



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

Einladung und Programm

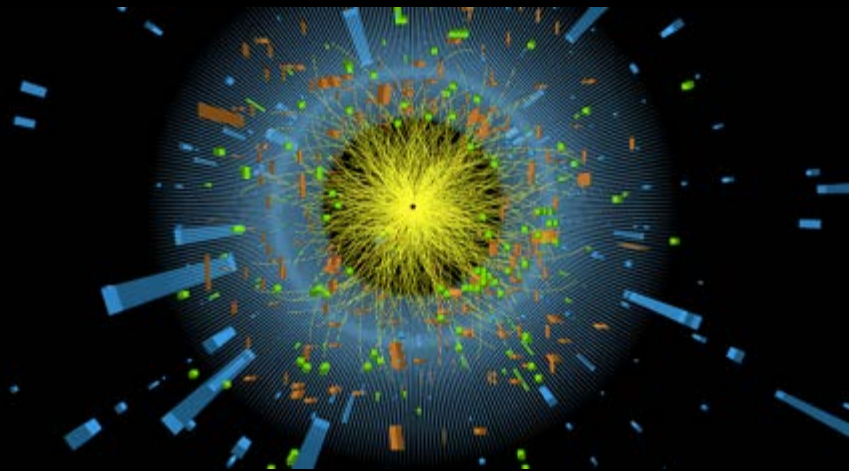
Zeit in Natur und Kultur

Jahresversammlung 2019

20. bis 21. September 2019 | Halle (Saale)



