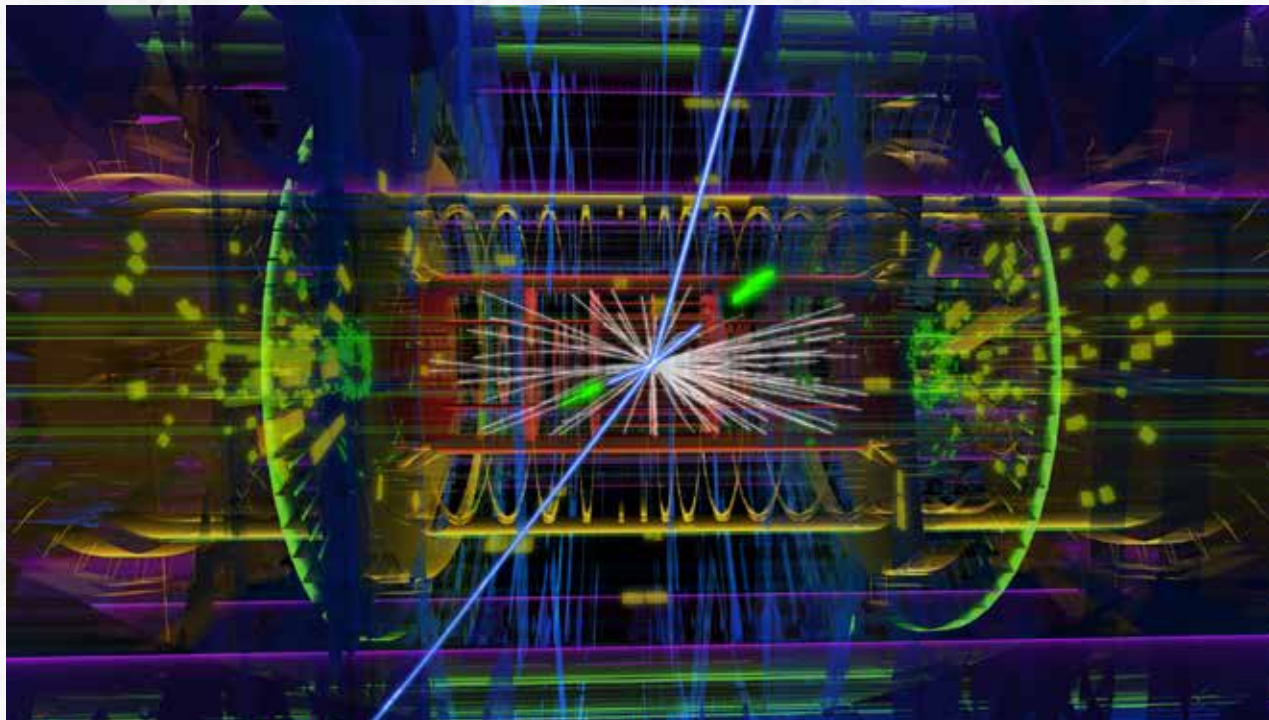


CERN, die Entdeckung des Higgs-Partikels und das Management von Großprojekten

-Kleinste Teilchen, komplexe Aufgaben-



Prof. Dr. Karl Jakobs
Physikalisches Institut
Universität Freiburg

CERN, die Entdeckung des Higgs-Partikels und das Management von Großprojekten

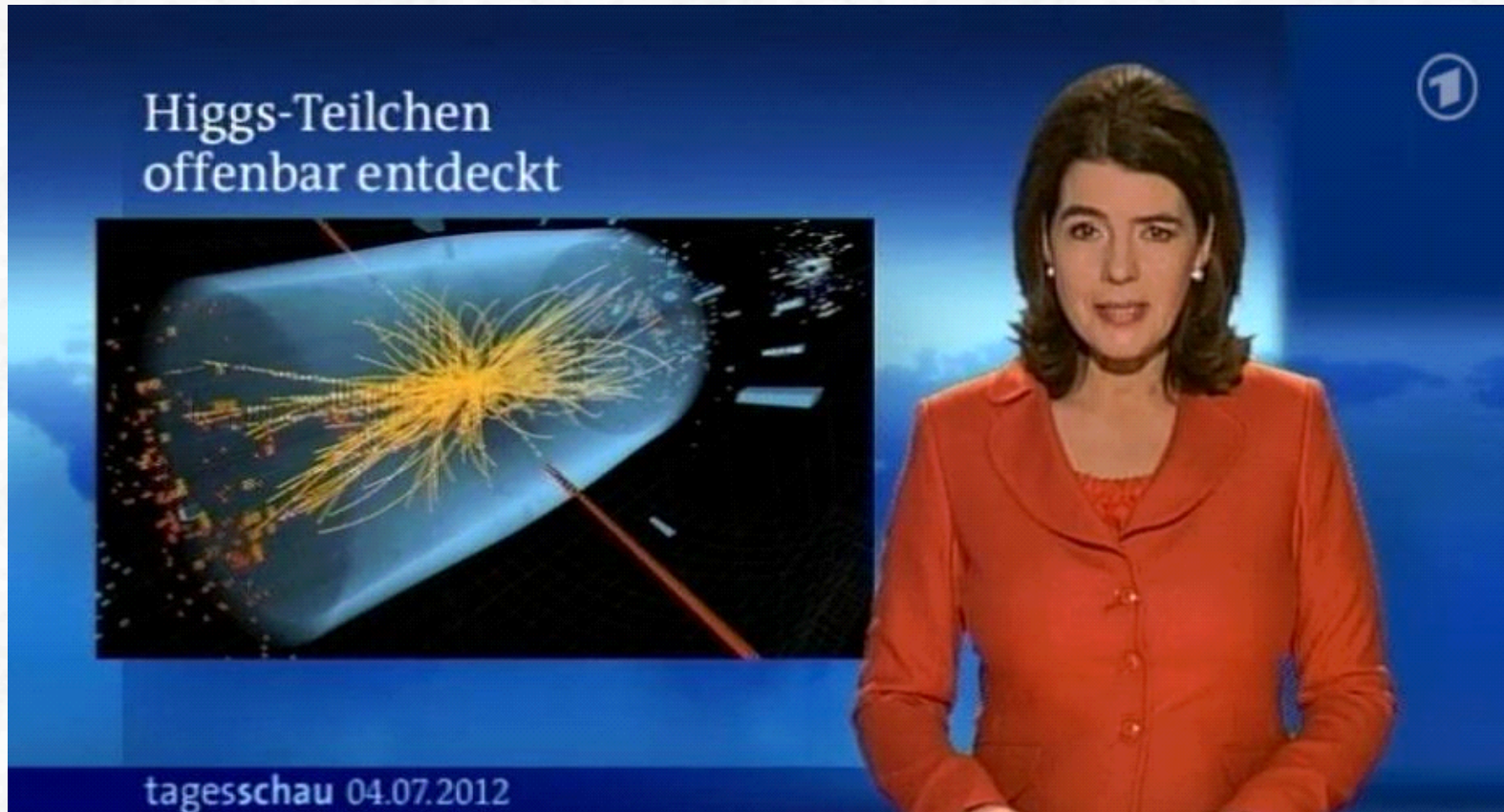
-Kleinste Teilchen, komplexe Aufgaben-

- Teilchenphysik: Motivation und Zielsetzung
- CERN: ein Musterbeispiel europäischer Kooperation
- Das LHC-Projekt
- Die Entdeckung des Higgs-Teilchens
- Bedeutung für die Gesellschaft



Prof. Dr. Karl Jakobs
Physikalisches Institut
Universität Freiburg

4. Juli 2012





From the editorial:

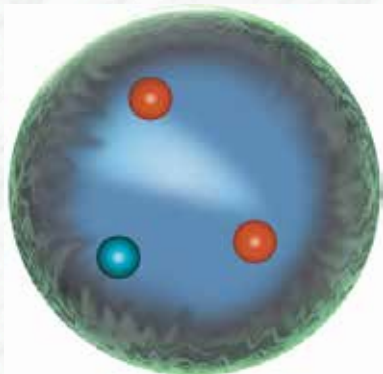
“The top Breakthrough of the Year – the discovery of the Higgs boson – was an unusually easy choice, representing both a triumph of the human intellect and the culmination of decades of work by many thousands of physicists and engineers.”

