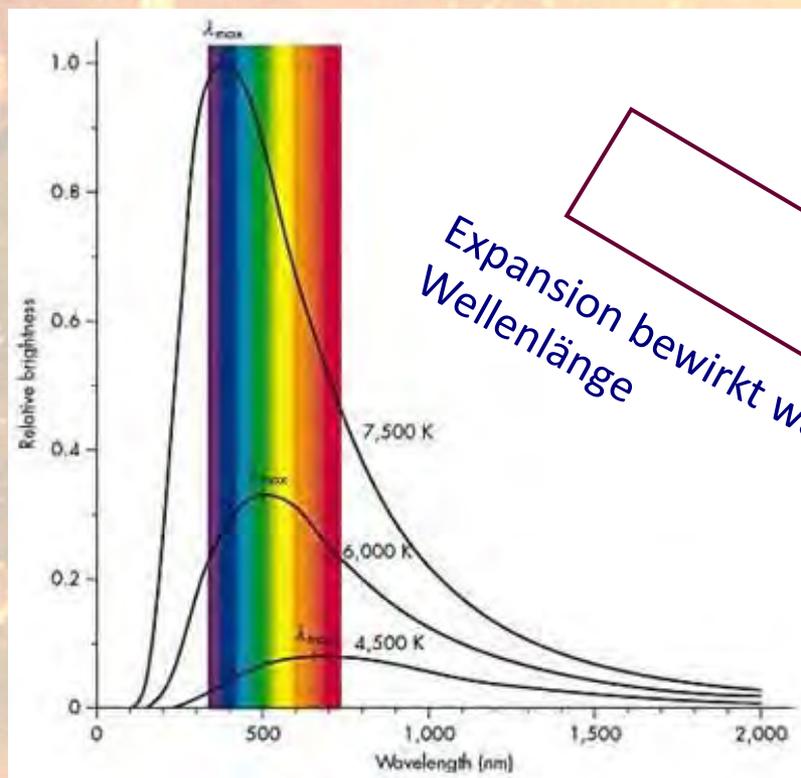
Robert Wilson



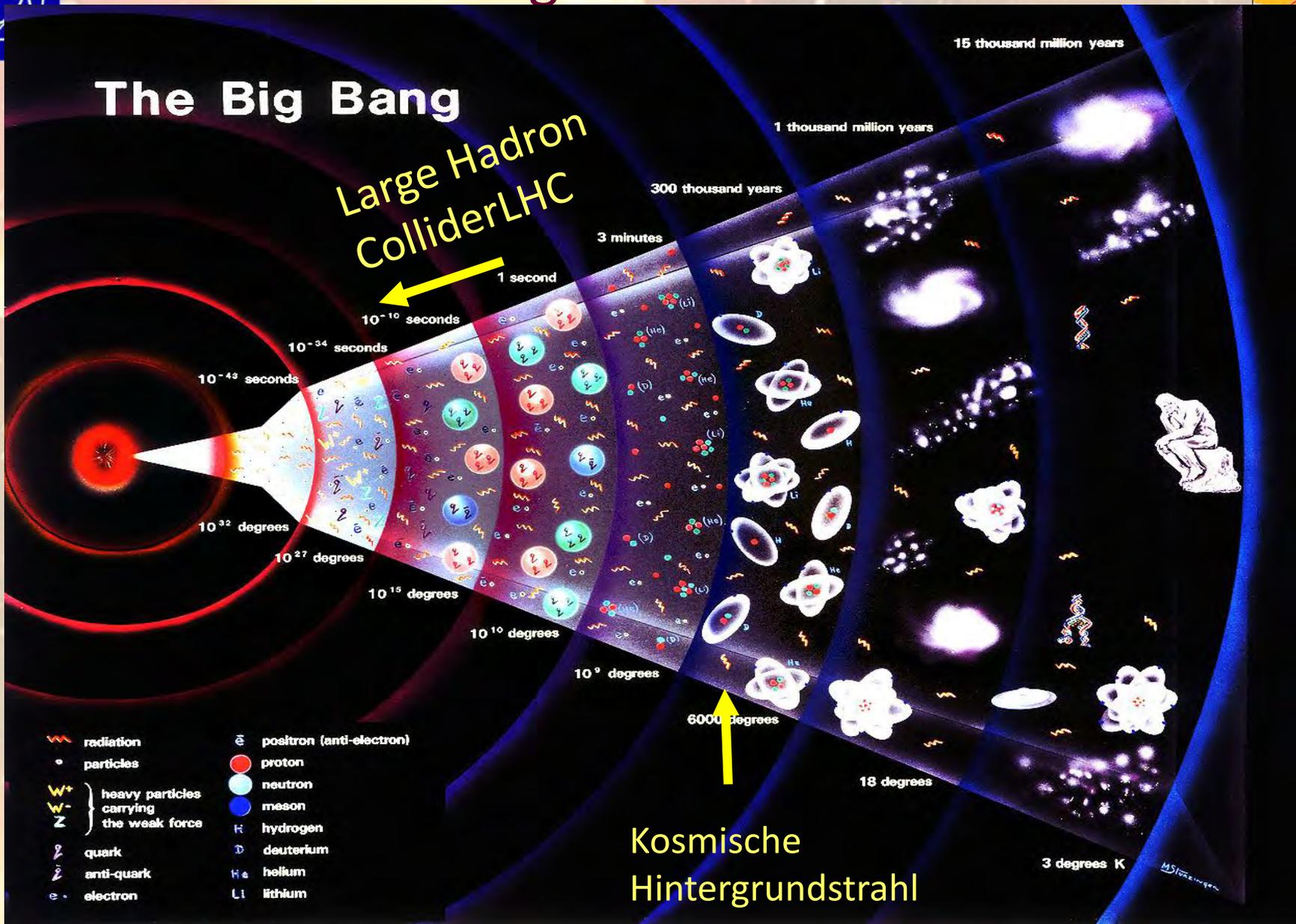
Arno Penzias

MAP990045

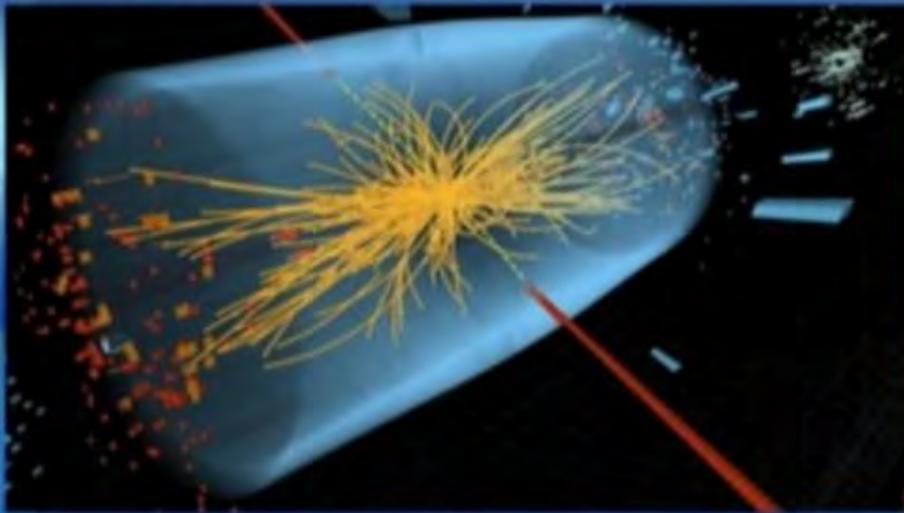
300000 Jahre nach dem Urknall – bei 3000 K –
Entkopplung von Strahlung und Materie



Entwicklung des Universums



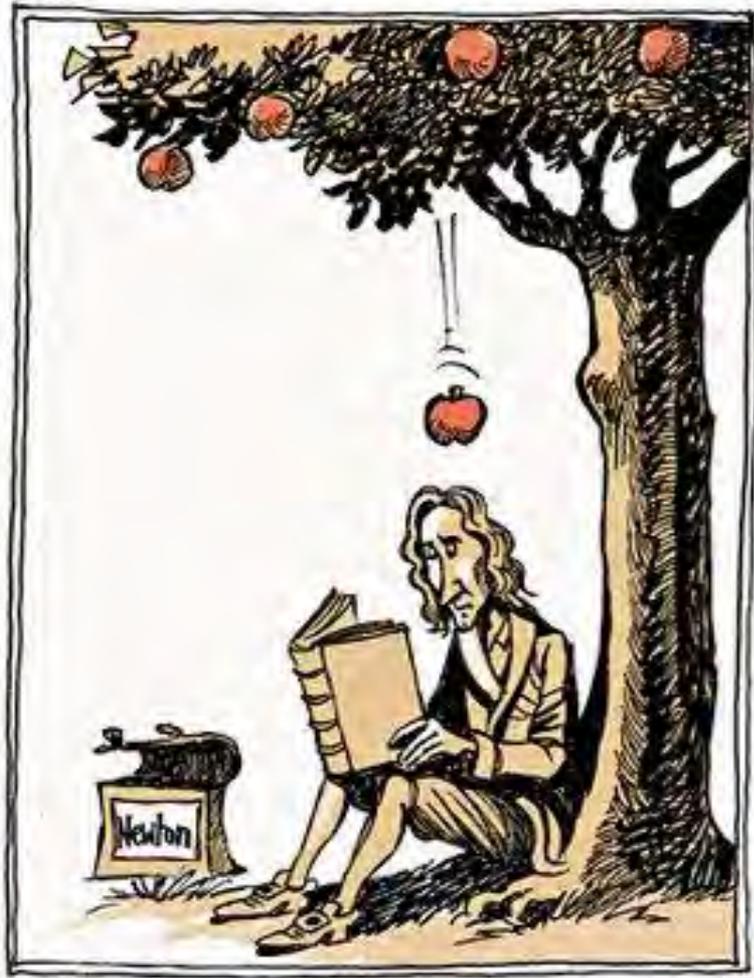
Higgs-Teilchen
offenbar entdeckt



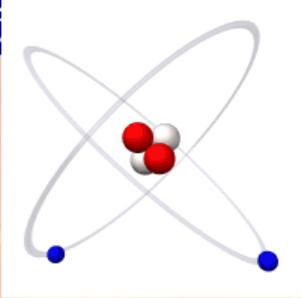
tagesschau 04.07.2012



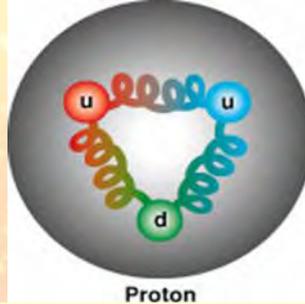
Collisions That Changed The World



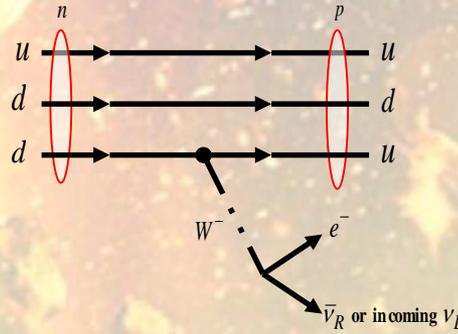
Subatomare Welt



Elektromagnetische Wechselwirkung



Starke Wechselwirkung

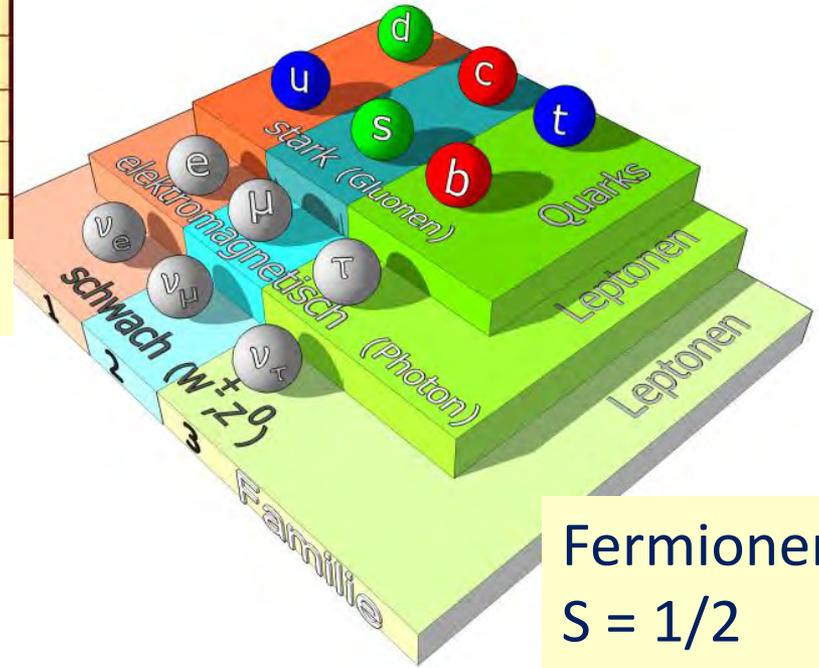
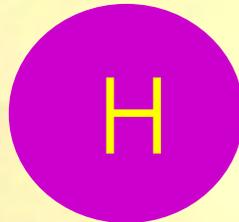


Schwache Wechselwirkung

Wechselwirkung	Eichbosonen	relative Stärke	Reichweite
stark	8 Gluonen	1	10^{-15} m
schwach	W^+, W^-, Z^0	10^{-14}	10^{-18} m
elektromagnetisch	Photon	10^{-2}	
gravitativ	Graviton	10^{-38}	