Eine Zeitreise zum Urknall



Felicitas Pauss
ETH Zürich
20. September 2019

Unser sichtbares Universum



10^{11} Galaxien



$\sim 10^{22}$ Sterne

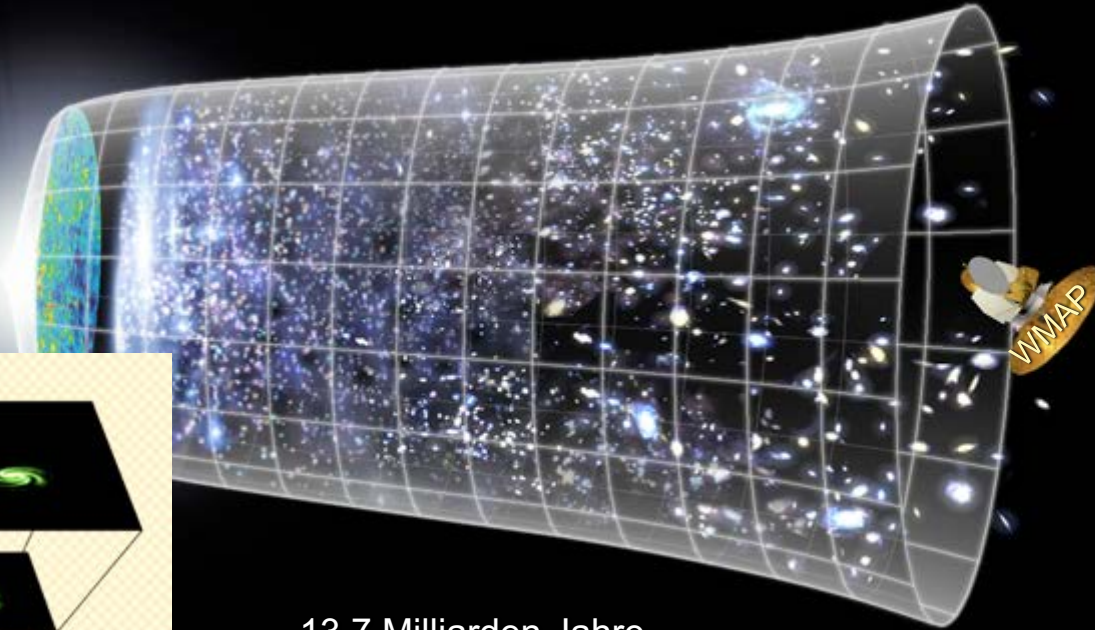


$\sim 10^{78}$ Atome

$\sim 10^{88}$ Photonen

Unser Universum

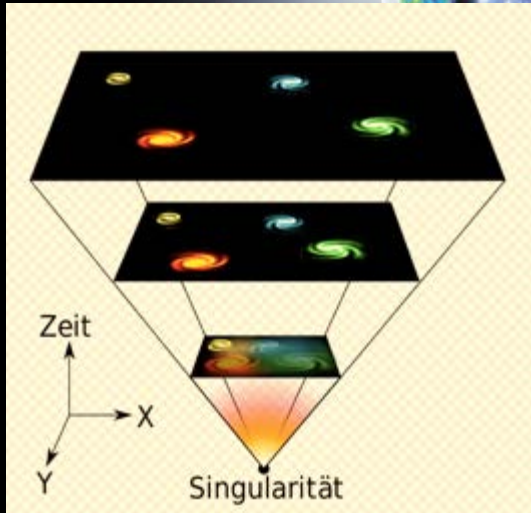
Urknall



13.7 Milliarden Jahre

10^{28} cm

heute





LHC@CERN: $\sim 10^{-12}$ Sekunden

1 Lichtjahr (Lj) $\sim 10^{16}$ m

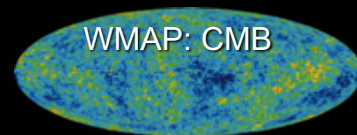
Urknall



Hubble
M74; 32.5MLj



Hubble
Krebsnebel; 6.5kLj



WMAP: CMB

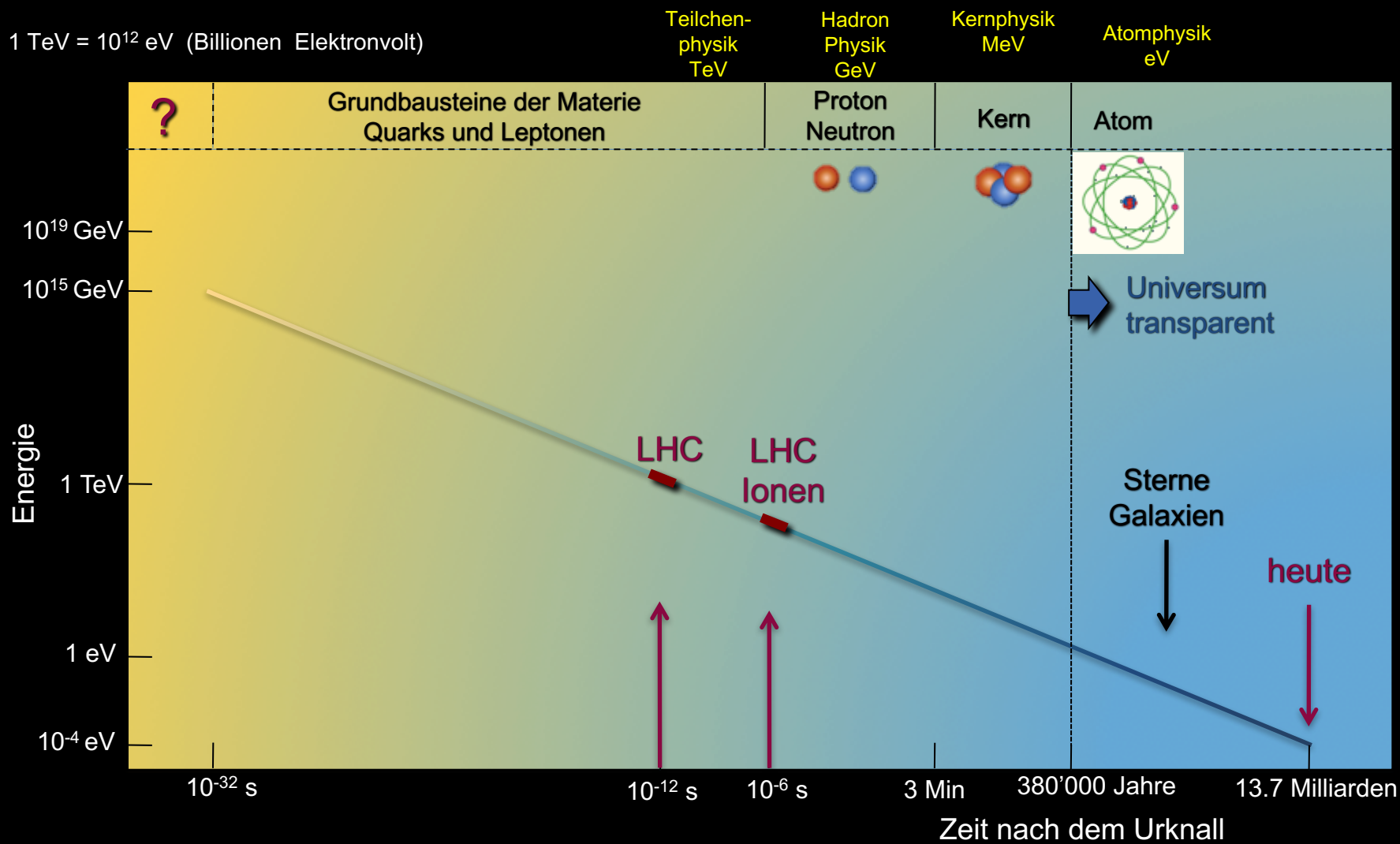
13.7 Milliarden Jahre

heute

Experimente in Astrophysik & Kosmologie 10^{28} cm

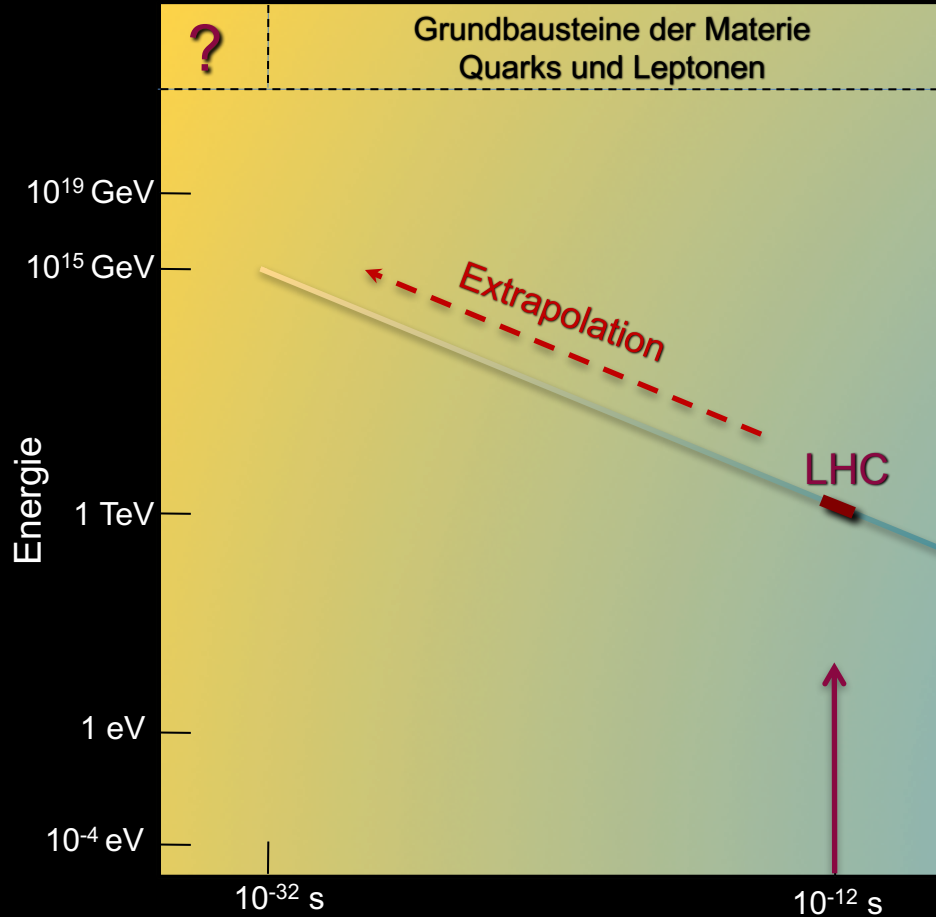
$\sim 380'000$ Jahre nach Urknall

1 TeV = 10^{12} eV (Billionen Elektronvolt)