Motivation und Zielsetzung der Teilchenphysik



Einheitliche und umfassende
Beschreibung der

Materie und ihrer Wechselwirkungen

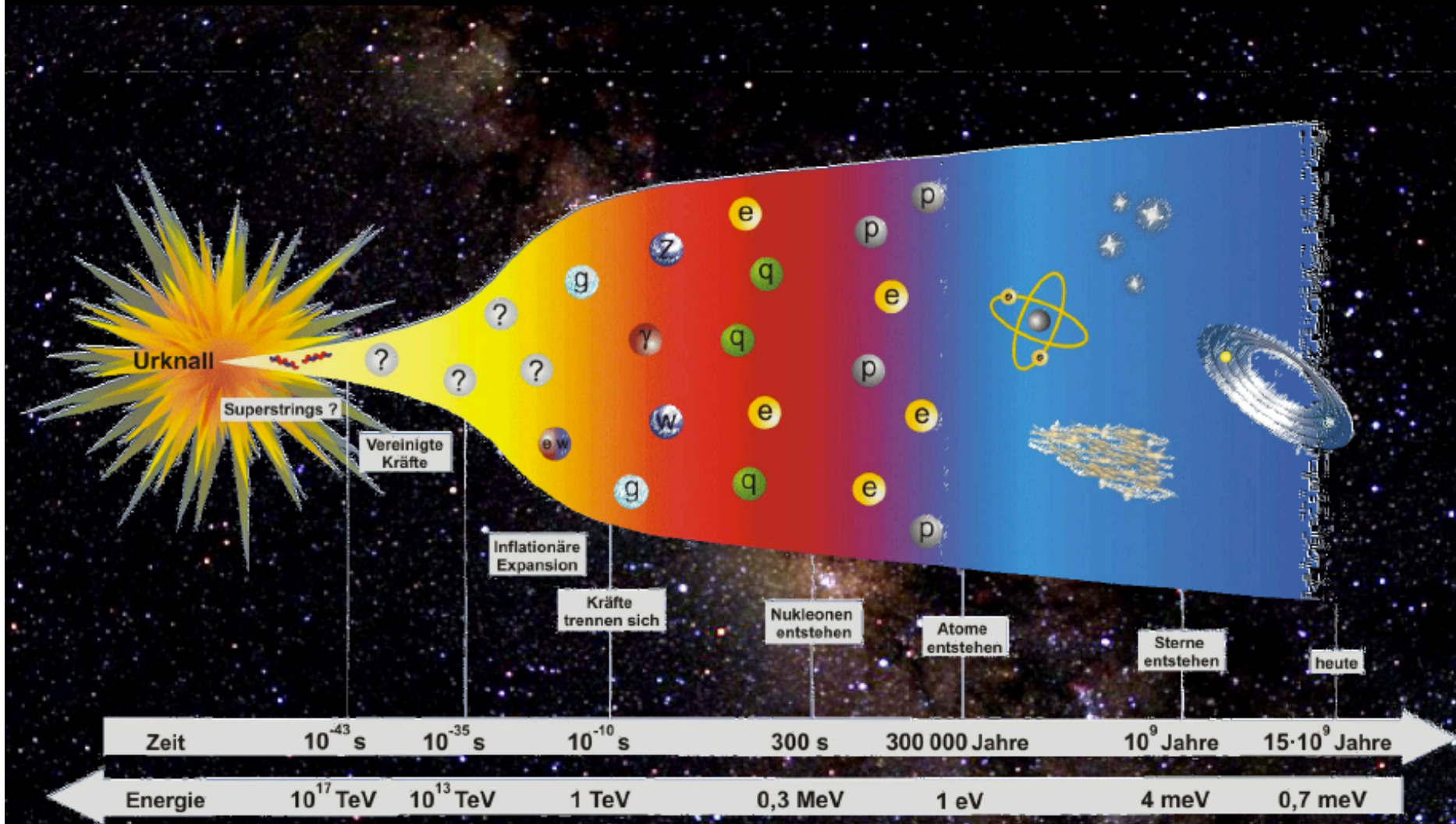


von kleinsten Abständen
(10^{-18} m)