Vektorbosonen $s = 1$

Higgs Boson
 $S = 0$



Fermionen
 $S = 1/2$

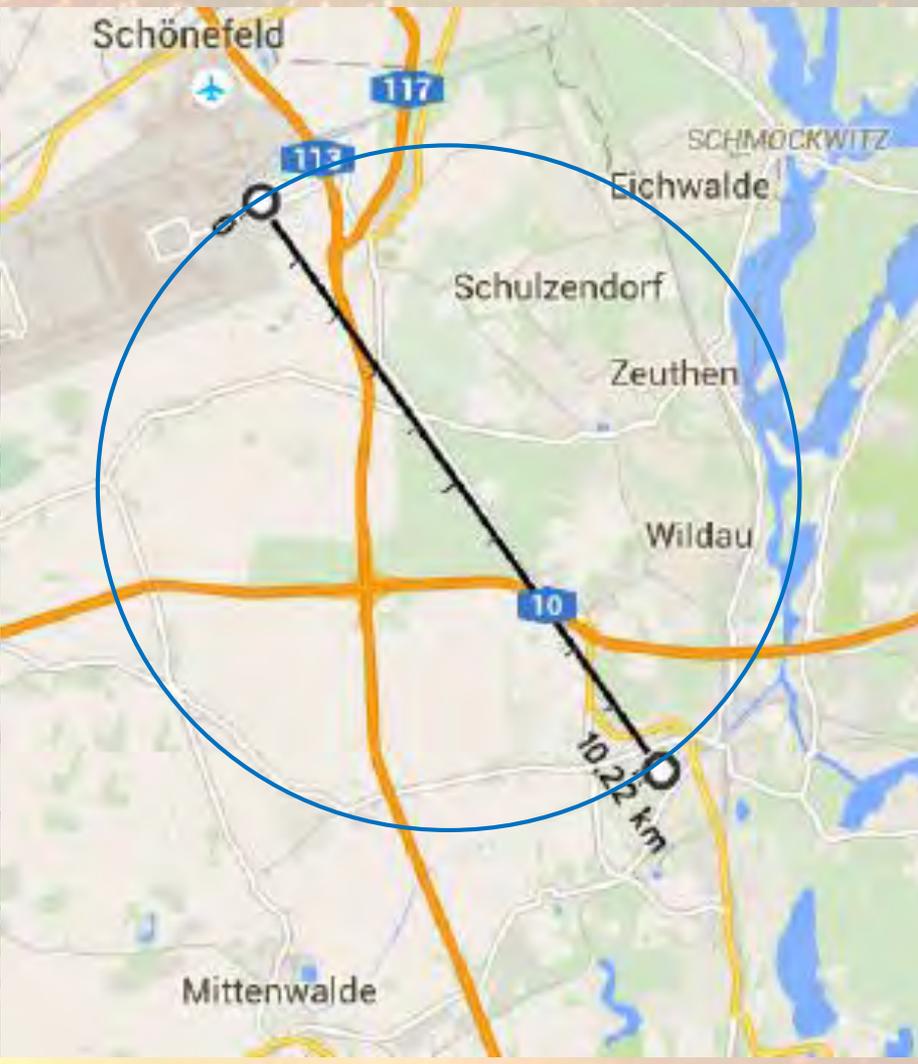
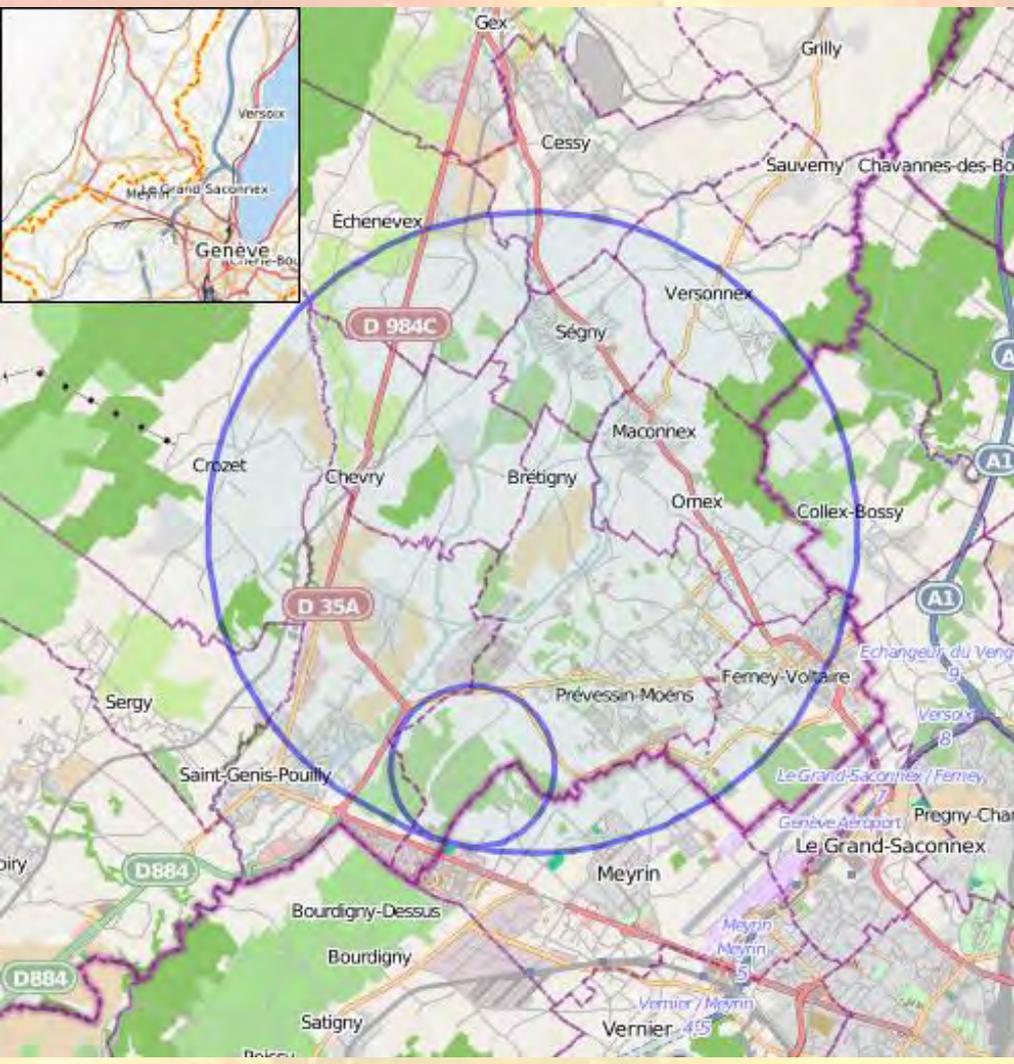
Standardmodell der Elementarteilchenphysik

Quarks		Leptons		Bosons
 up	 down	 electron	 neutrino e	 photon
 charm	 strange	 muon	 neutrino μ	 gluon
 top	 beauty	 tau	 neutrino τ	 Z^0 W^\pm
				 Higgs

The Standard Model

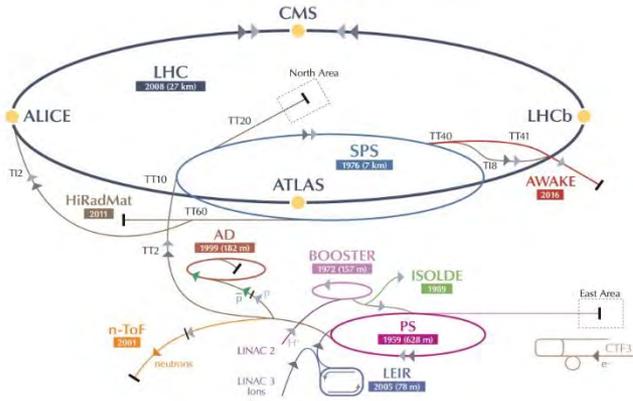
A. Pich - CERN Summer Lectures 2004

Large Hadron Collider LHC CERN



2010-2013: maximal 4 TeV pro Strahl

1232 Supraleitende Dipole
 $I = 11080 \text{ A}$



1232 Supraleitende Dipole
 $I = 11080 \text{ A}$



Niob/Titan Spule bei 1.9 K



The main 2013-14 LHC consolidations

1695 Openings and final reclosures of the interconnections

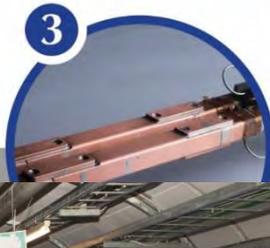
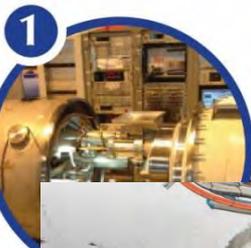
Complete reconstruction of 3000 of these splices

Consolidation of the 10170 13kA splices, installing 27 000 shunts

Installation of 5000 consolidated electrical insulation systems

300 000 electrical resistance measurements

10170 orbital welding of stainless steel lines



SMACC project : Closure of the last interconnection – 18.06.2014



18 000 electrical Quality Assurance tests

10170 leak tightness tests

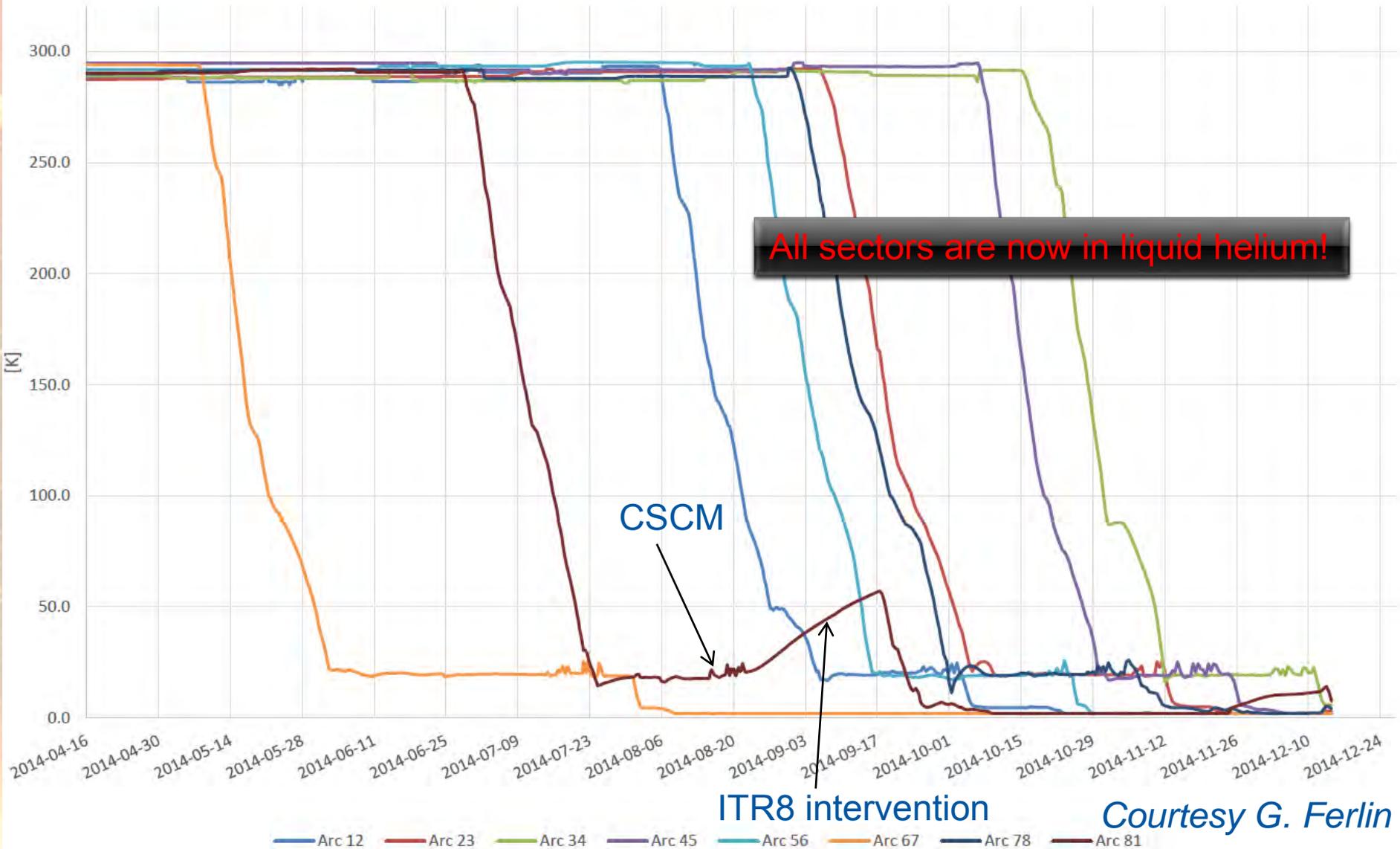
3 quadrupole magnets to be replaced

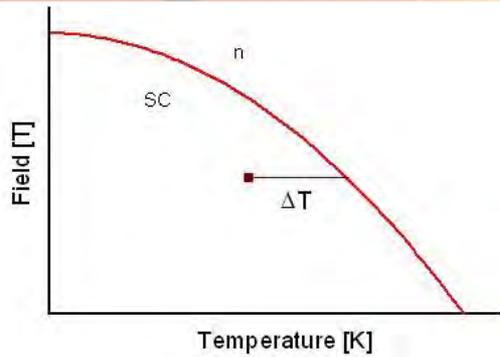
15 dipole magnets to be replaced

Installation of 612 pressure relief devices to bring the total to 1344

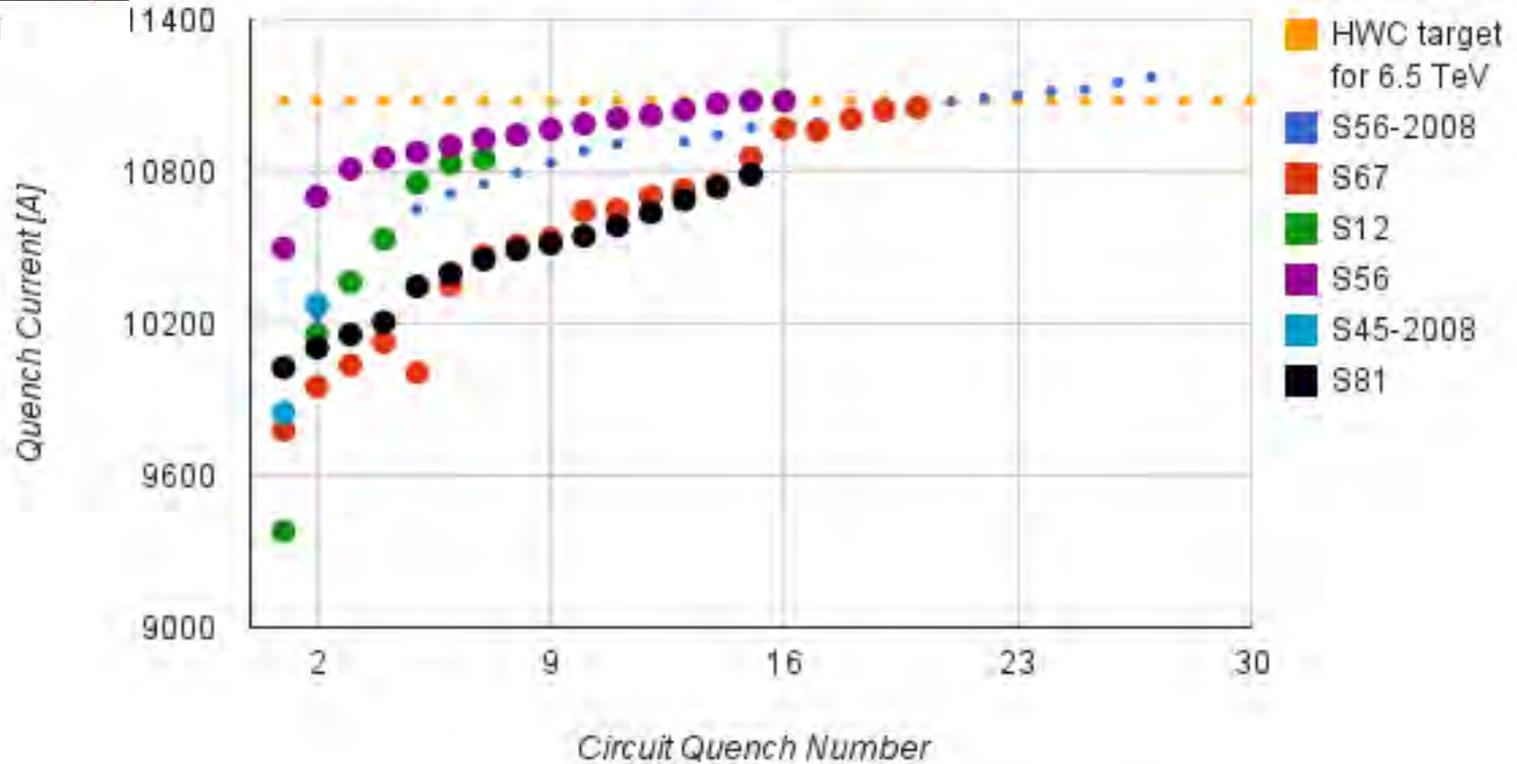
Consolidation of the 13 kA circuits in the 16 main electrical feed-boxes