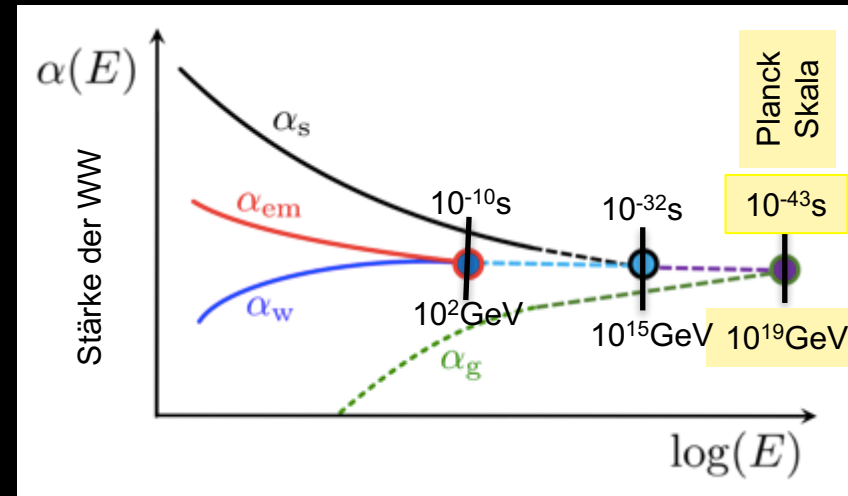


1 TeV = 10^{12} eV (Billionen Elektronvolt)

Teilchen-
physik
TeV

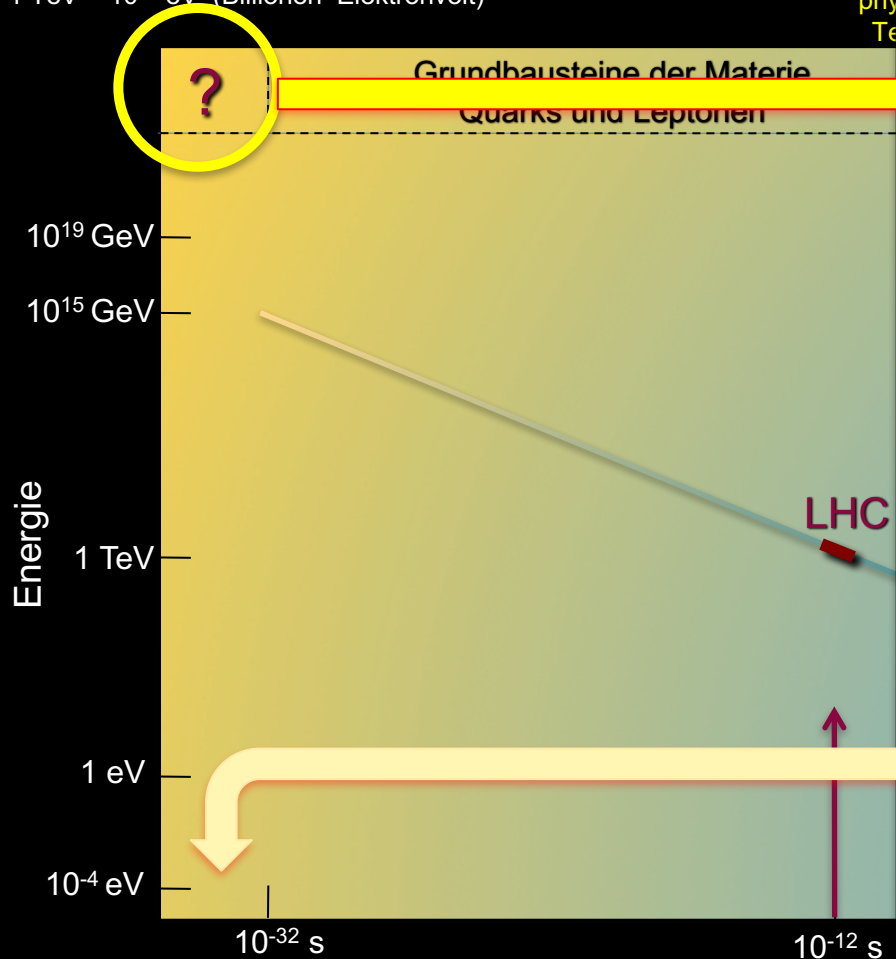


Vereinheitlichung der fundamentalen Kräfte (schematische Darstellung)



1 TeV = 10^{12} eV (Billionen Elektronvolt)

Teilc
phy
Te



Die **Planck-Ära** bezeichnet den Zeitraum nach dem Urknall bis zur kleinsten physikalisch sinnvollen Zeitangabe = Planck Zeit $\sim 10^{-43}$ s

Planck-Skala: markiert eine Grenze für die Anwendbarkeit der bekannten Gesetze der Physik

- ❖ Planck Länge: $\sim 10^{-35}$ m
- ❖ Planck Energie (Masse) $\sim 10^{19}$ GeV
- ❖ Planck Temperatur $\sim 10^{32}$ K

Kosmische Inflation
das Universum dehnte sich innerhalb von 10^{-35} bis 10^{-32} Sekunden um einen Faktor zwischen 10^{30} und 10^{50} aus.