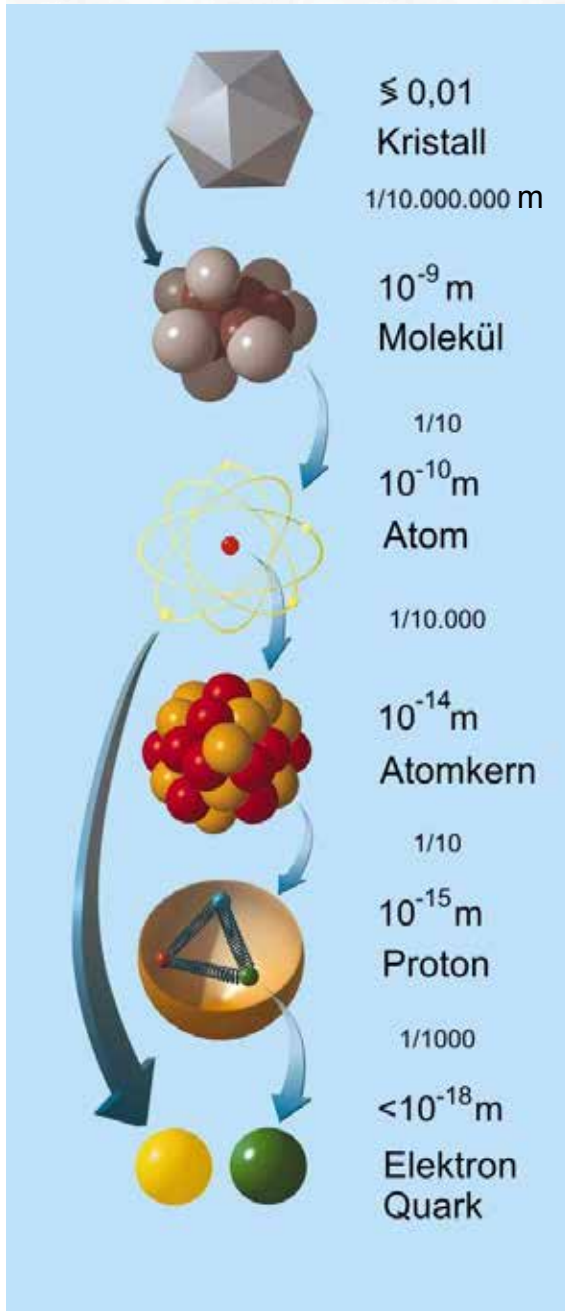


bis zu kosmischen
Dimensionen (10^{25} m)

Entwicklung unseres Universums



Erforschung der Materie



Auge, Mikroskop
(Licht)

Elektronenmikroskop
(Elektronen)

Teilchenbeschleuniger
(Synchrotron-Strahlung)

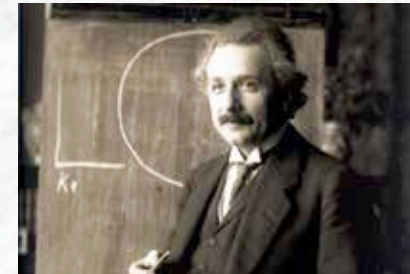
Teilchenbeschleuniger
(Teilchen hoher Energie)