Cool-down of LHC sectors





RB Training Quenches - MP3





Alle Vorbereitungen im Film



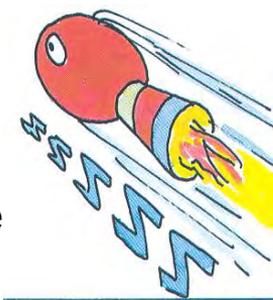




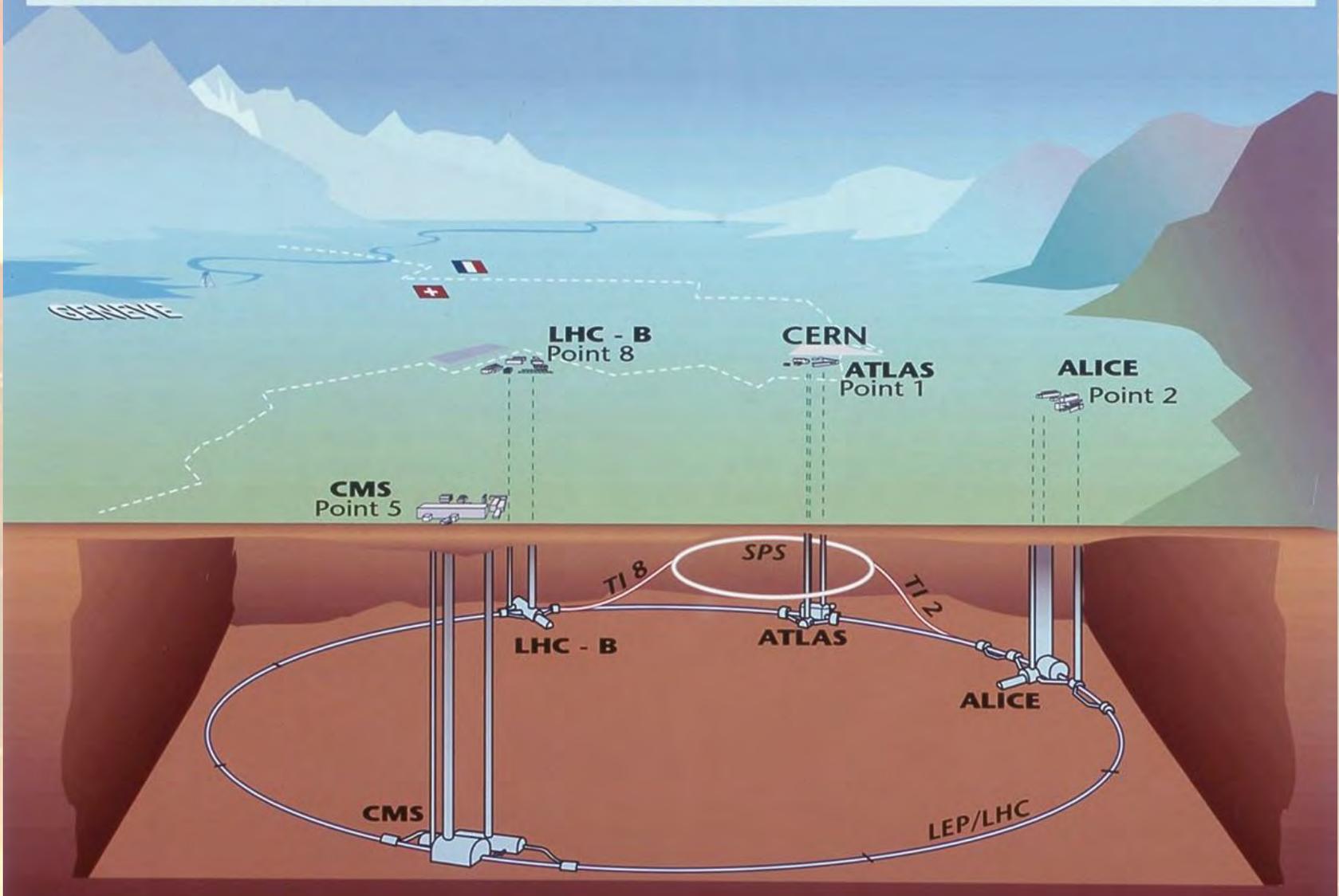
$v \approx 27\text{km/h}$
↻ 1tour en 1h

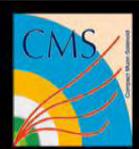
l'un des circuits les plus **rapides** de la planète...

milliers de milliards de protons : accélérés à 99,9999991% de vitesse de la lumière
↻ vont effectuer plus de **11000 fois par seconde le tour** de l'anneau de 27 km.

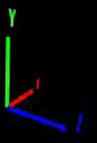
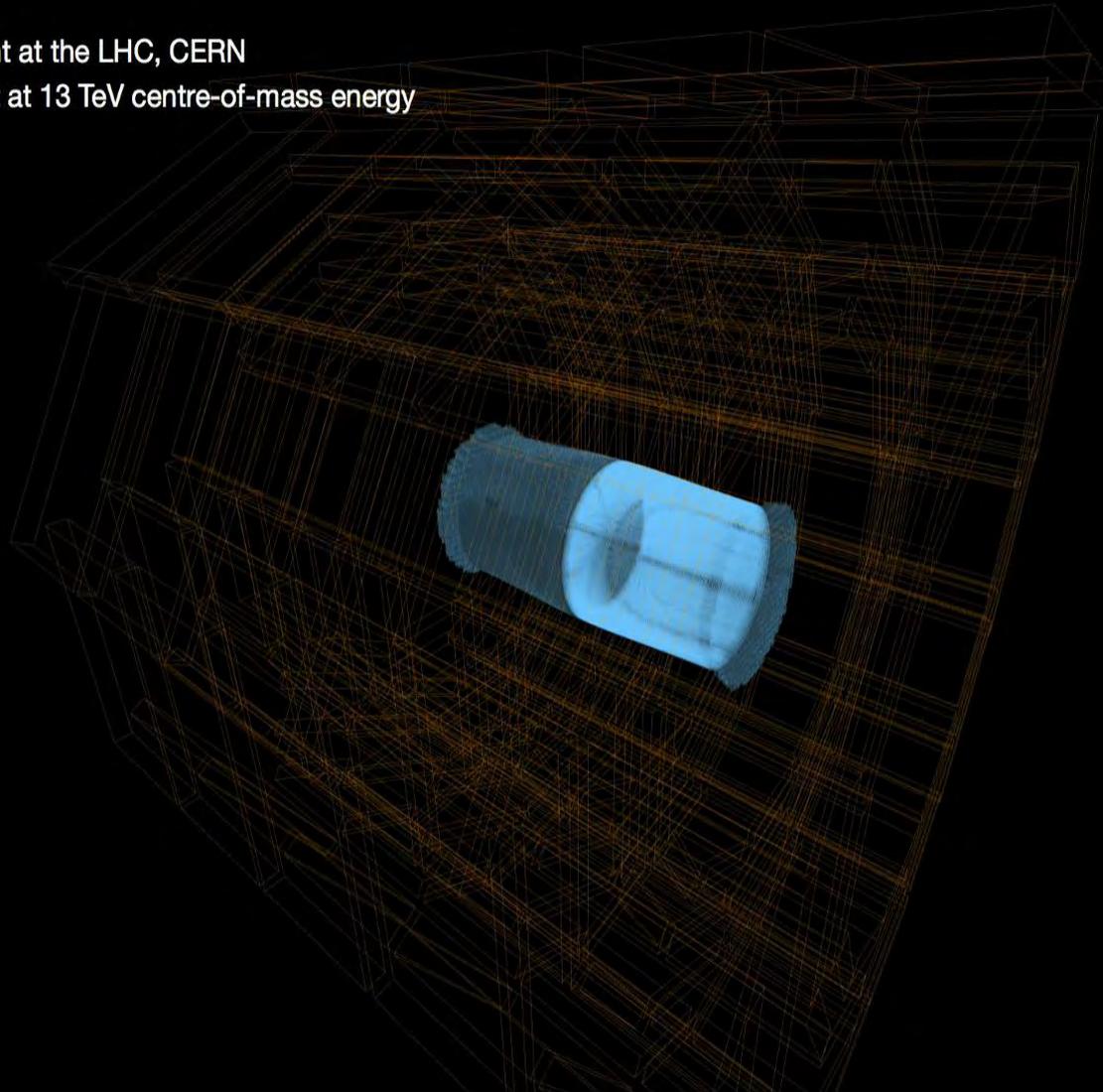


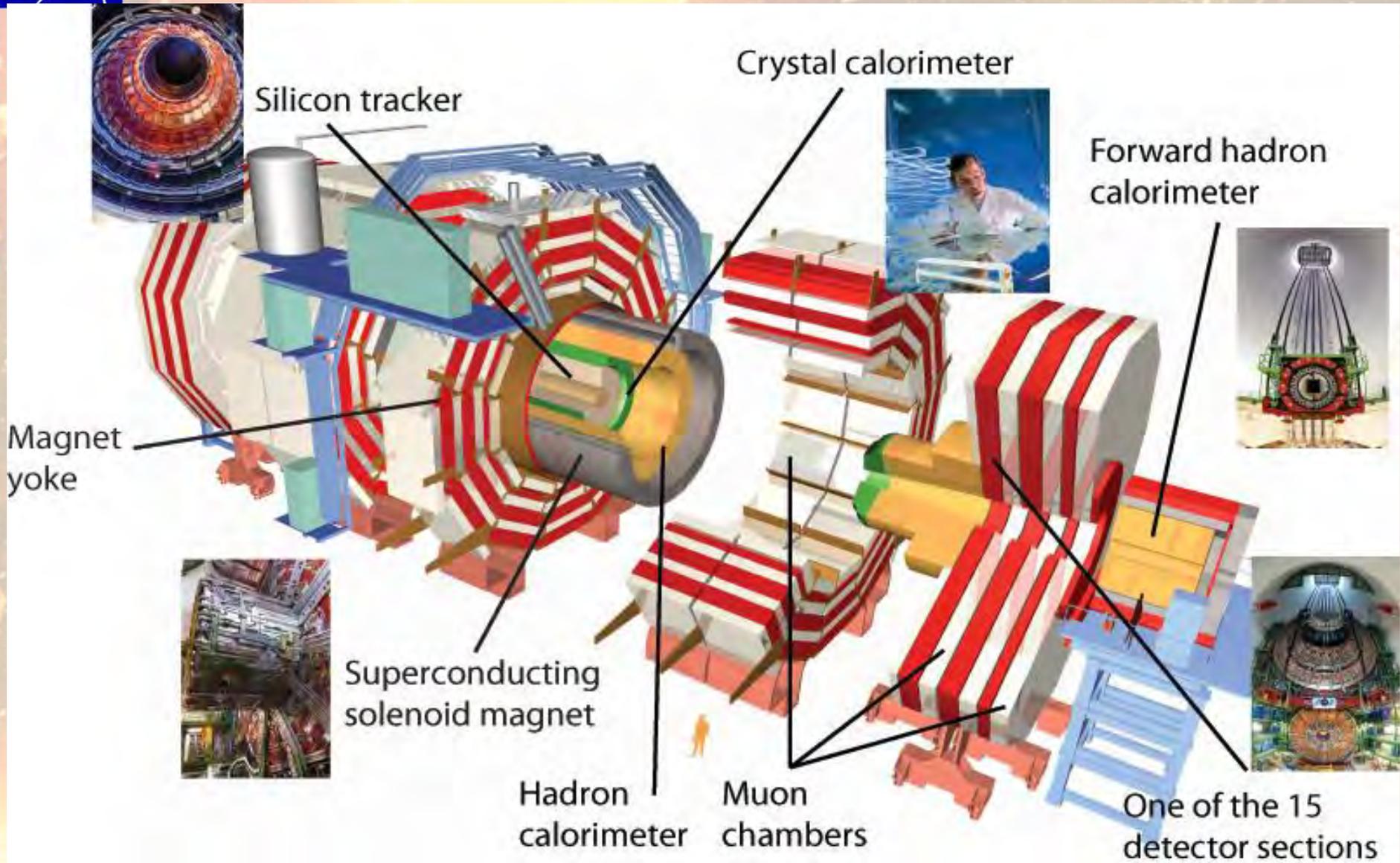
Overall view of the LHC experiments.



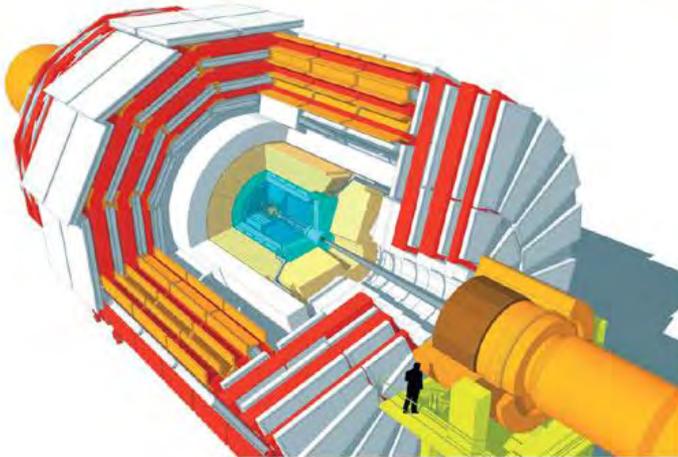
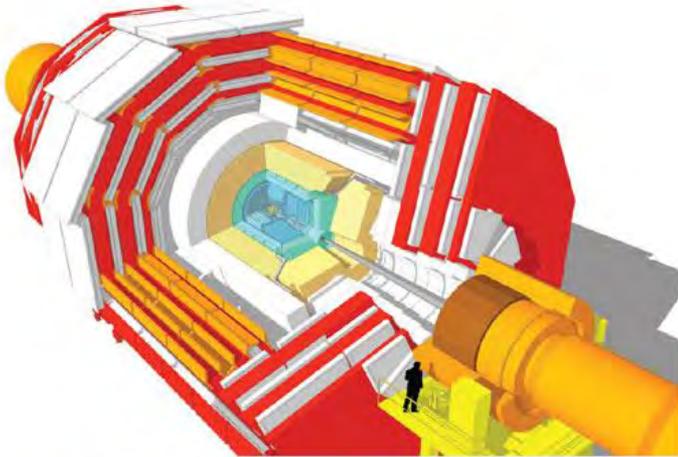