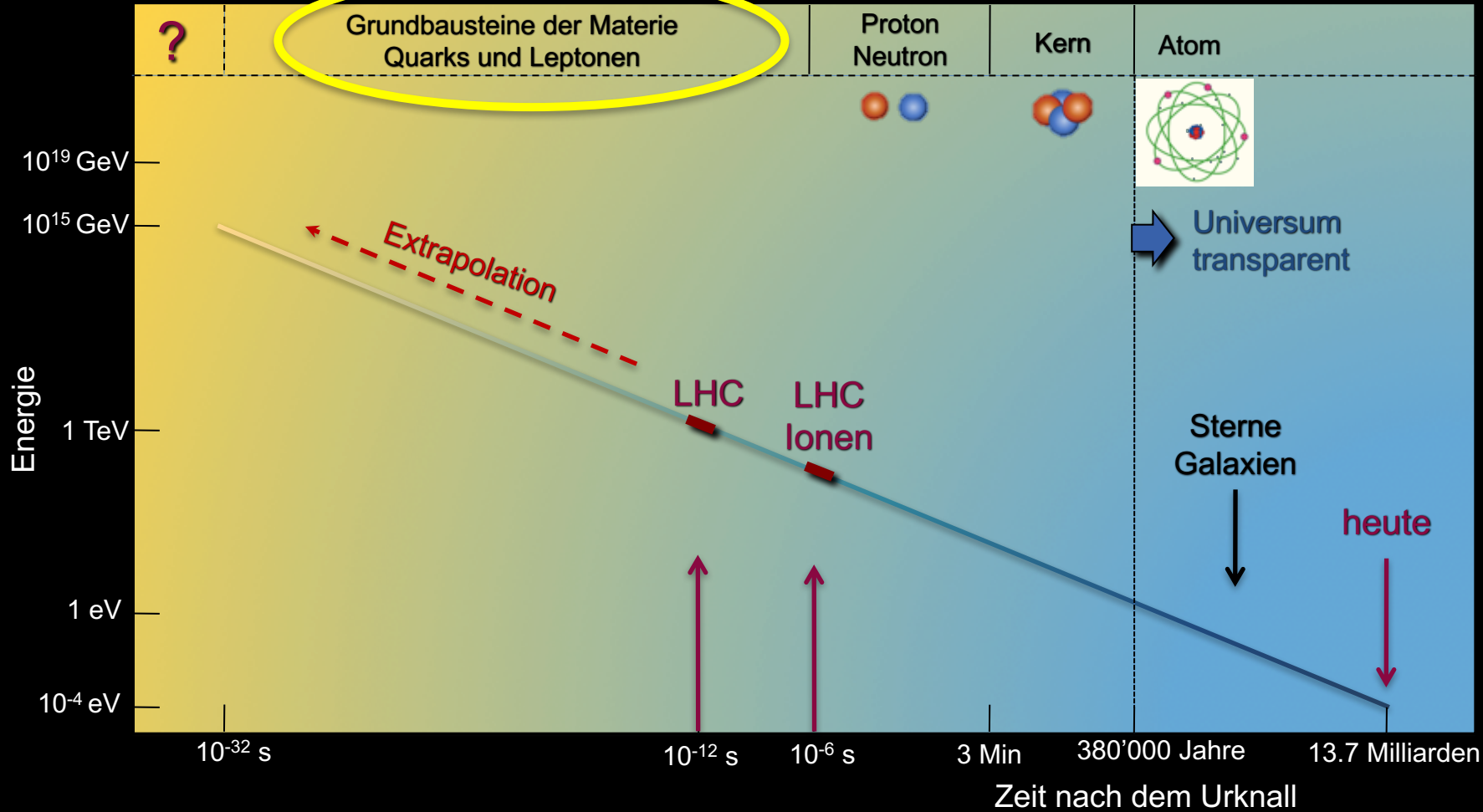
1 TeV = 10^{12} eV (Billionen Elektronvolt)

Teilchen-
physik
TeV

Hadron
Physik
GeV

Kernphysik
MeV

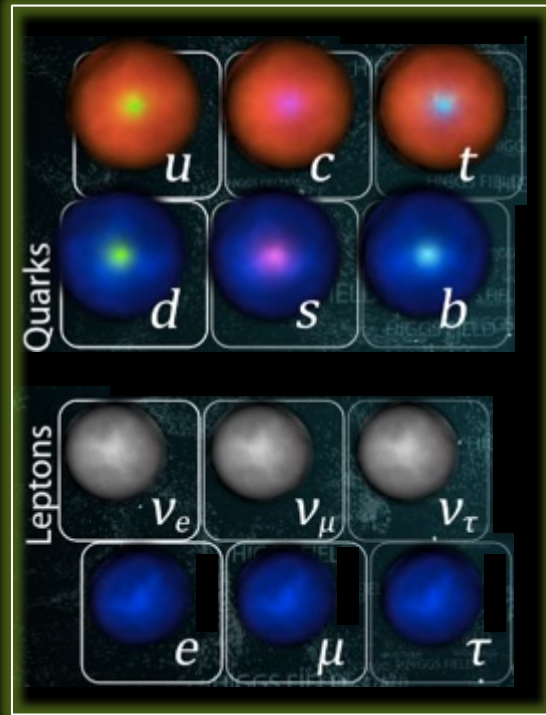
Atomphysik
eV



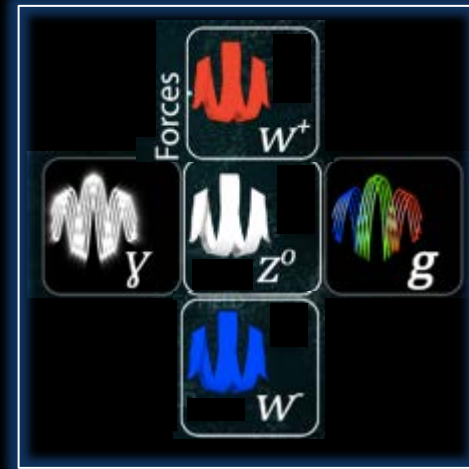
Das Standardmodell der Teilchenphysik

Es beschreibt sehr erfolgreich die Wechselwirkungen zwischen den Grundbausteinen der Materie.
Die Vorhersagen wurden in den letzten ~40 Jahren mit sehr hoher Genauigkeit getestet.