höhere Energie / Impuls

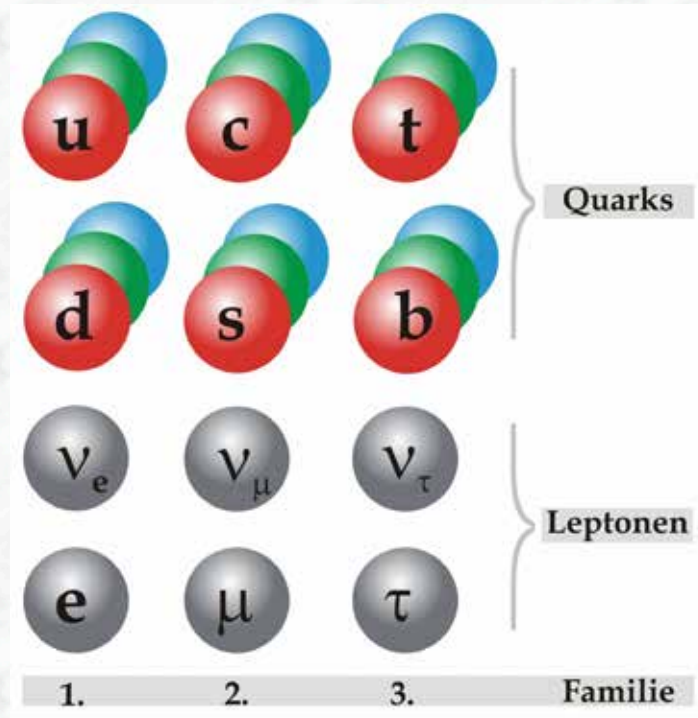
höhere Auflösung

$$\Delta x \propto \frac{1}{p}$$

$$E = mc^2$$

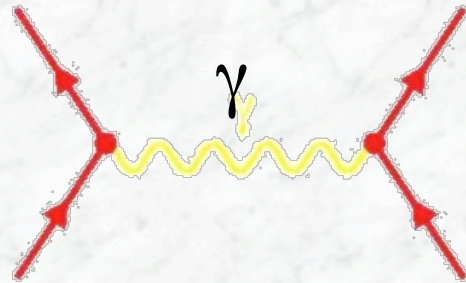


Die Bausteine der Materie: Quarks und Leptonen



- Quarks und Leptonen scheinen punktförmig zu sein, Ausdehnung $< 10^{-18}$ m (Elementarteilchen)
- Die Masse der Quarks und Leptonen steigt mit der Familienzahl an
 $m_\mu \approx 200 m_e$ $m_\tau \approx 3500 m_e$
Das schwerste Elementarteilchen: das Top-Quark $m_t \approx 340\,000 m_e \approx m_{\text{Gold-Atom}}$

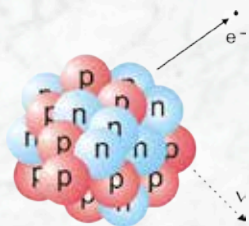
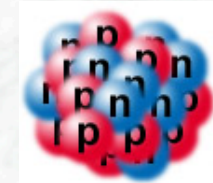
Die fundamentalen Kräfte



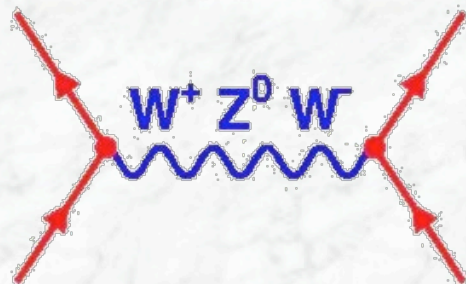
elektromagnetische Kraft



starke Kraft



β -Zerfall



schwache Kraft

$$m_W \approx 80.4 \text{ GeV}$$
$$m_Z \approx 91.2 \text{ GeV}$$



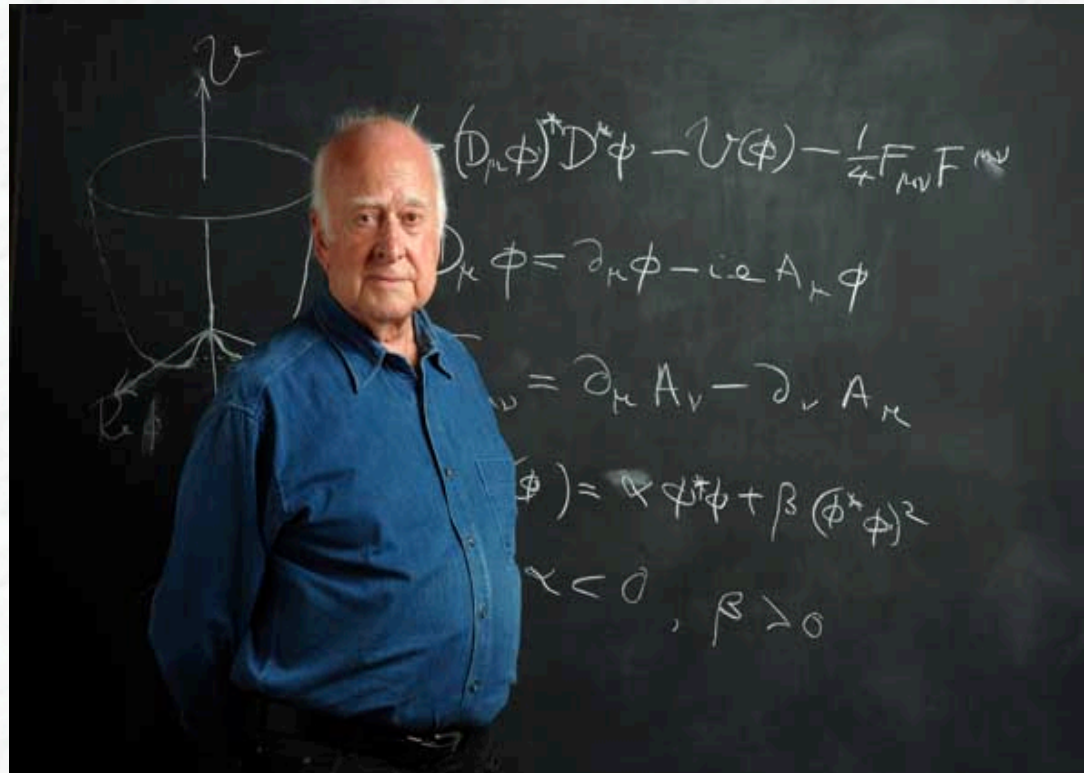
Gravitation



Theoretische Beschreibung: Quantenfeldtheorie
Wechselwirkung durch Austausch von „Kraftteilchen“