CMS Experiment at the LHC, CERN
Simulated event at 13 TeV centre-of-mass energy

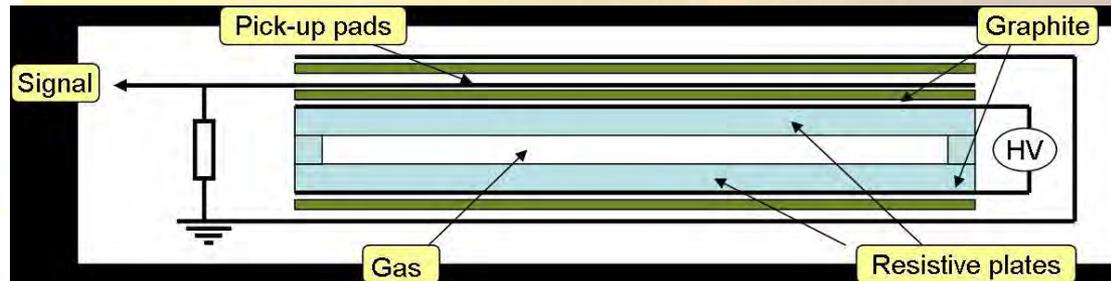




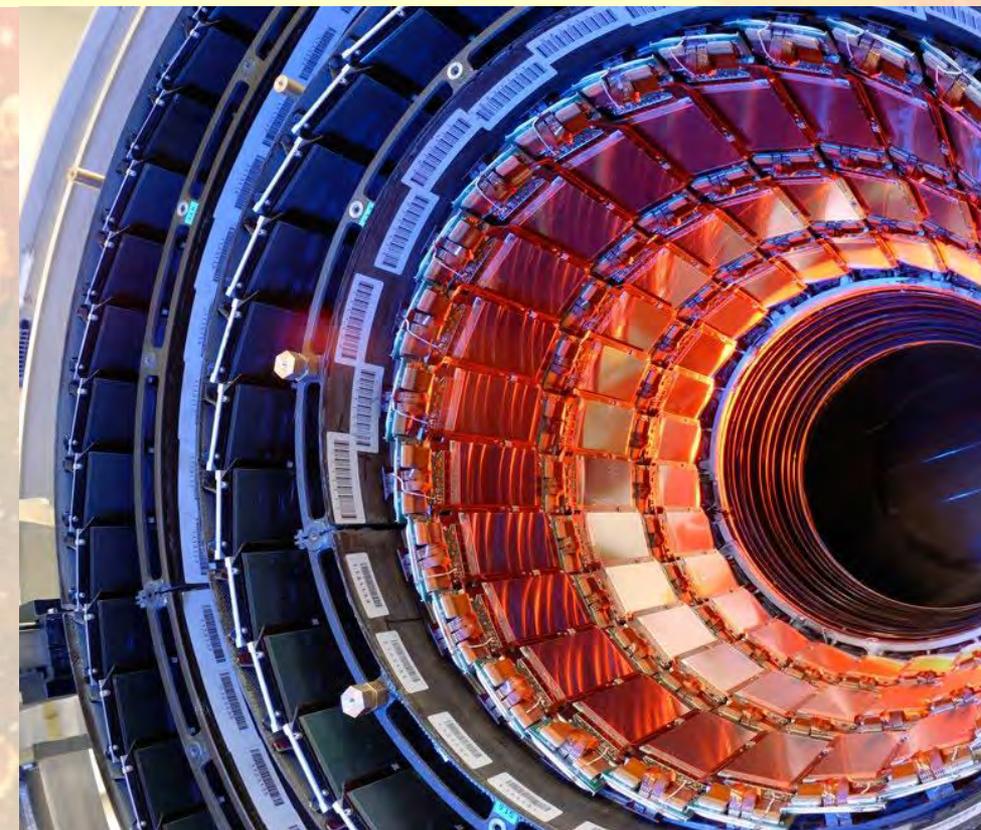
Myon Trigger und Rekonstruktion



Resistive Plate Chambers - schnell und robust

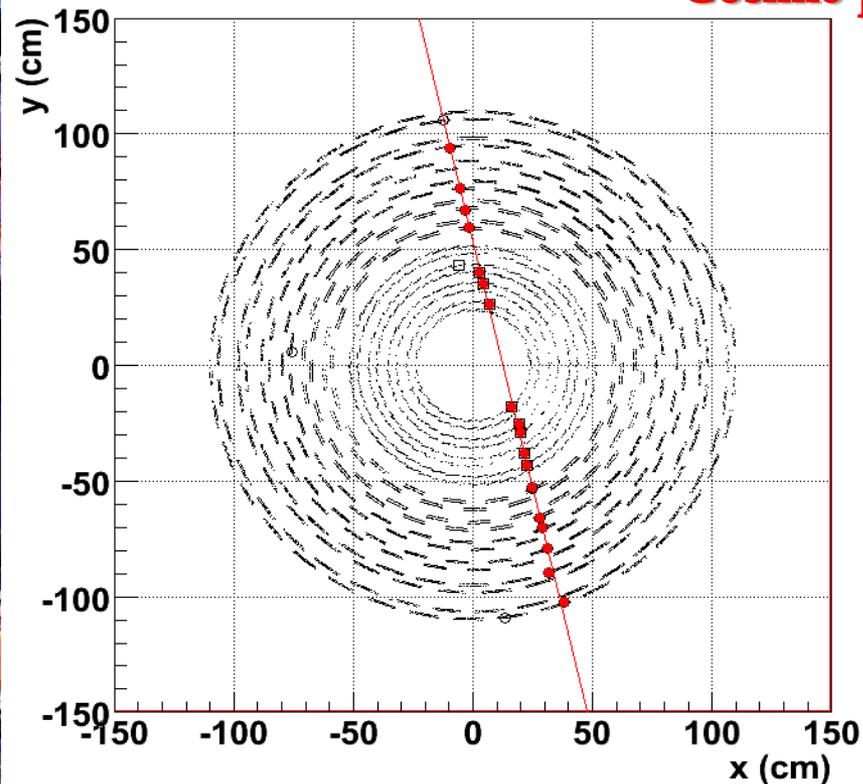


Tracker Betrieb bei -20°C



Run 50905 Event 1576, y vs x

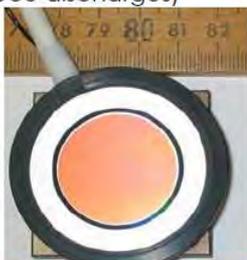
Cosmic μ



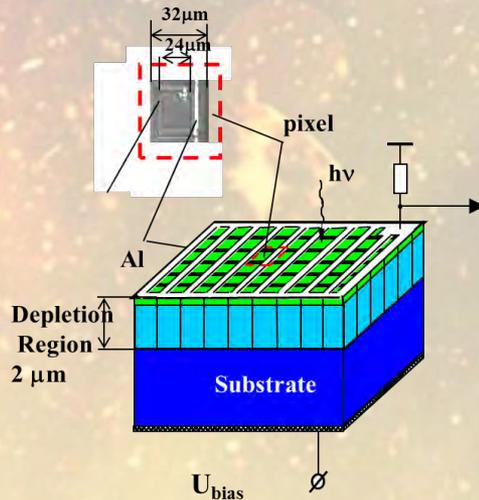
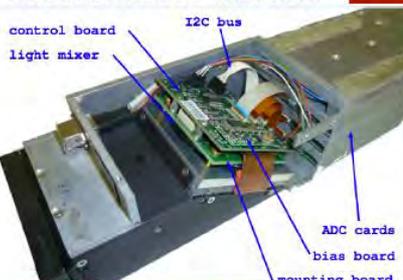
Die Siliziumsensoren des Trackers werden von $\sim 10^6$ Teilchen pro Sekunde getroffen, Veränderungen im Siliziumkristall (Strahlenschäden) führen zu hohem Dunkelstrom. Ausweg: Betrieb bei niedriger Temperatur
System zur Herstellung kalter trockener Luft und Reduktion von Sauerstoff auf 5%

Neue Photosensoren im HCAL

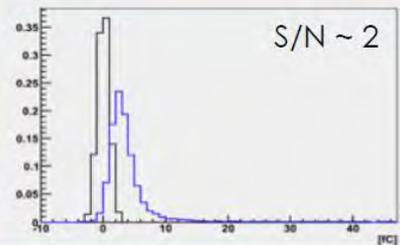
HPDs in HO (operated below nominal HV to reduce discharges)



Readout Module with SiPM

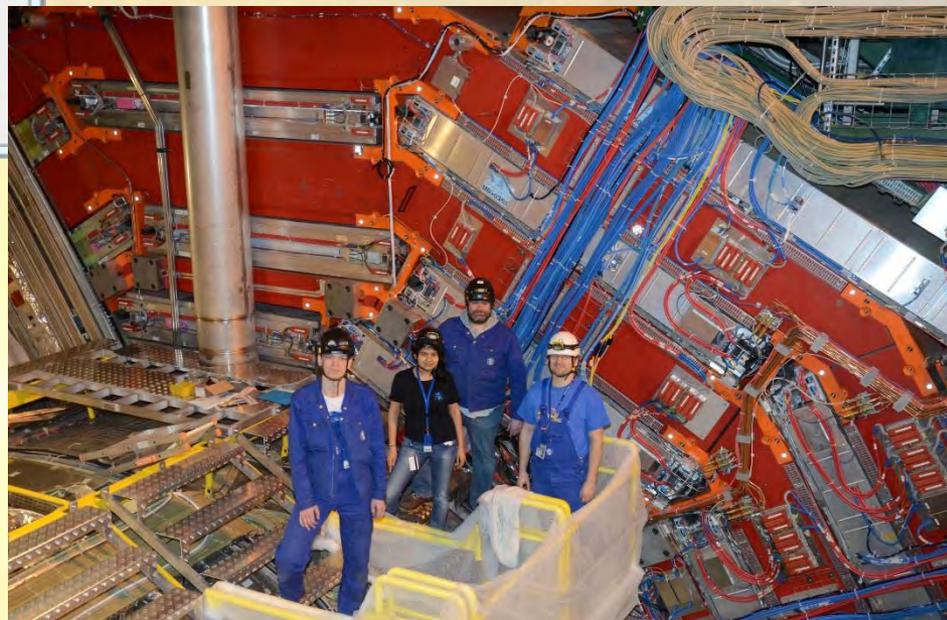
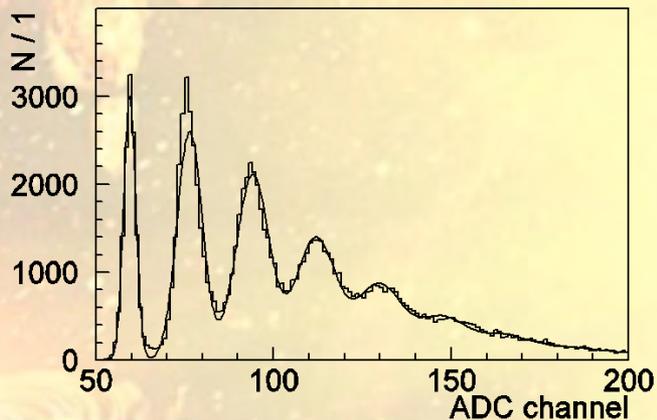
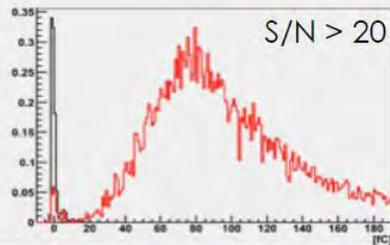