Grundbausteinen der Materie



Träger der fundamentalen Kräfte



Das Standardmodell der Teilchenphysik



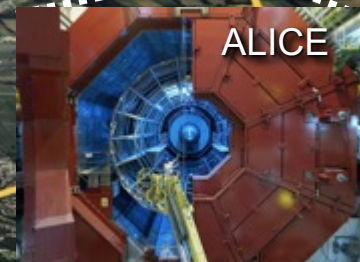
CERN gegründet in 1954 (12 Europäische Staaten)

Heute: 23 Mitgliedsstaaten (MS)
und 7 Assoziierte MS



CMS

Weltweit grösste Forschungsanlage der Teilchenphysik



Seit März 2010 Erforschung
eines neuen Energie-Bereichs
in Proton-Proton und Pb-Pb
Kollisionen

ATLAS A Toroidal LHC ApparatuS
CMS Compact Muon Solenoid
LHCb Large Hadron Collider beauty
ALICE A Large Ion Collider Experiment



4. Juli 2012: CERN Experimente weisen ein Teilchen nach, im Einklang mit dem lange gesuchten Higgs Teilchen

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

Wonach haben wir gesucht?
Was haben wir beobachtet?

$$E = mc^2$$

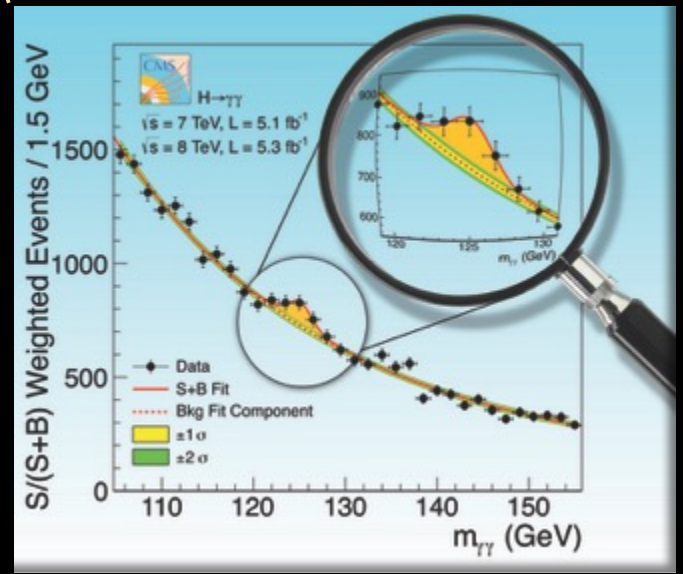
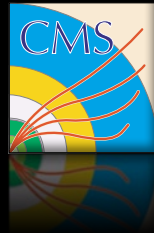


→ sehr fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Theorie und Experiment



Herausforderung: finde die ~200 Higgs Ereignisse ($m_H \sim 125$ GeV) in den 4 Milliarden registrierten Ereignissen

1 Higgs → 4e wird in 10^{13} pp Kollisionen produziert



Der Nobel Preis in Physik 2013

an François Englert & Peter Higgs



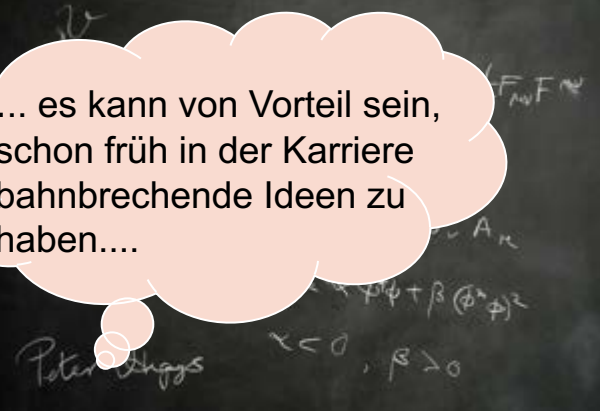
„Für die theoretische Entdeckung eines Mechanismus, der zu unserem Verständnis des Ursprungs der Masse subatomaren Teilchen beiträgt, und der kürzlich durch die Entdeckung des vorhergesagten Elementarteilchens durch die ATLAS und CMS Experimente am Large Hadron Collider des CERN bestätigt wurde“



François Englert

Peter Higgs

... es kann von Vorteil sein,
schon früh in der Karriere
bahnbrechende Ideen zu
haben....



Der LHC und die LHC-Experimente sind Meisterwerke der Technologie!



..... müssen geduldig sein.....

- ✦ 1984: offizieller Start LHC Projekt
- ✦ Viele Jahre Forschung & Entwicklung
- ✦ Experimentelle Programm begann Anfang 1990
- ✦ Bau der Experimente dauerte ~ 8 Jahre



Innovative Technologien
zusammen mit Industrie entwickelt

- ATLAS A Toroidal LHC ApparatuS
- CMS Compact Muon Solenoid
- LHCb Large Hadron Collider beauty
- ALICE A Large Ion Collider Experiment