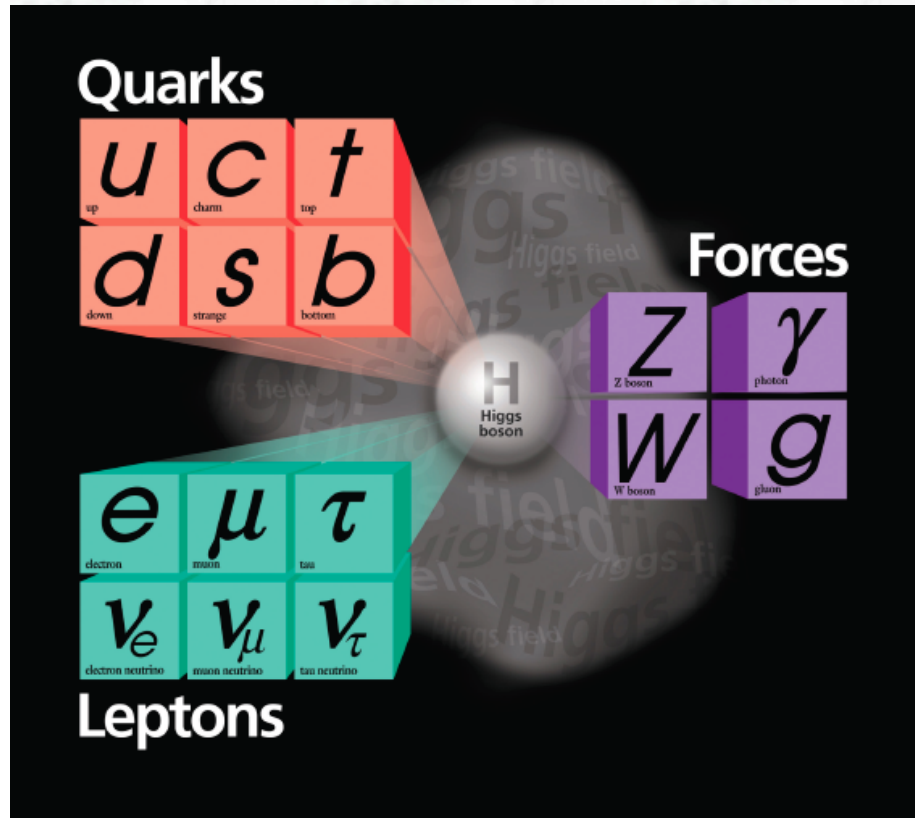
Austauschteilchen: **Photon (γ), Gluonen (g), W- und Z-Teilchen**
Austauschteilchen müssen masselos sein

Der Brout-Englert-Higgs Mechanismus



F. Englert and R. Brout. Phys. Rev. Lett. 13 (1964) 321;
P.W. Higgs, Phys. Lett. 12 (1964) 132, Phys. Rev. Lett. 13 (1964) 508;
G.S. Guralnik, C.R. Hagen, and T.W.B. Kibble. Phys. Rev. Lett. 13 (1964) 585.

Der Brout-Englert-Higgs-Mechanismus

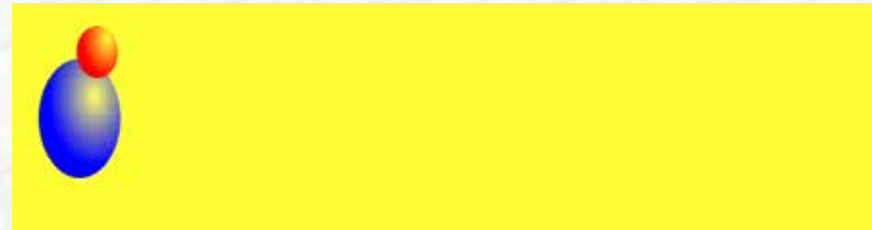


- Ein neues Teilchenfeld (Higgs-Feld) wird postuliert, durchdringt das Vakuum
- Masse wird erzeugt durch Wechselwirkung der Teilchen mit diesem Feld
- Vorhersage: Neues Teilchen, das sog. **Higgs-Teilchen**

Prinzip der Massenerzeugung

Leeres Vakuum

Alle Teilchen sind masselos und bewegen sich mit derselben Geschwindigkeit, der Lichtgeschwindigkeit.