HPD muon

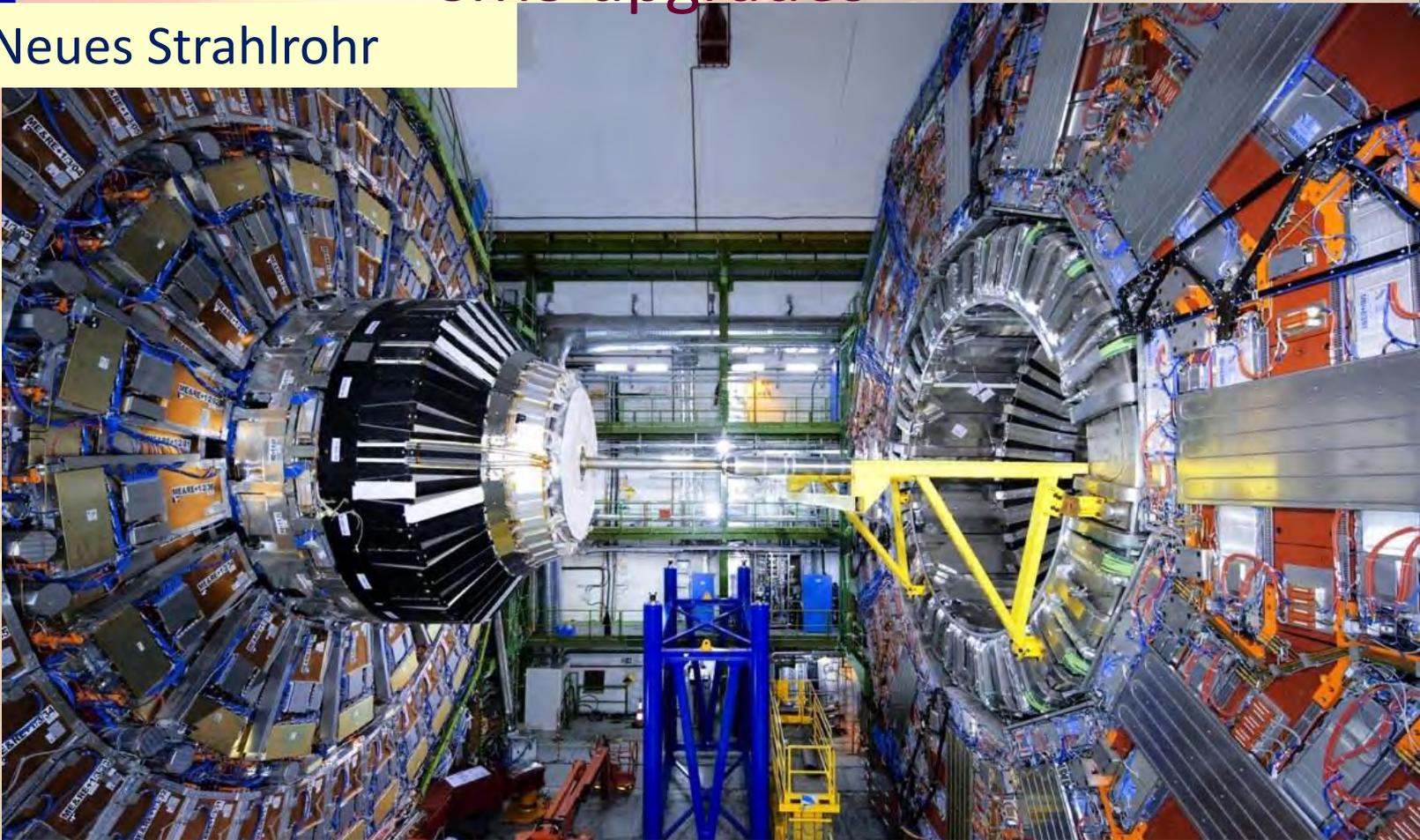


SiPM muon

A. Heering et al.



Neues Strahlrohr



Neues Strahlrohr: Beryllium, 0.8 mm dick, 4.5 cm Durchmesser

Innendruck im Betrieb: 10^{-10} mbar

Vorbereitung auf den Einbau des neuen Pixeldetektors 2016

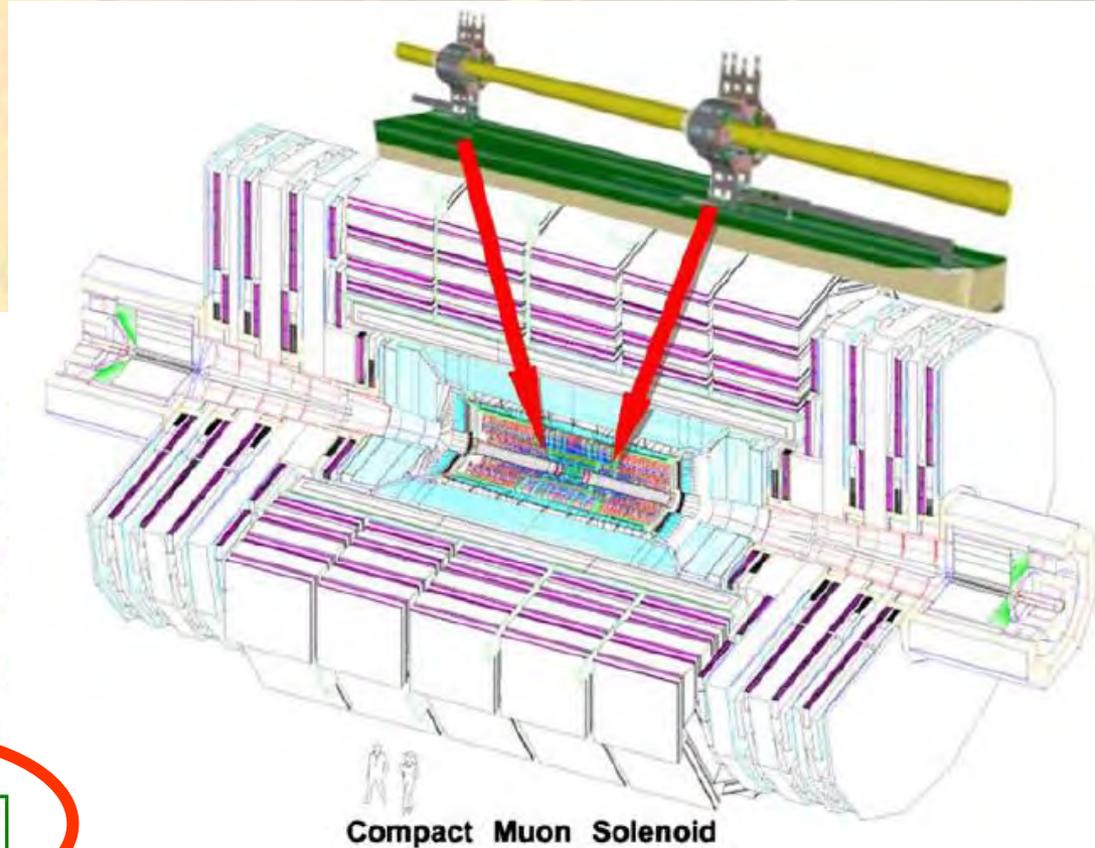
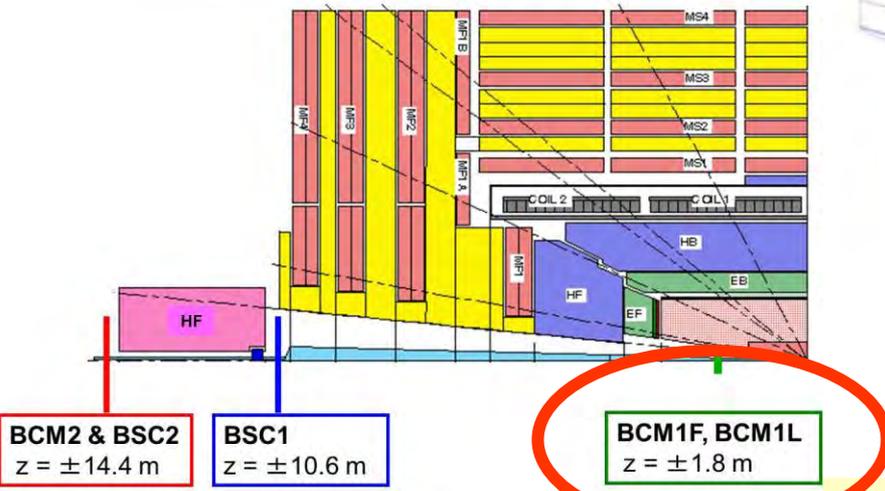
Luminometer und Strahlmonitore

Die Luminosität L ist eine „Schlüsselgröße“ des LHC und der Experimente

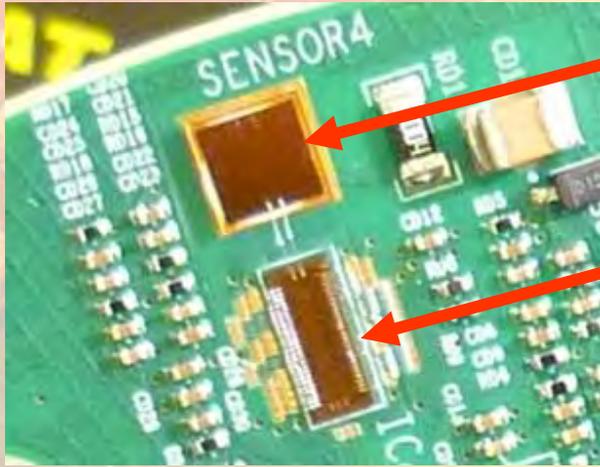
Ereignisrate $N = \sigma \times L$, σ : Wirkungsquerschnitt -- > Vergleiche mit der Theorie

Zwei Luminometer, BCM1F und PLT sind um das Strahlrohr installiert. Beide bestehen aus zwei identischen Detektoren, ± 1.8 m vom Wechselwirkungspunkt entfernt.

CMS cross section and location of BRM detectors

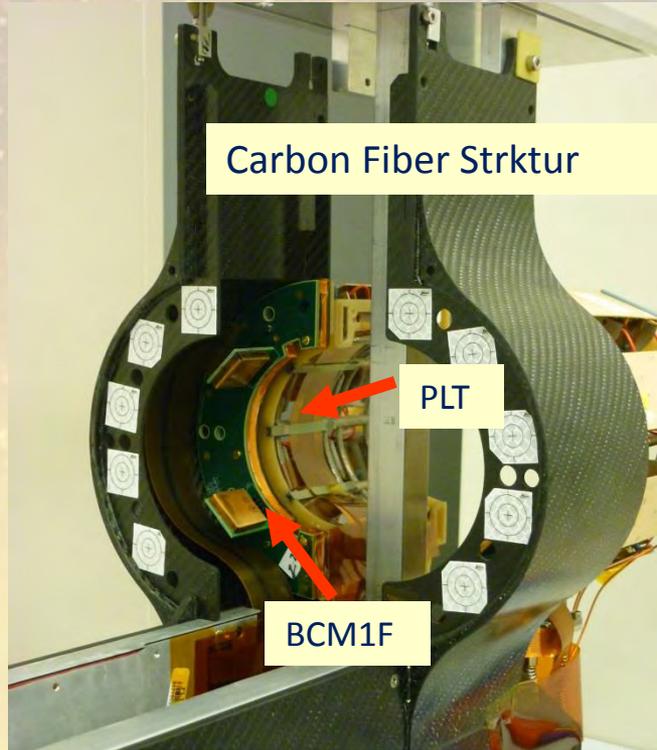
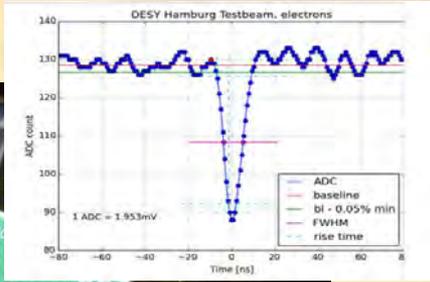


BCM1F (DESY Zeuthen +CERN+Princeton Univ.)



5x5 mm² Diamant-sensoren, 2 pads

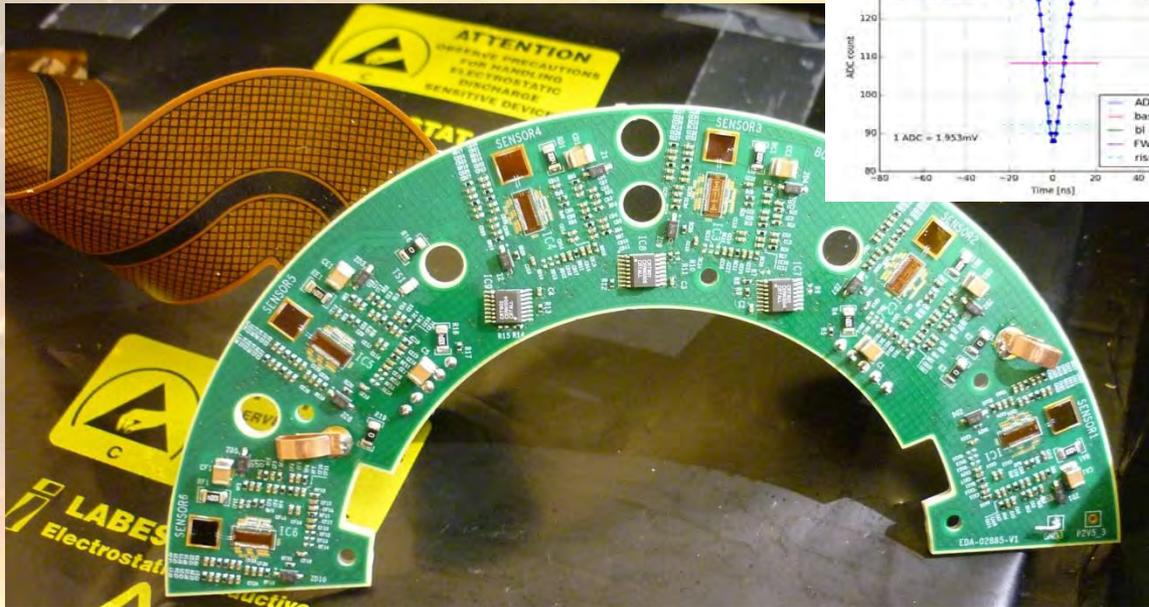
Front-end ASIC, superschnell (sub-Nanosekunden Zeitmessung ,UST Krakau)



Carbon Fiber Struktur

PLT

BCM1F



Halbring mit flexibler Kapton „Leiterplatte“;
Produktion PCB: CERN
„Bestückung“ und Funktionstest: DESY (Z)

CMS upgrades

BCM1F (DESY Zeuthen +CERN+Princeton Univ.)



Elektronik Werkstatt Zeuthen
Herbst 2014



Tests und
Komplettierung am
CERN (Dezember 2014)



Installation im Detektor
Januar 2015



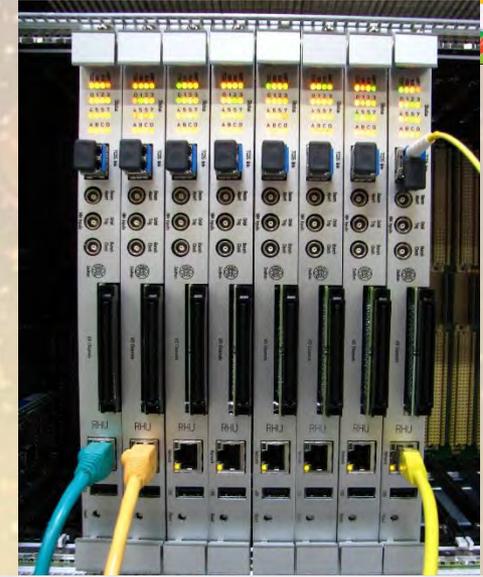
Erfolgreicher Funktionstest
(Februar 2015)



BCM1F Signalverarbeitung(DESY Zeuthen)

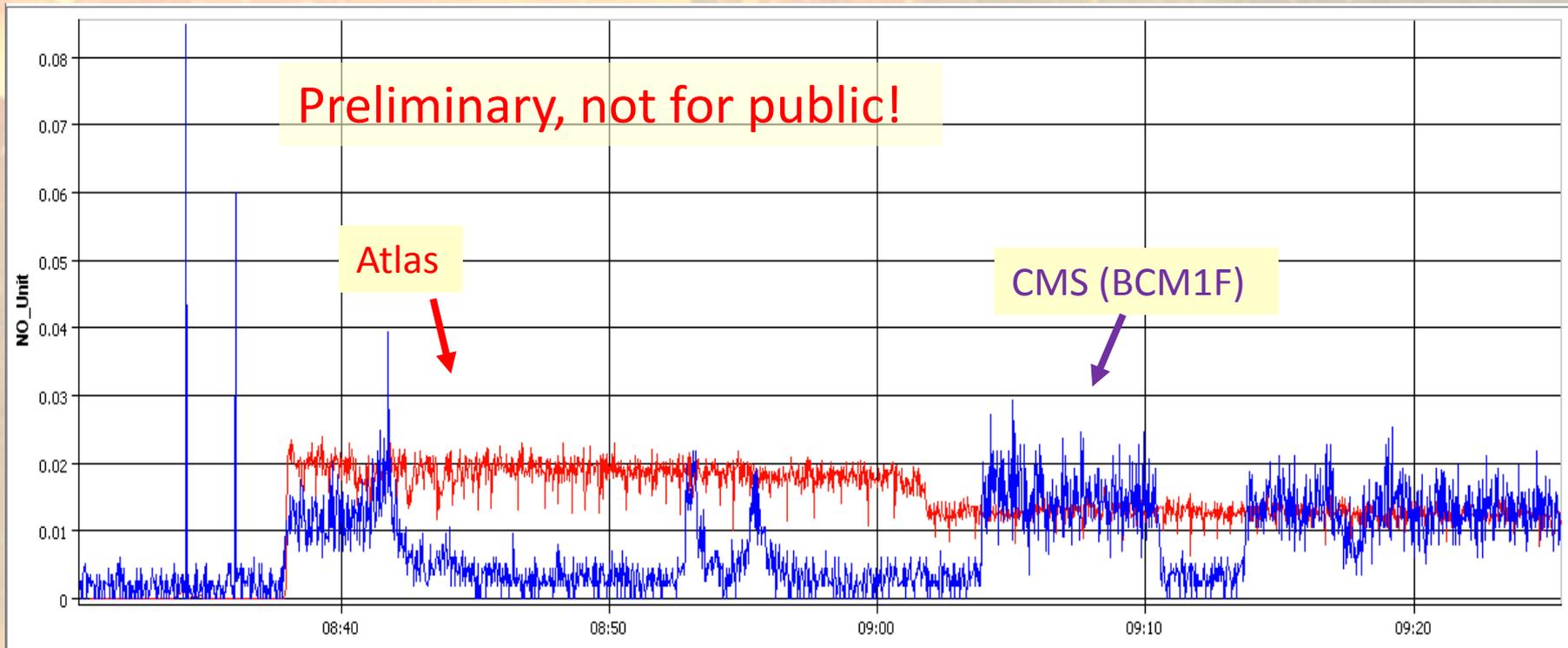
Real-Time Histogramming Unit RHU

Zeit des Teilchendurchgangs in den Sensoren wird mit Nanosekunden Genauigkeit gemessen, und auf ein volles LHC Orbit projiziert.