CMS = Compact Muon Solenoid

Gigantische und sehr komplexe digitale Kamera

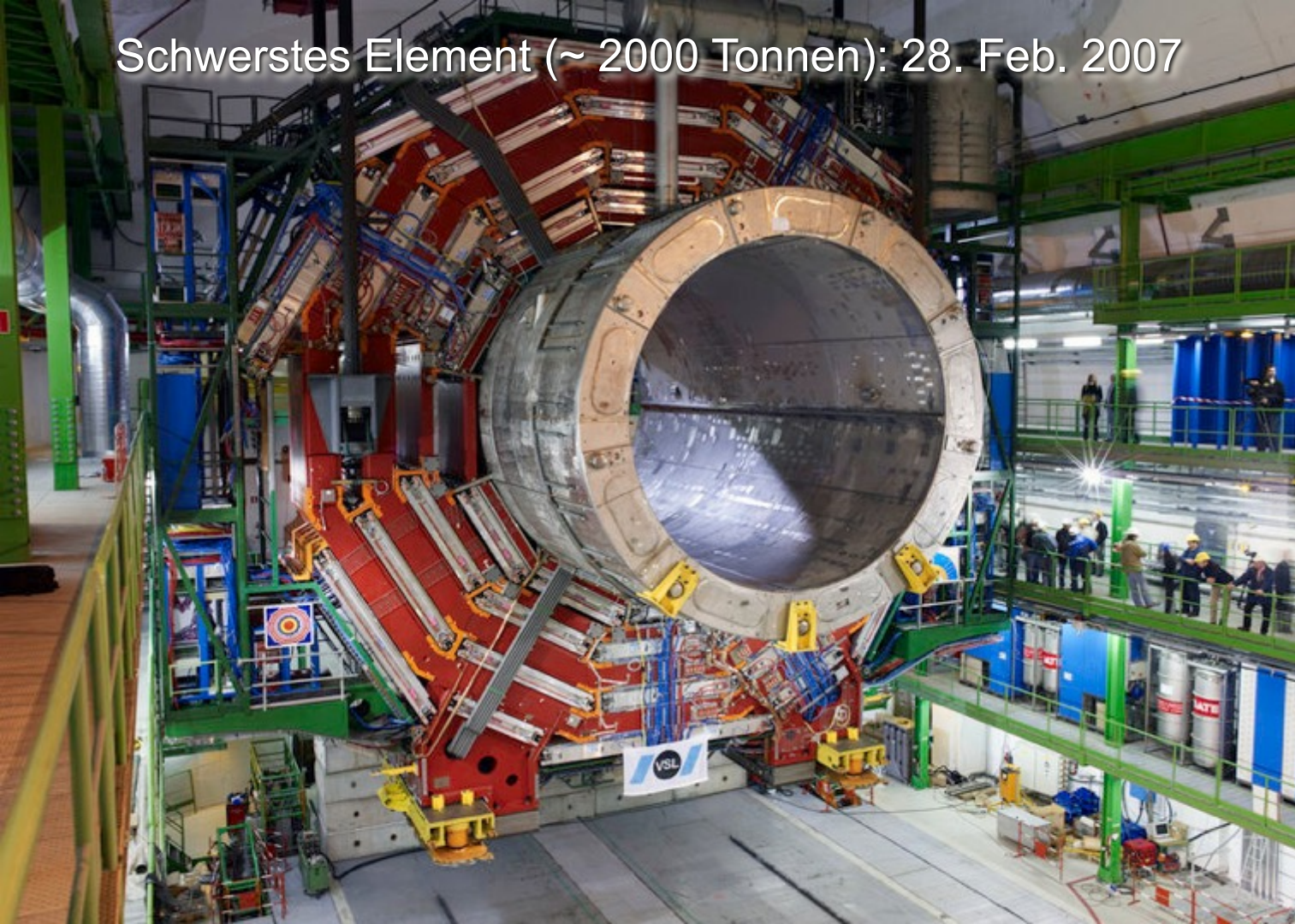
CMS Detektor

Gewicht: 12'500 t
Diameter: 15 m
Länge: 21.6 m
Magnetfeld: 4 T

~ 100M individuelle
Auslesekanäle



Schwerstes Element (~ 2000 Tonnen): 28. Feb. 2007

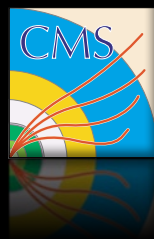
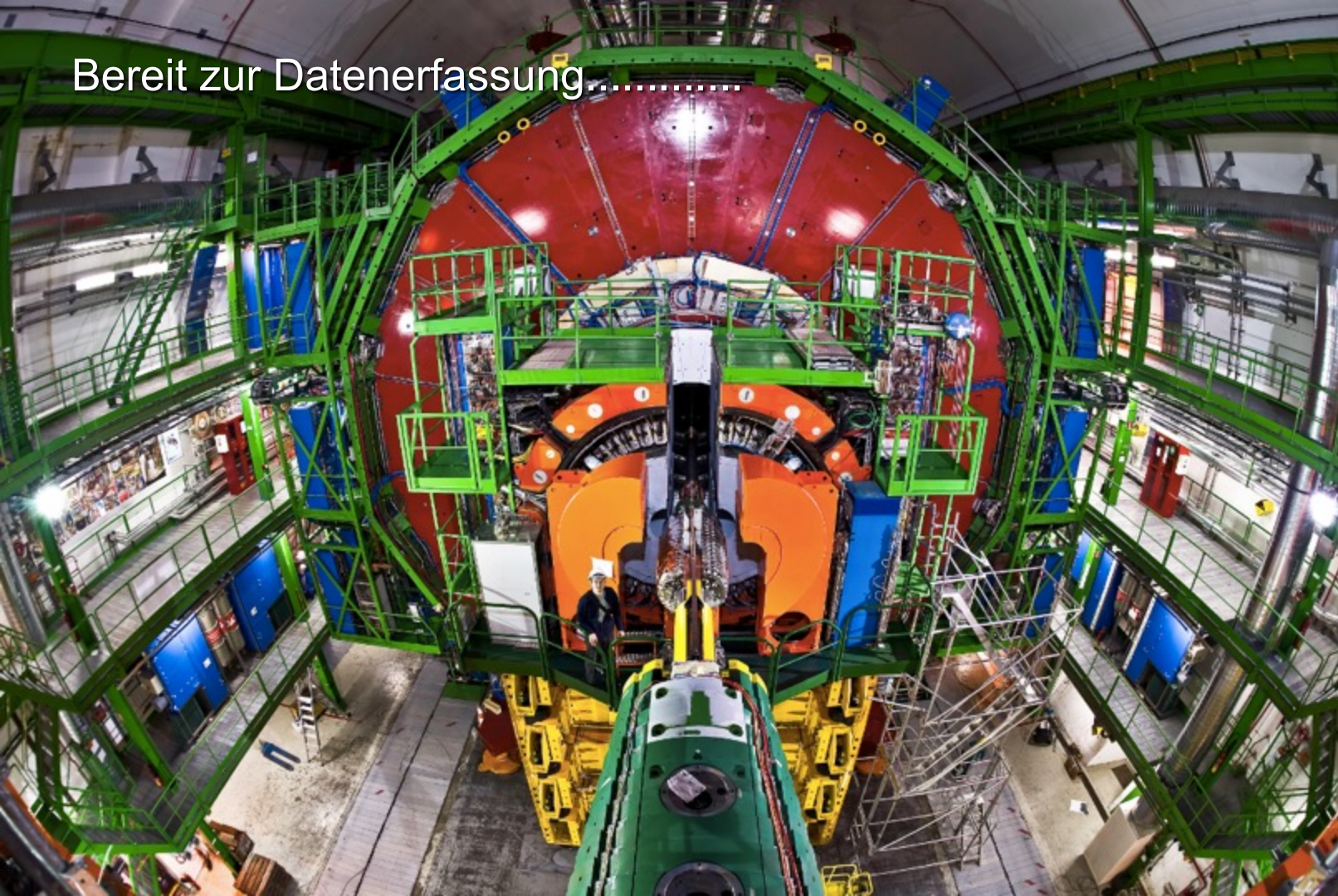