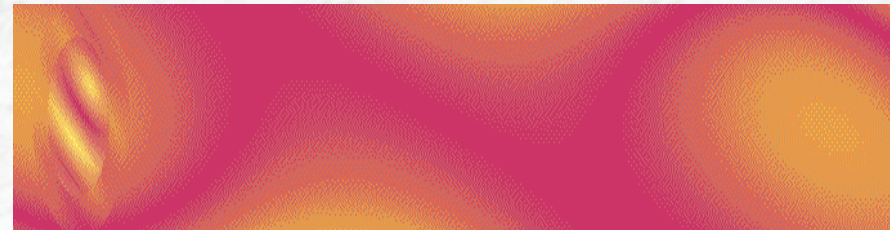


Higgs-Hintergrundfeld

Teilchen wechselwirken mit dem Higgs-Hintergrundfeld und bewegen sich langsamer. Sie erhalten effektiv eine Masse. Die Masse hängt von der Stärke der Wechselwirkung mit dem Hintergrundfeld ab.



Das Higgs-Teilchen: Anregung des Higgs-Feldes



Der Higgs Mechanismus, eine Analogie:

Prof. D. Miller
UC London



Higgs-Hintergrundfeld
erfüllt den Raum



Ein **Teilchen**
im Higgs-Feld...



... Widerstand gegen
Bewegung ...

Trägheit ↔ **Masse**

CERN

Ein Musterbeispiel europäischer Kooperation



Das Europäische Forschungszentrum für Elementarteilchenphysik CERN in Genf

- CERN entstand aus einer Vision weitsichtiger Wissenschaftler und Politiker im politischen Umfeld Nachkriegs-Europas
- Zielsetzungen:
 - Schaffung einer leistungs- und konkurrenzfähigen Infrastruktur für die zivile, naturwissenschaftliche Grundlagenforschung in Europa
 - Umkehr des "brain drain" der Vorkriegs- und Kriegsjahre von Europa in die USA
- 1952: Gründung des "Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire"
- Ab 1. Juli 1953: Unterzeichnung der CERN-Konvention durch die 12 Gründerstaaten:
 - Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Italien, Jugoslawien, Niederlande, Norwegen, Schweden, Schweiz
- Inkrafttreten der Konvention am 29. September 1954: Gründung der "Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire"
 - Erste Internationale Organisation nach dem 2. Weltkrieg mit Beteiligung Deutschlands

For the German Federal Republic

Pour la République Fédérale
d'Allemagne

K. Heinke
subject to ratification

For the Kingdom of Belgium

Pour le Royaume de Belgique

J. Hille
sous réserve de ratification

For the Kingdom of Denmark

Pour le Royaume de Danemark

B. Bloerum
sous réserve de ratification

23/2/53

For the French Republic

Pour la République Française

Alain Paris
Alain Paris
sous réserve de ratification

For the Kingdom of Greece

Pour le Royaume de Grèce

N. Embirisidis
sous réserve de ratification

For Italy

Pour l'Italie

For the Kingdom of Norway

Pour le Royaume de Norvège

Subject to ratification
21/12/53.
Arvid Kvernli

For the Kingdom of the Netherlands

Pour le Royaume des Pays-Bas

H. van
subject to ratification

For the United Kingdom of Great Britain
and Northern Ireland

Pour le Royaume-Uni de la
Grande-Bretagne et de
l'Irlande du Nord

Rock-penoi
subject to ratification

For the Kingdom of Sweden

Pour le Royaume de Suède

Toas Waller
Torsten Gustafson
Subject to ratification

For the Confederation of Switzerland

Pour la Confédération Suisse

S. L. S.
sous réserve de ratification

For the Federal People's Republic
of Yugoslavia

Pour la République Fédérative
Yougoslave

CERN heute

- 20 Mitgliedsländer
- 2500 festangestellte Mitarbeiter
- Weltgrößte Forschungszentrum für physikalische Grundlagenforschung
Etat: ~1000 MSF
- Weltweit leistungsfähigstes System von Teilchenbeschleunigern
- Forschungs- und Entwicklungszentrum für neue Technologien
- Ein bedeutendes Ausbildungszentrum
- Global vernetztes wissenschaftliches Dienstleistungszentrum







Der Large Hadron Collider (LHC)

An aerial photograph of a rural landscape, likely in France, showing a patchwork of green and brown fields. A large, white, circular line is drawn over the landscape, representing the path of the Large Hadron Collider (LHC) tunnel. The line starts in the lower right, loops around the center, and extends towards the upper left. The text 'Der Large Hadron Collider (LHC)' is written in yellow at the top, and 'Beginn einer neuen Ära, richtungsweisende Experimente' is written in yellow at the bottom right.