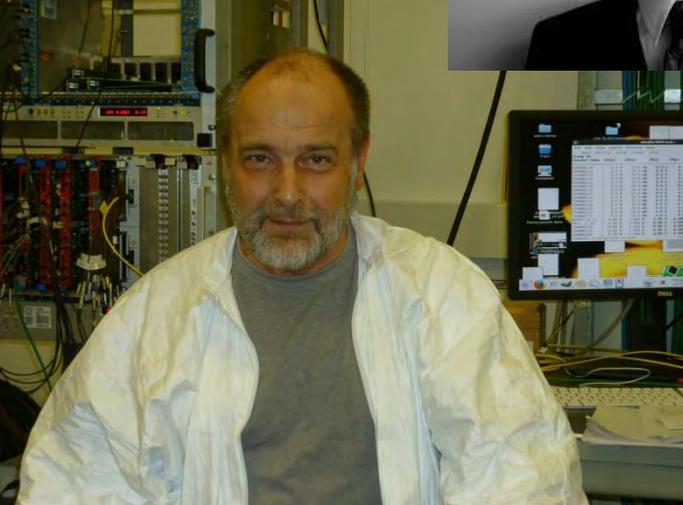


Start orbit → 89 µs → End orbit

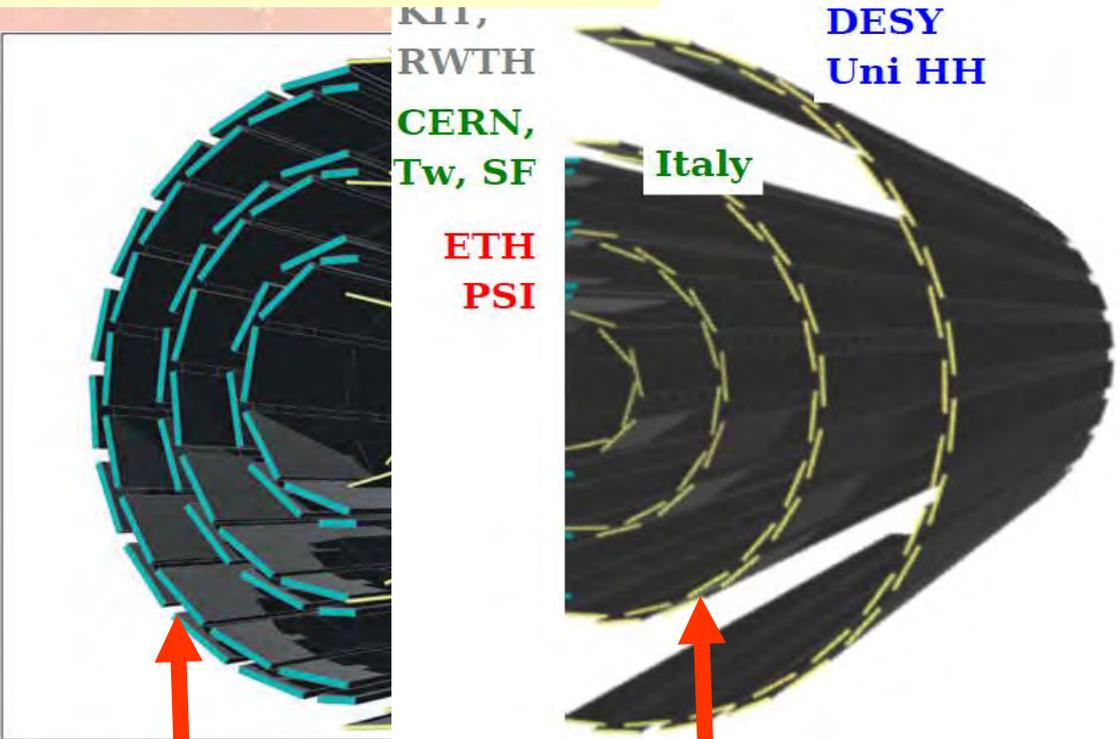
5 Mai, 8.30 : erste Kollisionen in LHC, BCM1F Messung der Luminosität in CMS



LHC justierte die Strahlen, um beiden Experimenten die gleiche Luminosität zu liefern



Pixel detectors



gegenwärtig

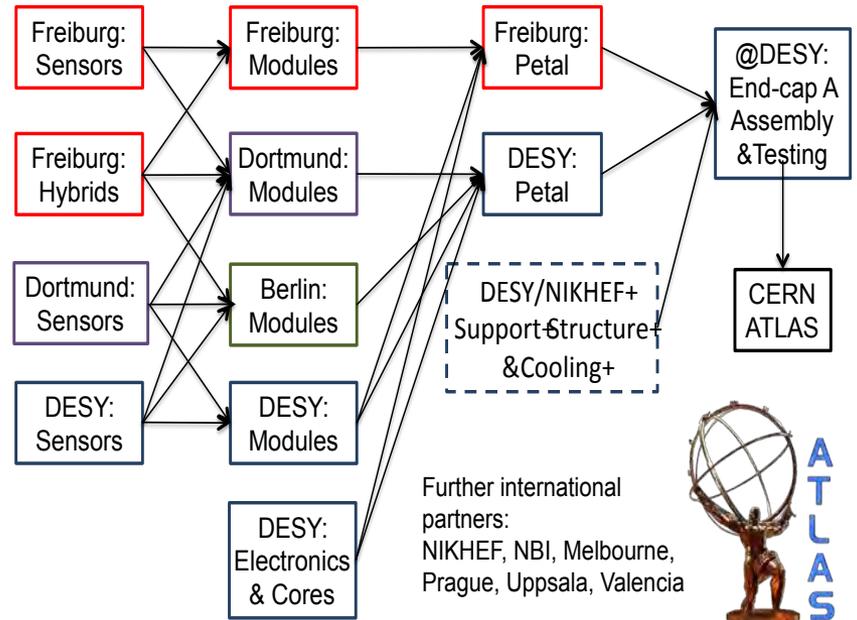
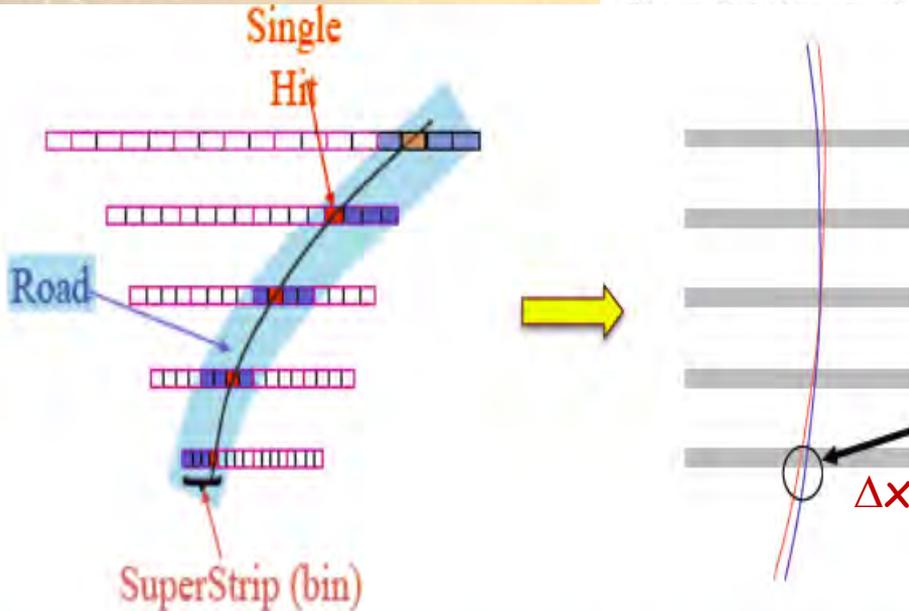
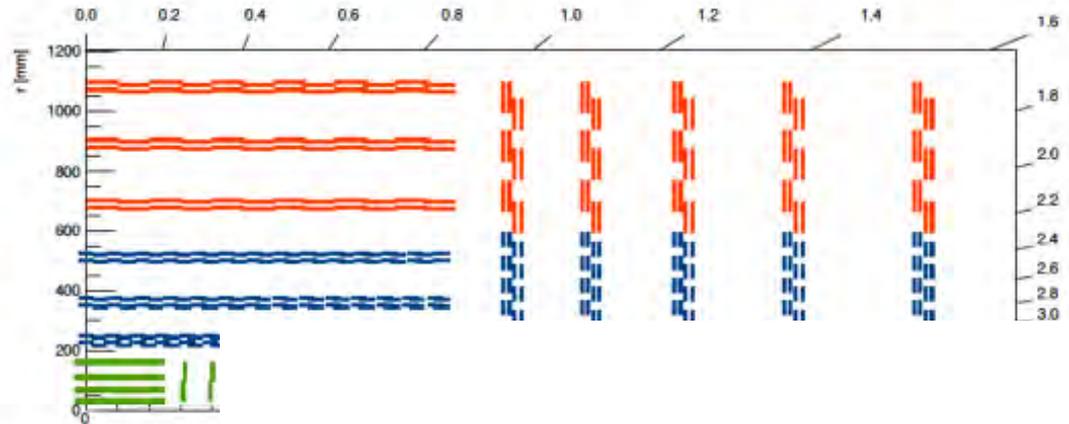
Nach 2016

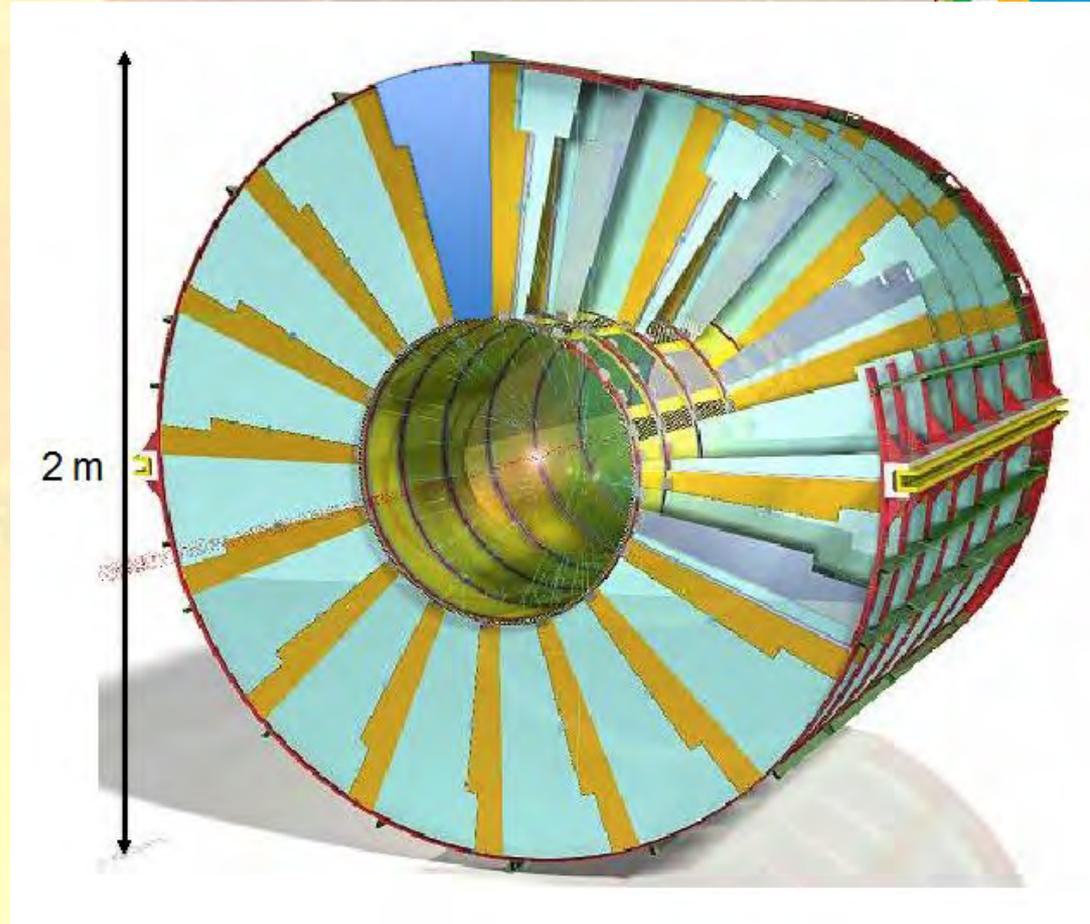
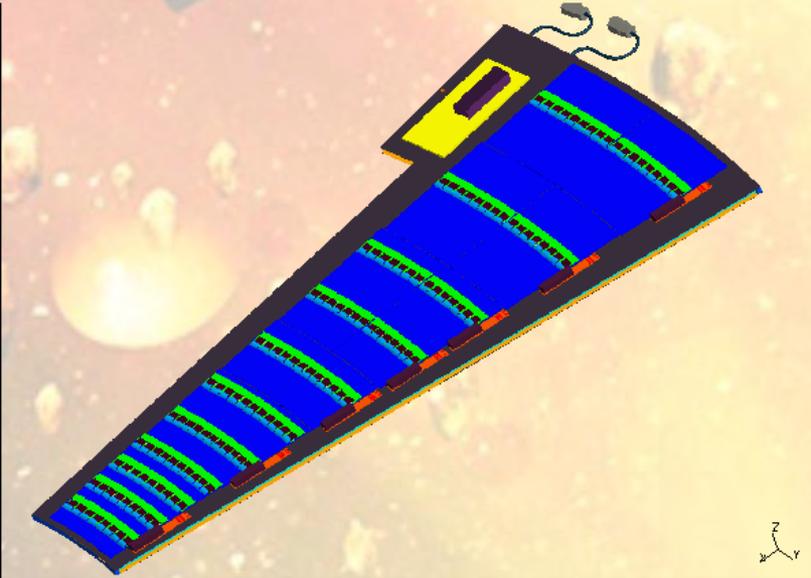
Silicon Sensor (CiS Erfurt) $16 \times 64 \text{ mm}^2$
66560 pixel

Kontaktierung: Laser „bump bonding“



Neue Spurdetektoren
 Strahlenhartes Silizium
 Feine Segmentierung
 Trigger im Detektor
 (ATLAS & CMS)