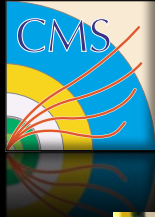
~10 cm Abstand
zwischen Detektor und
Balkenbarriere

Fast so schwer wie 5
Jumbo Jets oder 3.5
Airbus380



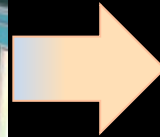
Bereit zur Datenerfassung.....





CMS: ein globales wissenschaftliches Projekt

~4000 Mitglieder, ~50 Länder, ~230 Institute

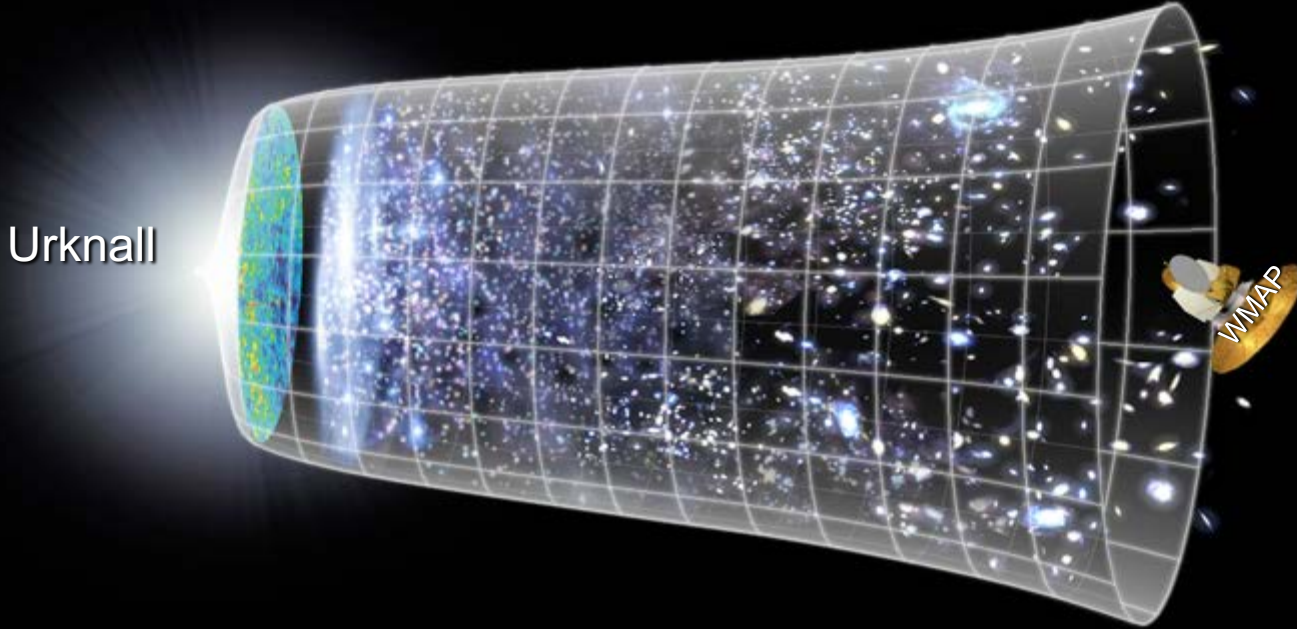


CMS authors for Higgs discovery paper



In alphabetischer Reihenfolge!

Zurück zu unserer Zeitreise zum Urknall: Archäologie unseres Universums



Wissenschaftliche Herausforderung:
Zeitreise zum Urknall fortsetzen mit dem Ziel, zur Beantwortung fundamentaler
offener Fragen in der modernen Physik beizutragen

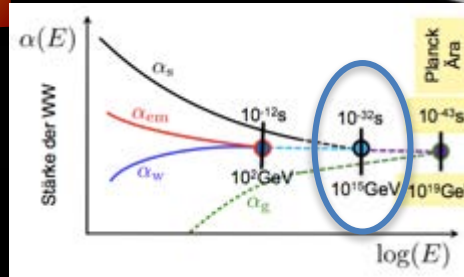
Beispiele: fundamentale offene Fragen

Urknall

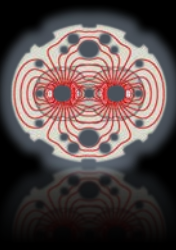
woraus besteht die
geheimnisvolle
Dunkel Materie?
~84% der Materie im
Universum ist dunkel!