Beginn einer neuen Ära,
richtungsweisende Experimente

Ein Blick in den Beschleunigertunnel des LHC



Inbetriebnahme 2008 / 2009
nach ~15 Jahren Entwicklungs- und Bauzeit

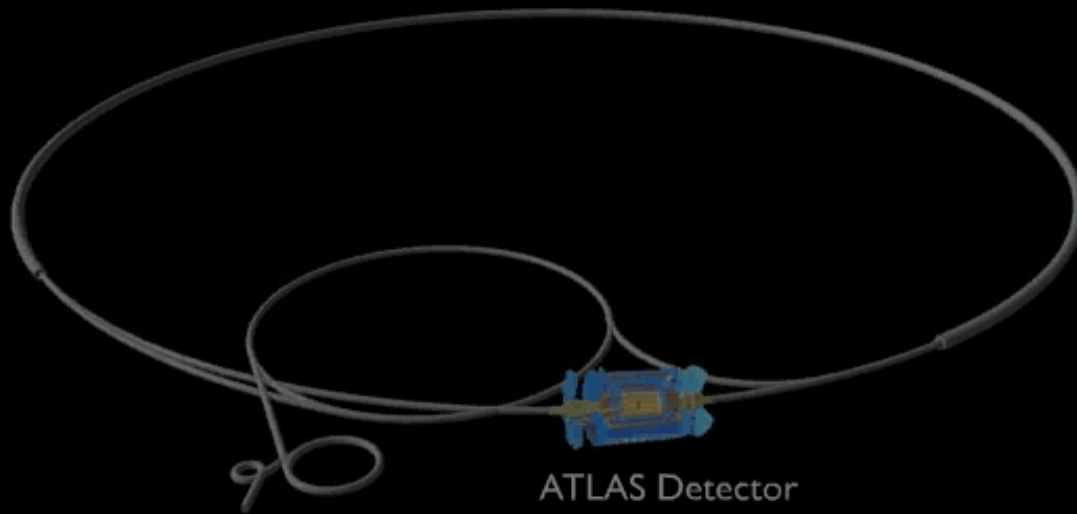
Wichtige Komponenten des Beschleunigers

- **Supraleitende Dipolmagnete (Niob-Titan-Legierung)**
(halten die hochenergetischen Teilchen auf der Kreisbahn)
 - Größte Herausforderung: Magnetfeld von 8,3 Tesla
 - Insgesamt 1232 Stück, jeweils 15 m lang
 - Betrieb bei einer **Temperatur von 1.9 K**
(Kühlung mit supraflüssigem Helium, größte Kryosystem der Welt)
- Acht supraleitende Beschleunigerstrukturen
Beschleunigungsfeld von 5 MV/m
- Noch nie erreichte Komplexität:
 - ~9600 Magnete (Dipole, Quadrupole,...)
 - Gespeicherte Energie pro Strahl: 350 MJ
 - Gespeicherte Energie insgesamt: 11 GJ
 - Komplexe Sicherheitssysteme



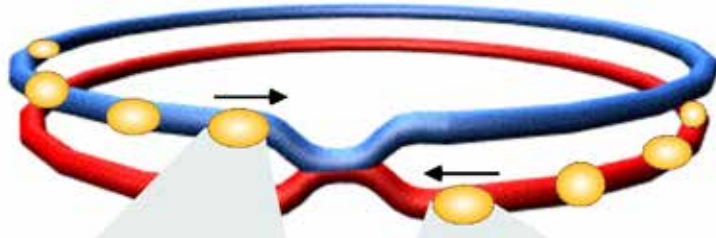
PLAY ▶

Large Hadron Collider



ATLAS Detector

Proton-Proton-Kollisionen im LHC



2835 x 2835 Protonpakete, jeweils 10^{11} Protonen
Abstand: 7.5 m (25 ns)

Kreuzungsrate der Protonpakete: 40 Mio. / s

- Bei hoher Strahlintensität: ~20 überlagerte Proton-Proton Wechselwirkungen während einer Strahlkreuzung

~1600 geladene Teilchen

- Von den 40 Mio. Ereignissen können nur ~300 pro Sekunde auf Speichermedien geschrieben werden:

40 MHz → 300 Hz