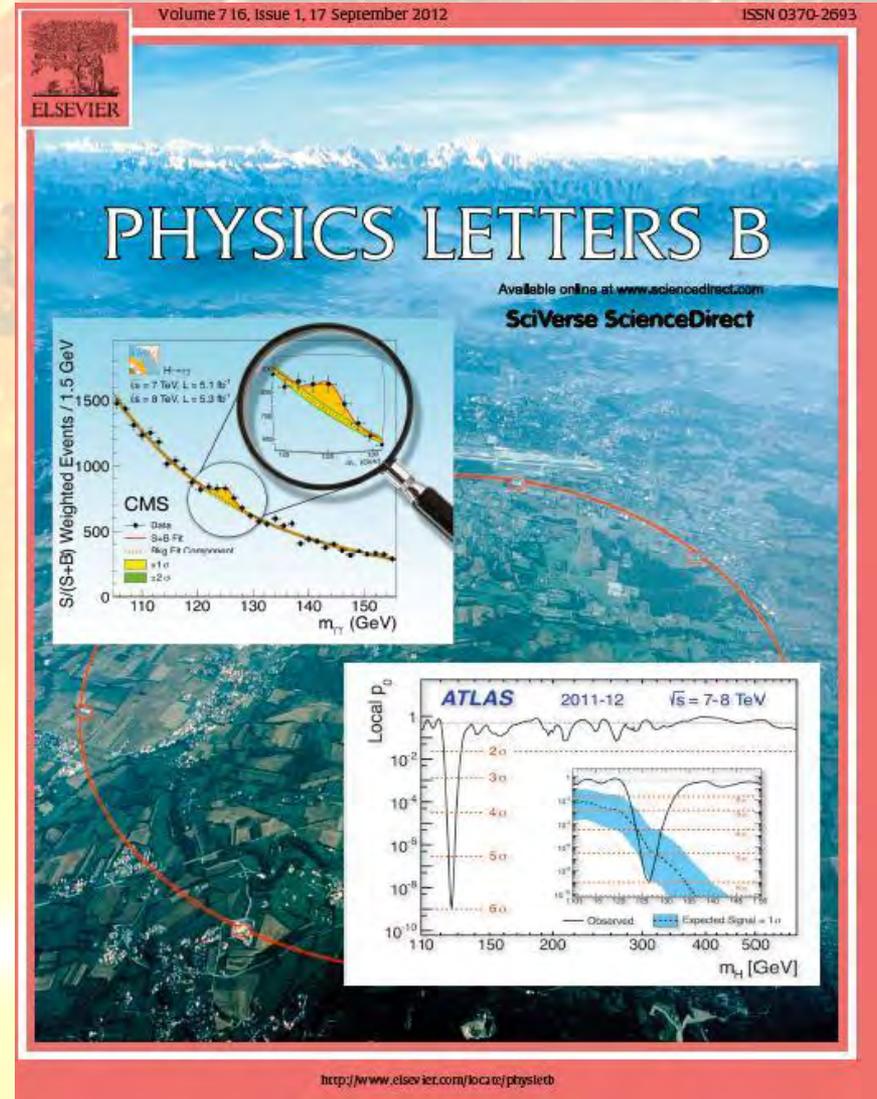


DESY wird „Motage und Testzentrum“
für Tracker Endkappen

Physik des Higgs Boson

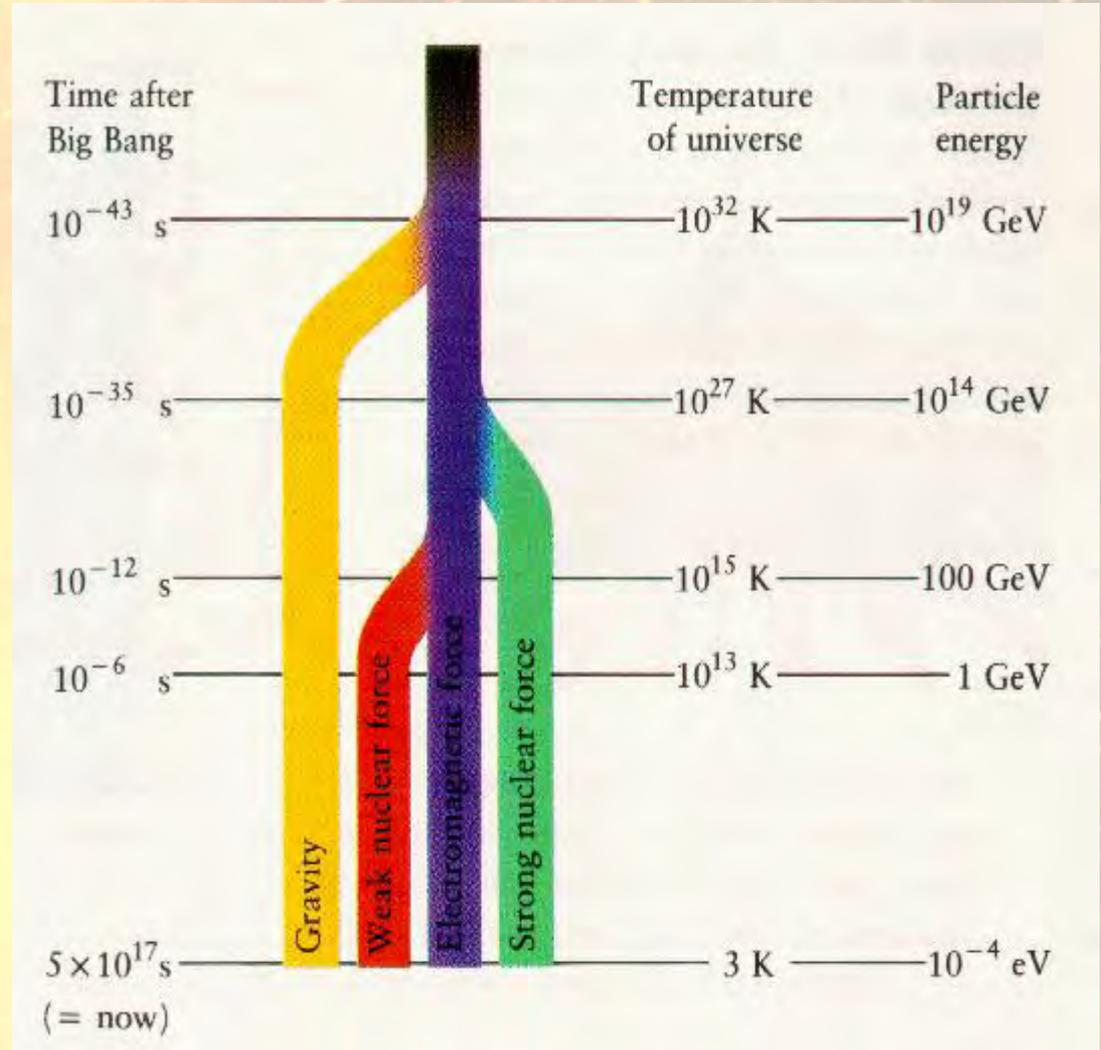
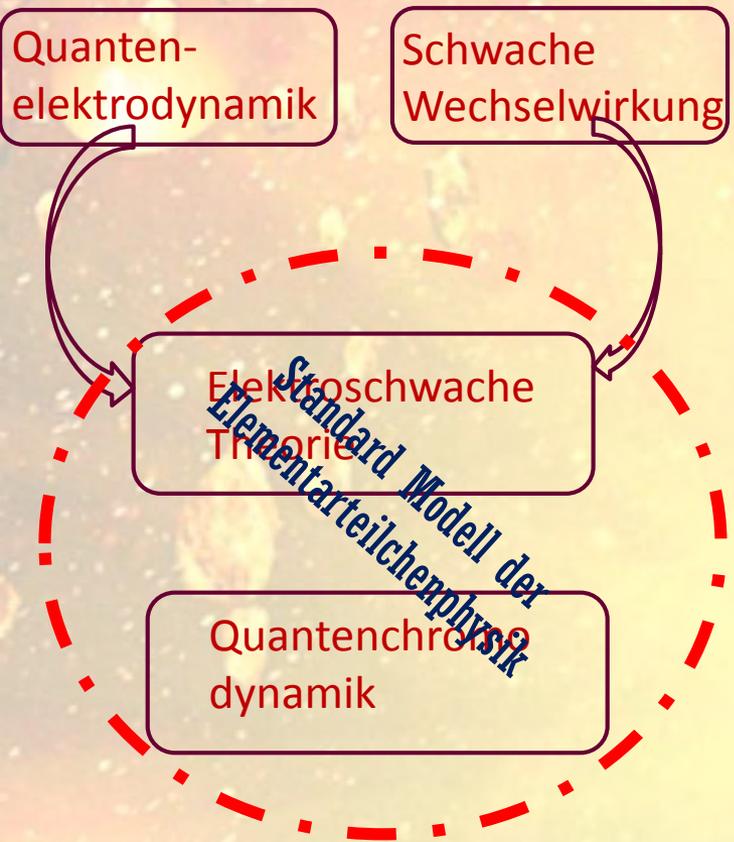
- Lebensdauer
- Zerfallsmodi
- Weitere Higgs Bosonen
- Higgs Boson self couplings
- Yukawa couplings

Vergleich mit den Vorhersagen des SM oder umfassender Theorien !



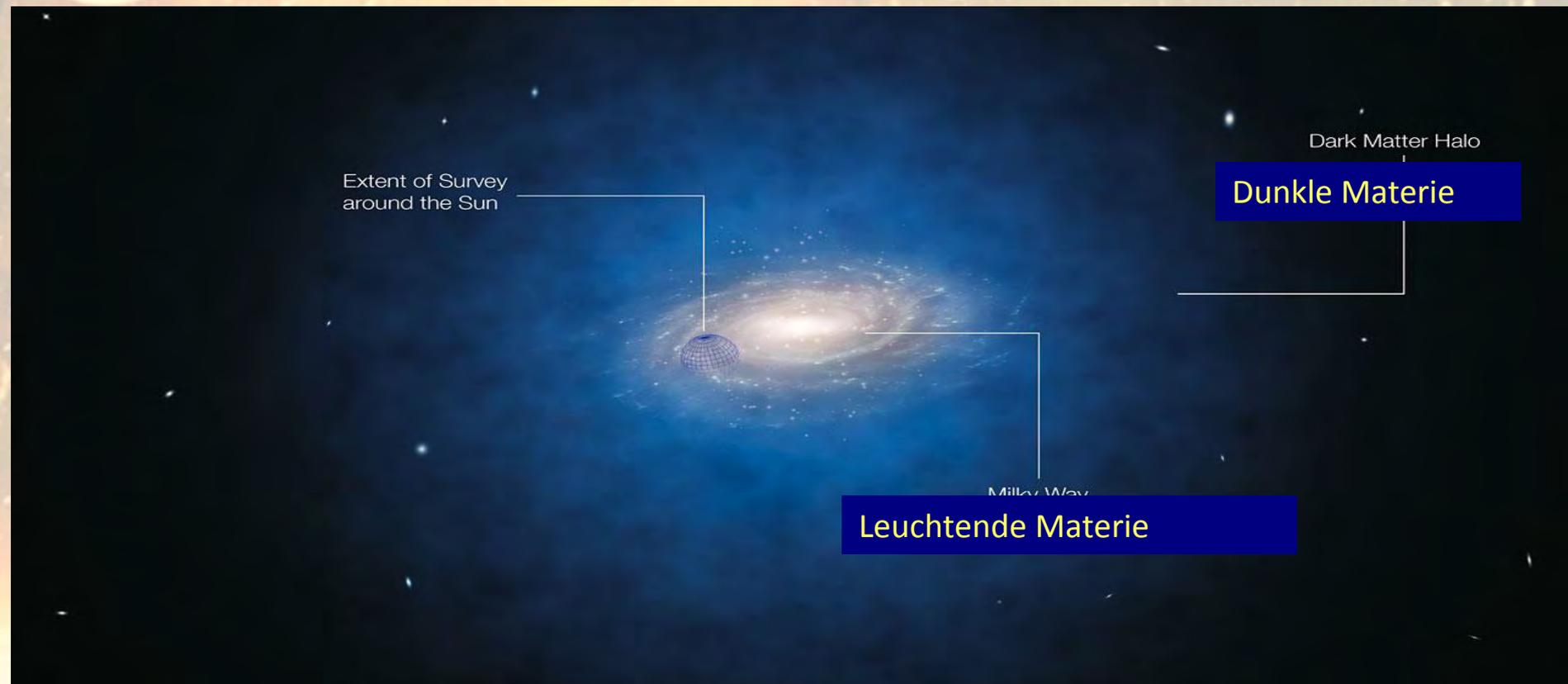
Vereinigung von Theorien

Vor etwa 40 Jahren



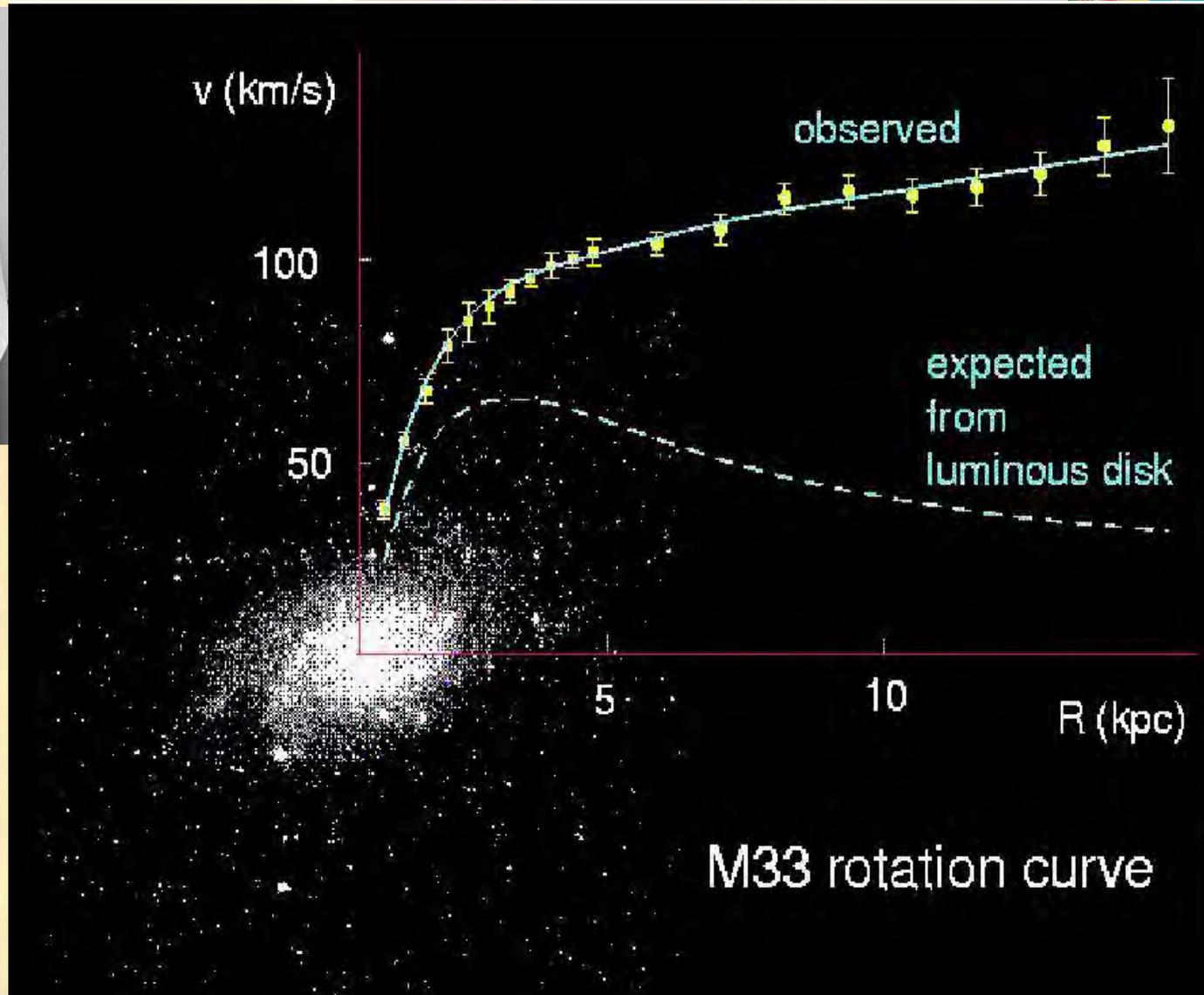
Dunkle Materie

Aus Messungen in der beobachtenden Kosmologie folgt die Existenz von Materie, welche keine elektromagnetische Wechselwirkung zeigt, daher „Dunkle Materie“





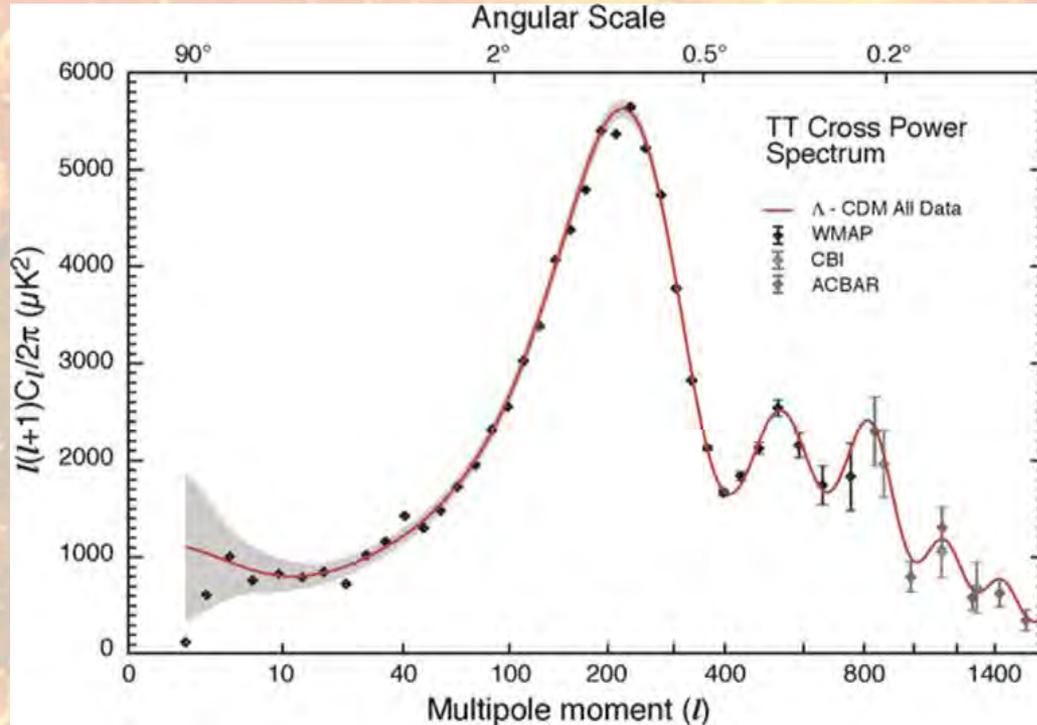
Messungen von
Fritz Zwicky
(etwa 1930)



Multipolentwicklung der
Temperaturschwankungen



100%



60%

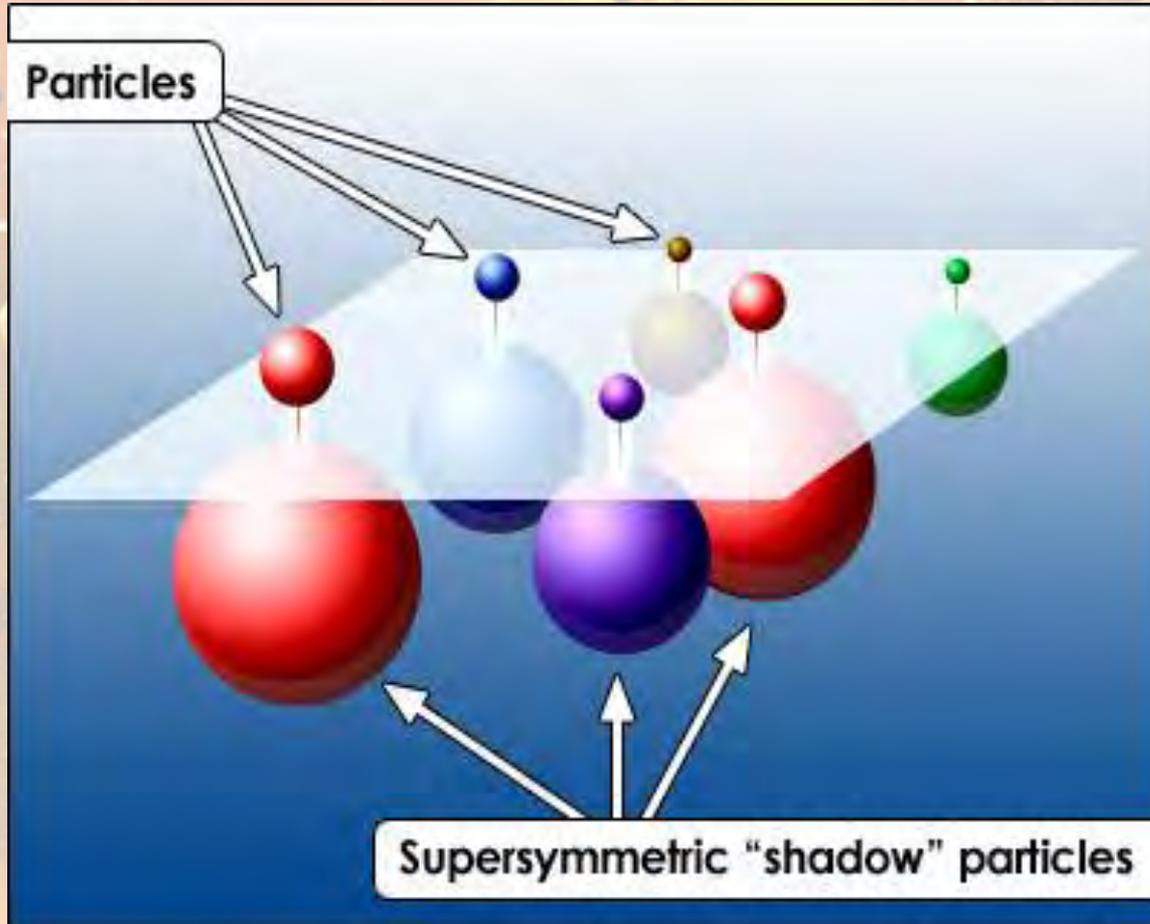


Dunkle Energie,
Beitrag der kosmologischen
Konstanten Ω_Λ

Dunkle Materie

Protonen, Neutronen

Nur etwa 4% der Materie im Universum sind die uns bekannten Elemente, Etwa 23% sind dunkle Materie, der Rest ist 'dunkle Energie', welche zur Expansion des Universums beiträgt



Supersymmetrische Teilchen sind nicht stabil, sie zerfallen ähnlich den radioaktiven Zerfallsreihen.

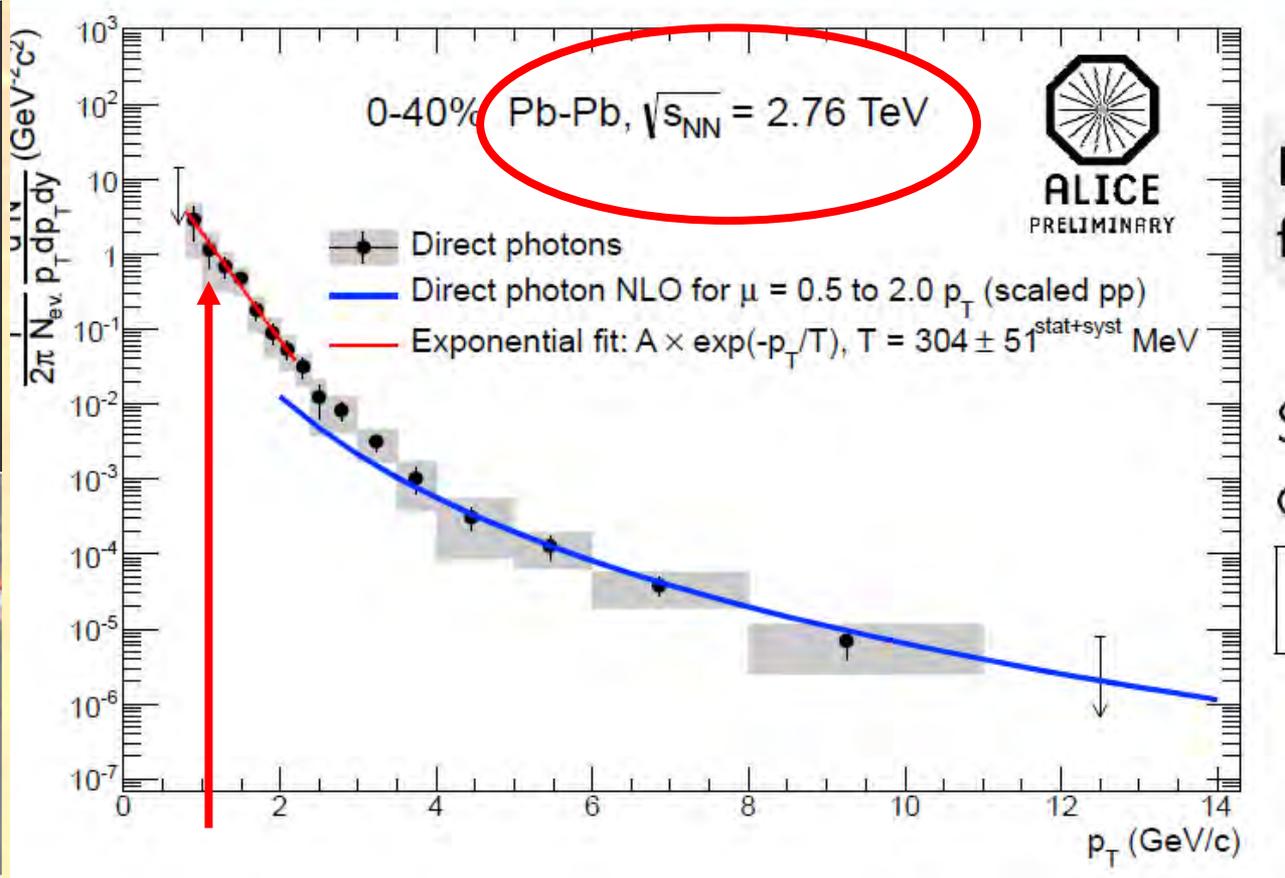
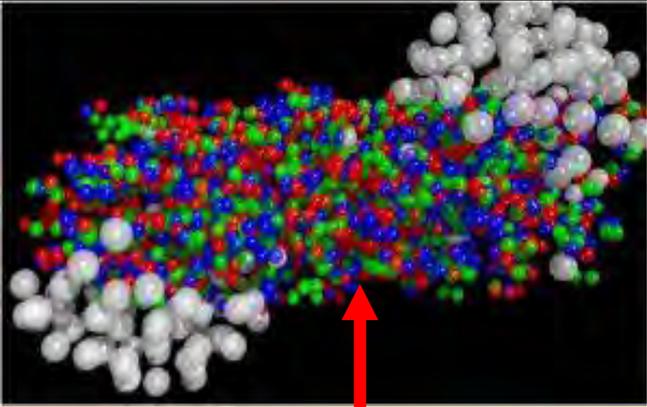
Am Ende der Reihe steht ein 'leichtestes' supersymmetrisches Teilchen, das "Neutralino"

χ_0 ,

Massiv (> 100 GeV), stabil, neutral und nur schwach wechselwirkend!

ALICE Experiment

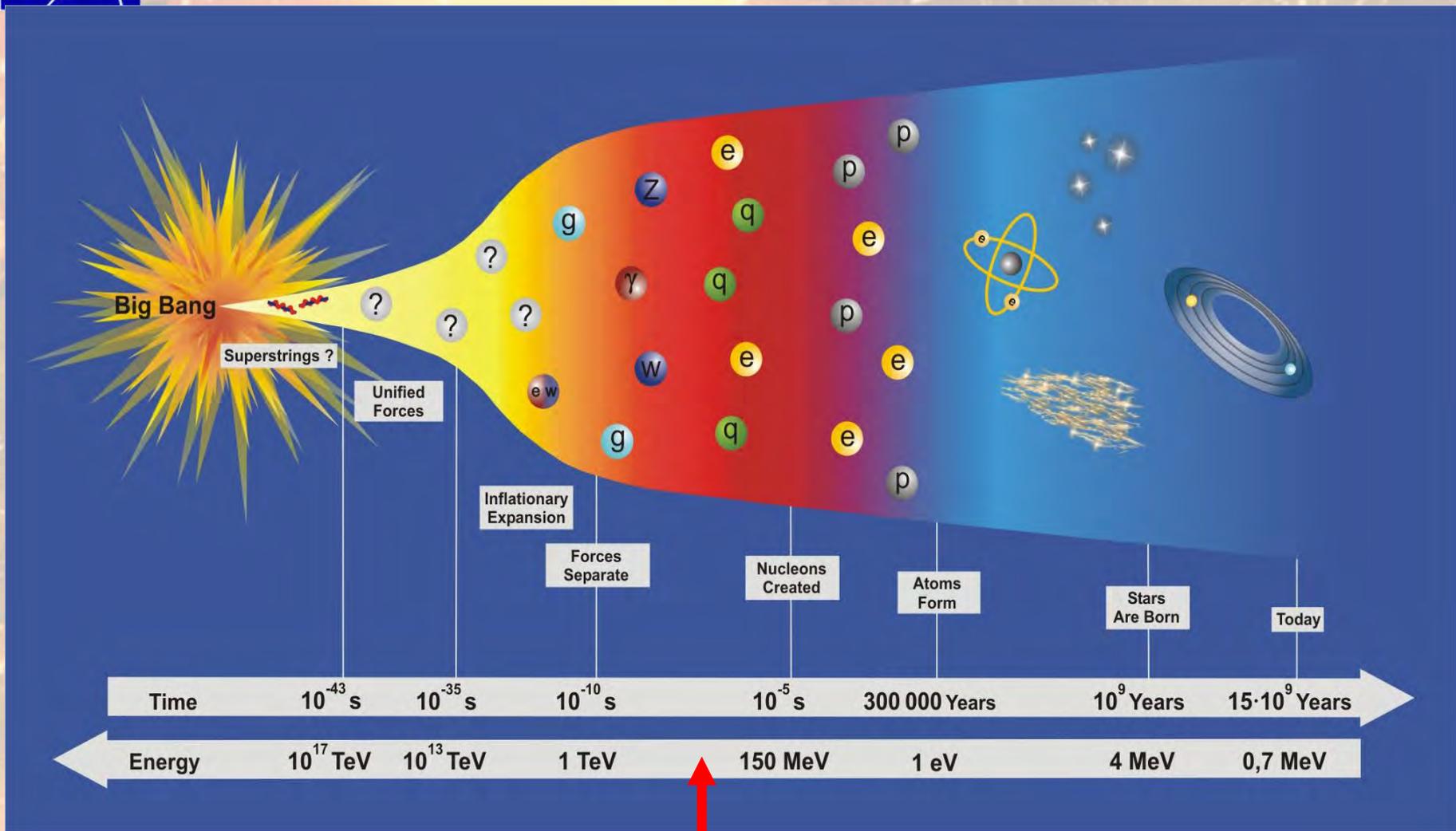
Results of Pb-Pb Direct Photons at 2.76



“Heisse Materie”

Thermische Photonen

$T = 304 \pm 51$ MeV, 5.5×10^{12} K



ALICE





Schluss



- LHC ist wieder in Betrieb genommen
- Energie 8 TeV \rightarrow 13 TeV
- Luminosität x 2
- Alle Experimente warten auf Daten
- Morgen, 21.5. 2015 erste pp Kollisionen bei 13 TeV
- Wir sind gespannt, welche Geheimnisse die Natur preisgibt