WMAP

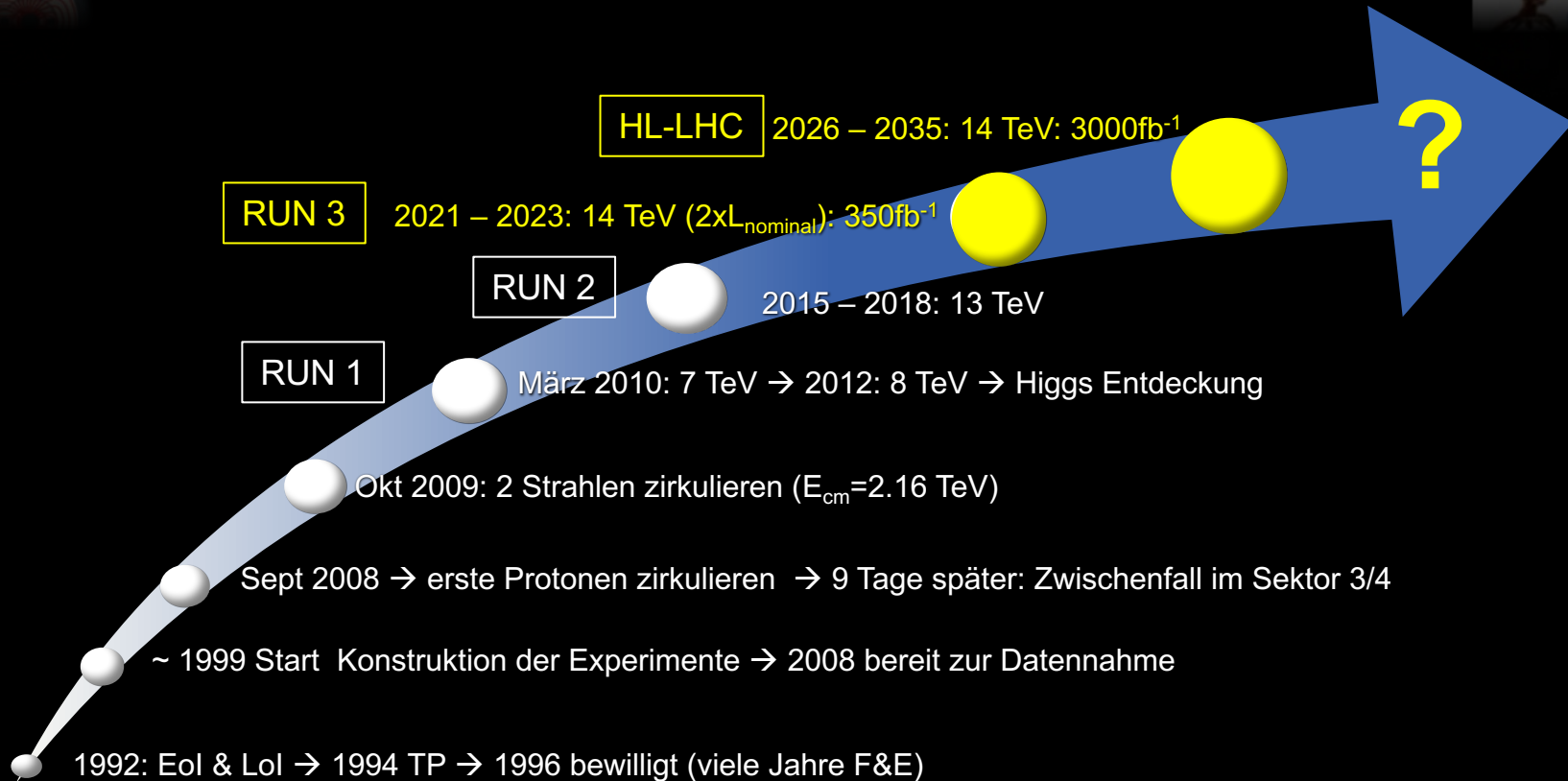
Warum hat sich Materie und
Antimaterie in der Entwicklung
des Universums nicht
vollständig vernichtet?



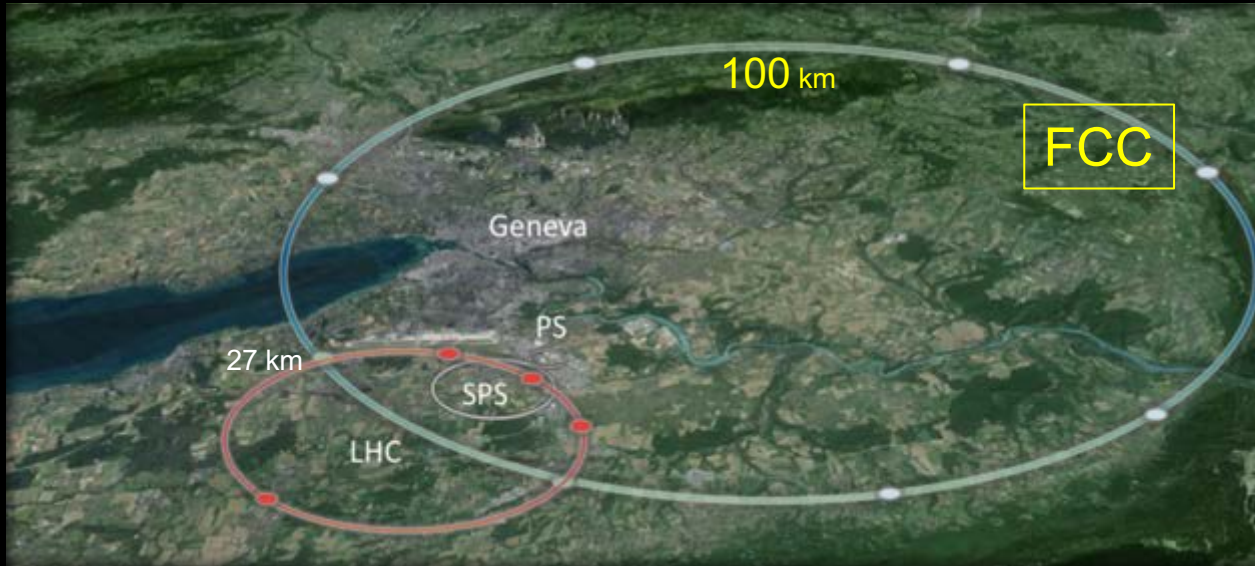
Vereinheitlichung der
fundamentalen Kräfte?



Die nächsten Schritte



Ein Zukunftsprojekt für den CERN



1. Phase
FCCee: 90 – 365 GeV
Higgs Fabrik:
>10⁶ Higgs Ereignisse

2. Phase
FCCpp ~100TeV

typischer Zeitplan nach Projekt Start:

- Vorbereitungsphase (8 Jahre)
- Konstruktion (10)
- Physik (ee: 15 Jahre)
- In parallel zu FCCee: R&D für FCCpp (16 T SC Magnete)

Die Archäologie unseres Universums ist noch nicht abgeschlossen!

Das Geheimnis von Materie, Raum und Zeit zu lüften, ist nach wie vor eine sehr faszinierende – und grosse – Herausforderung.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !