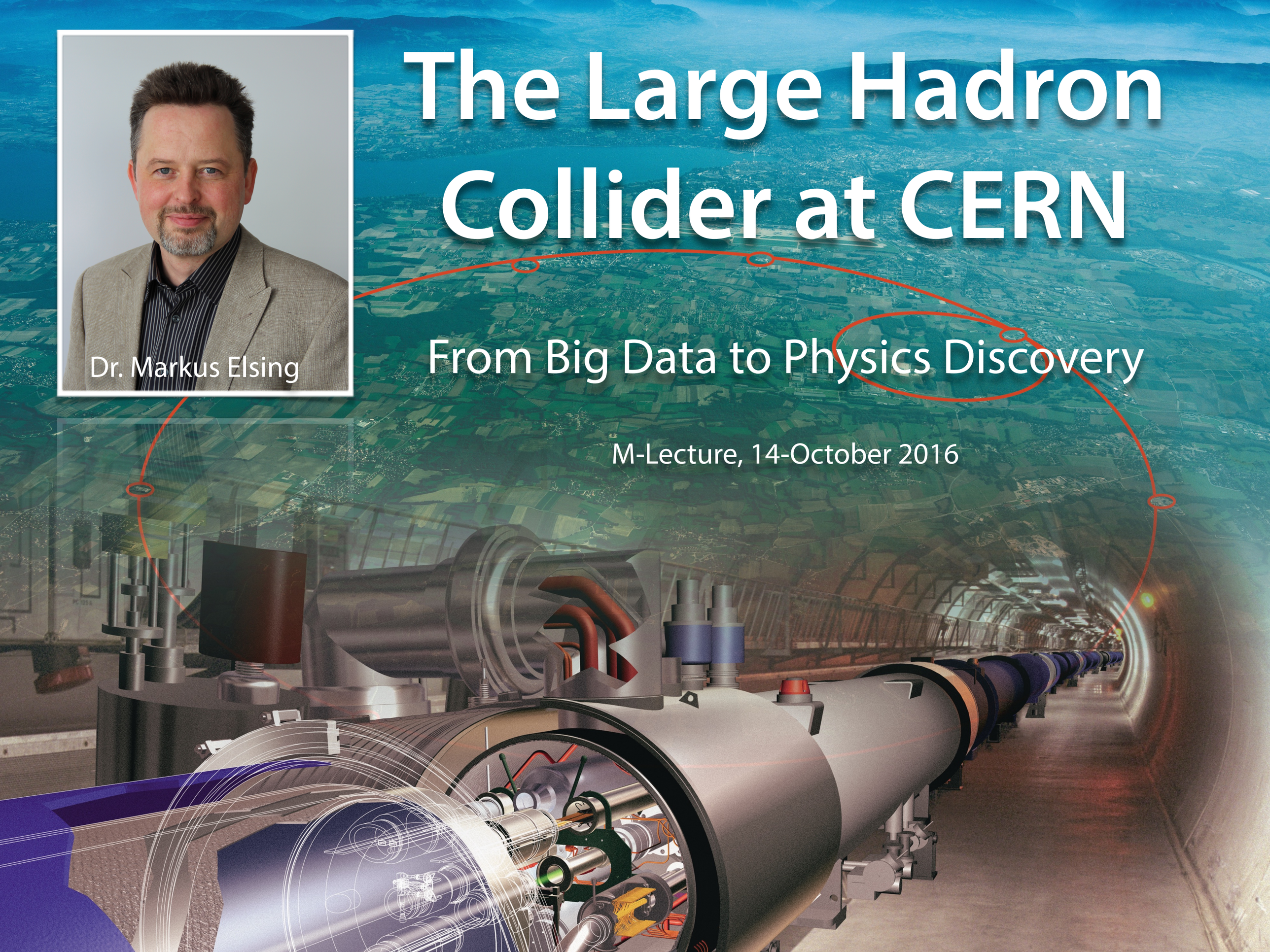
The Large Hadron Collider at CERN

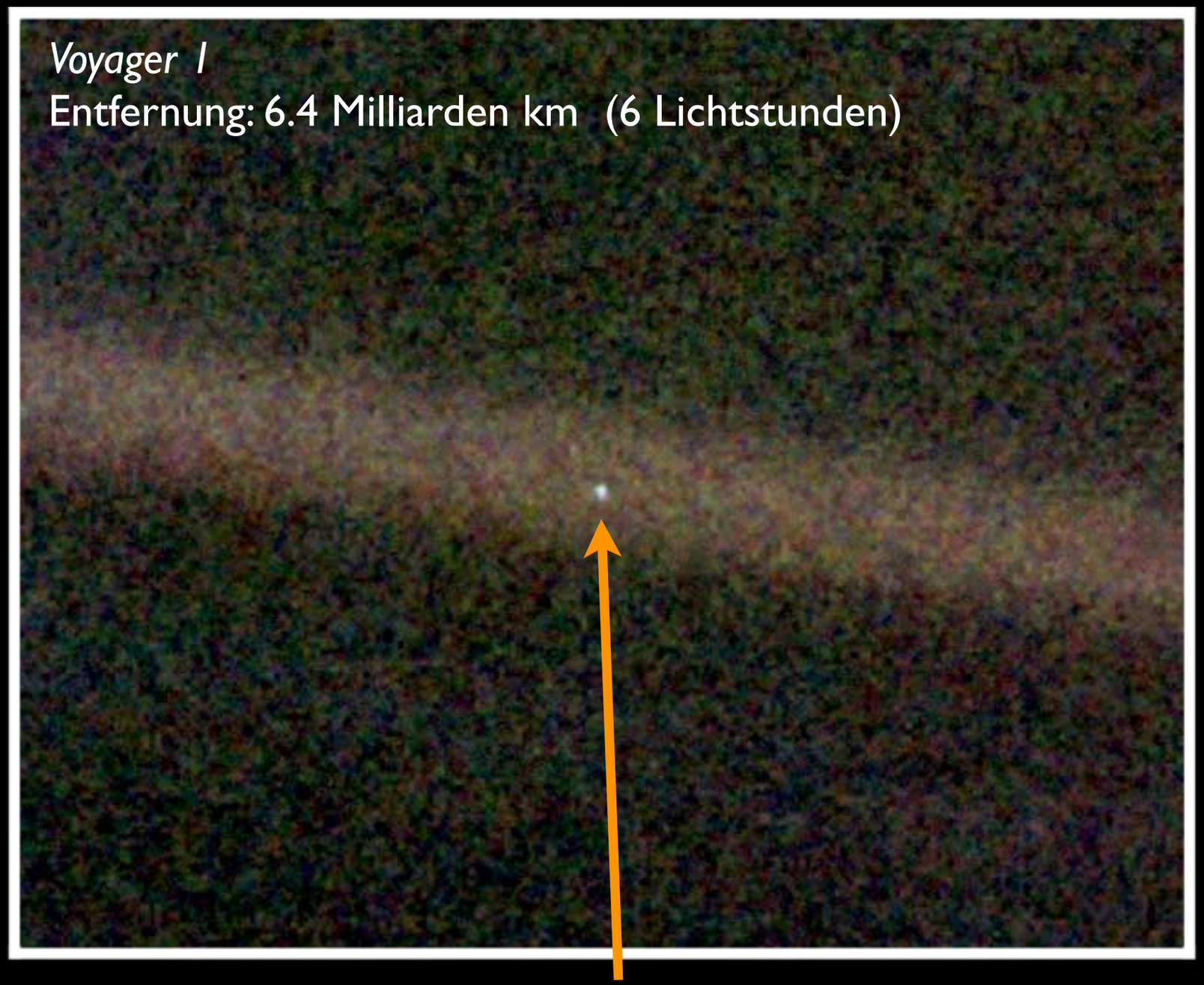
From Big Data to Physics Discovery

M-Lecture, 14-October 2016



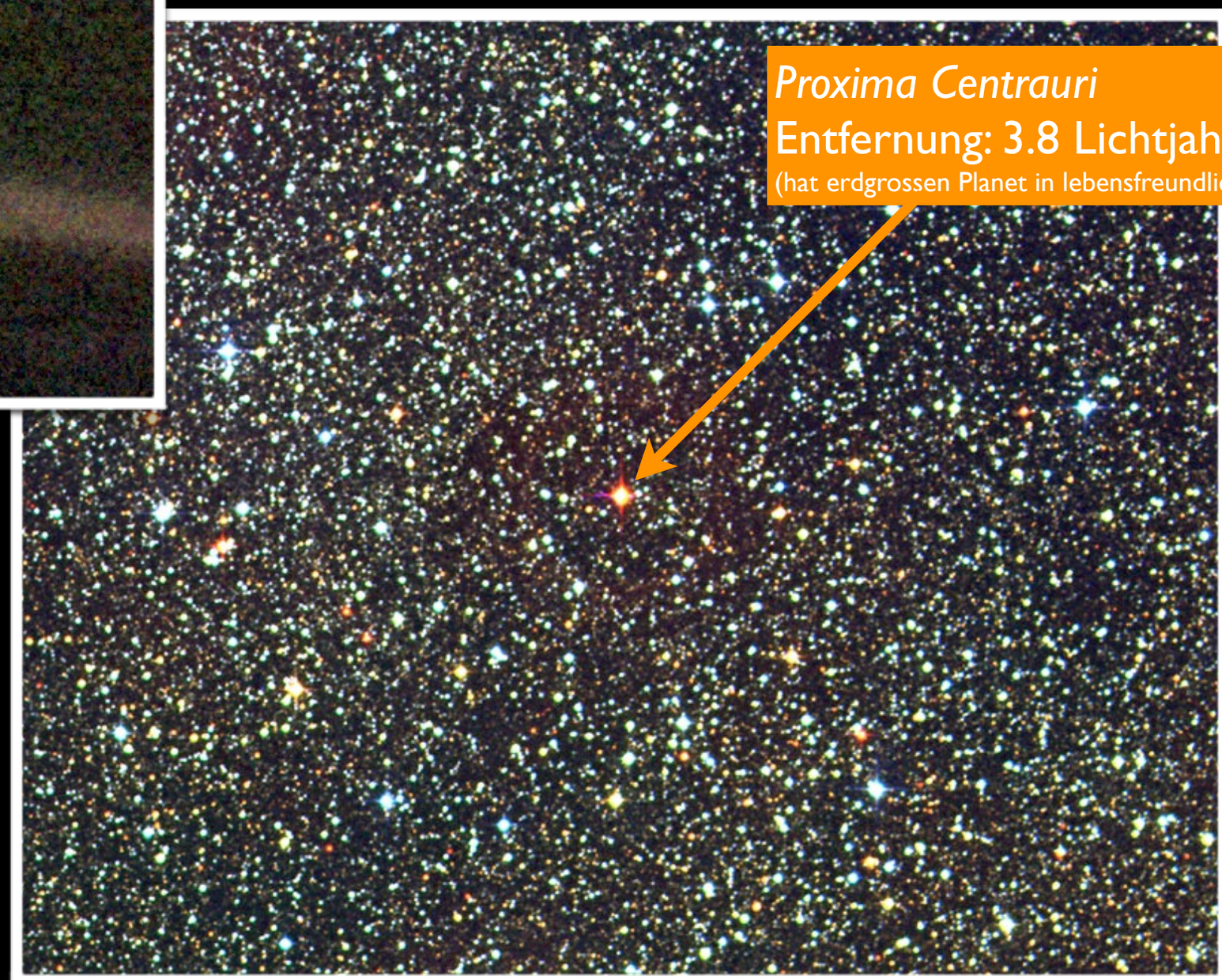
Unser heutiges Weltbild

Unser heutiges Weltbild



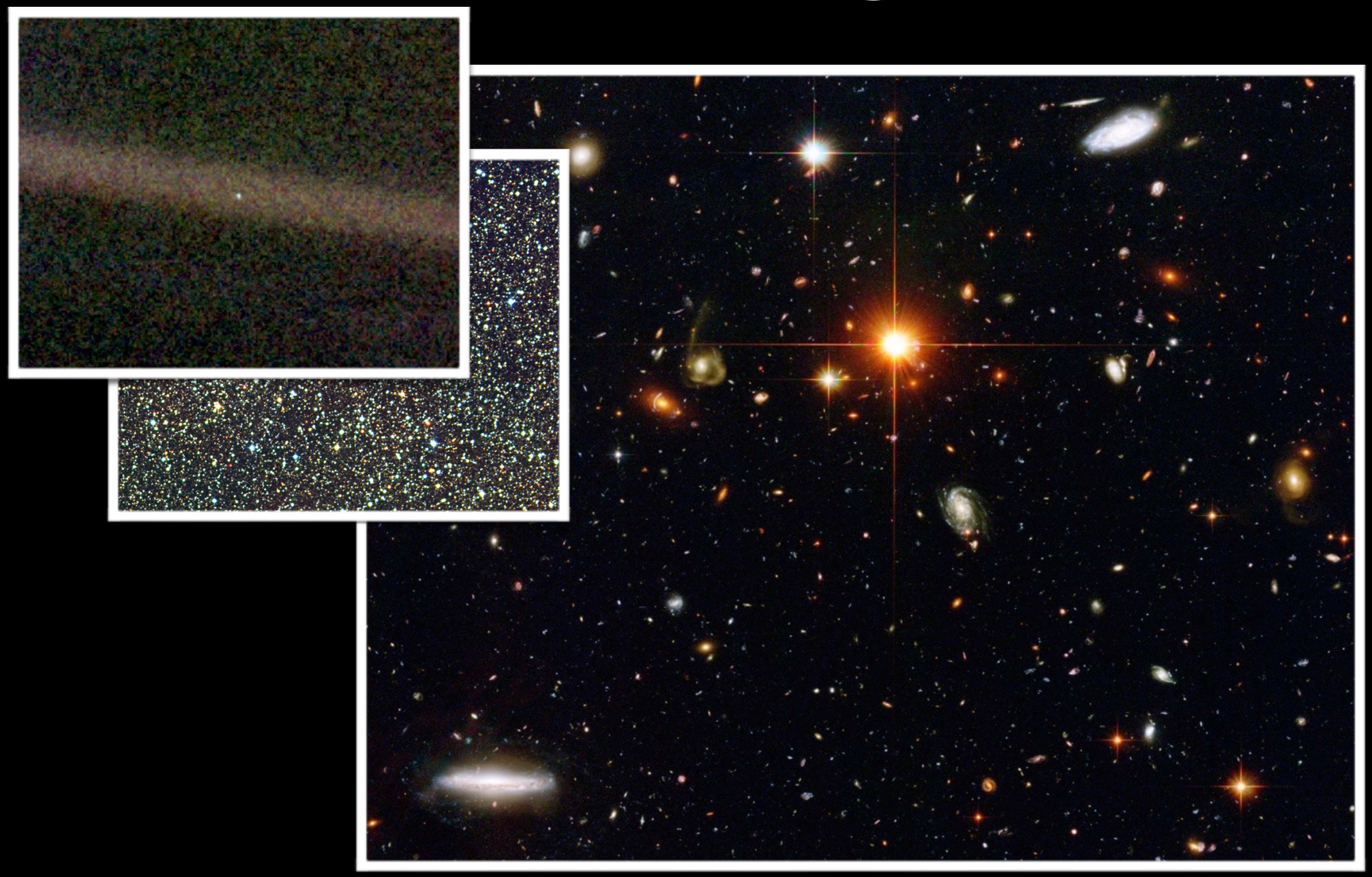
Die Erde, ein kleiner blauer Punkt im Weltall ...

Unser heutiges Weltbild



... unsere Sonne ist ein Stern unter 300 Milliarden ...

Unser heutiges Weltbild



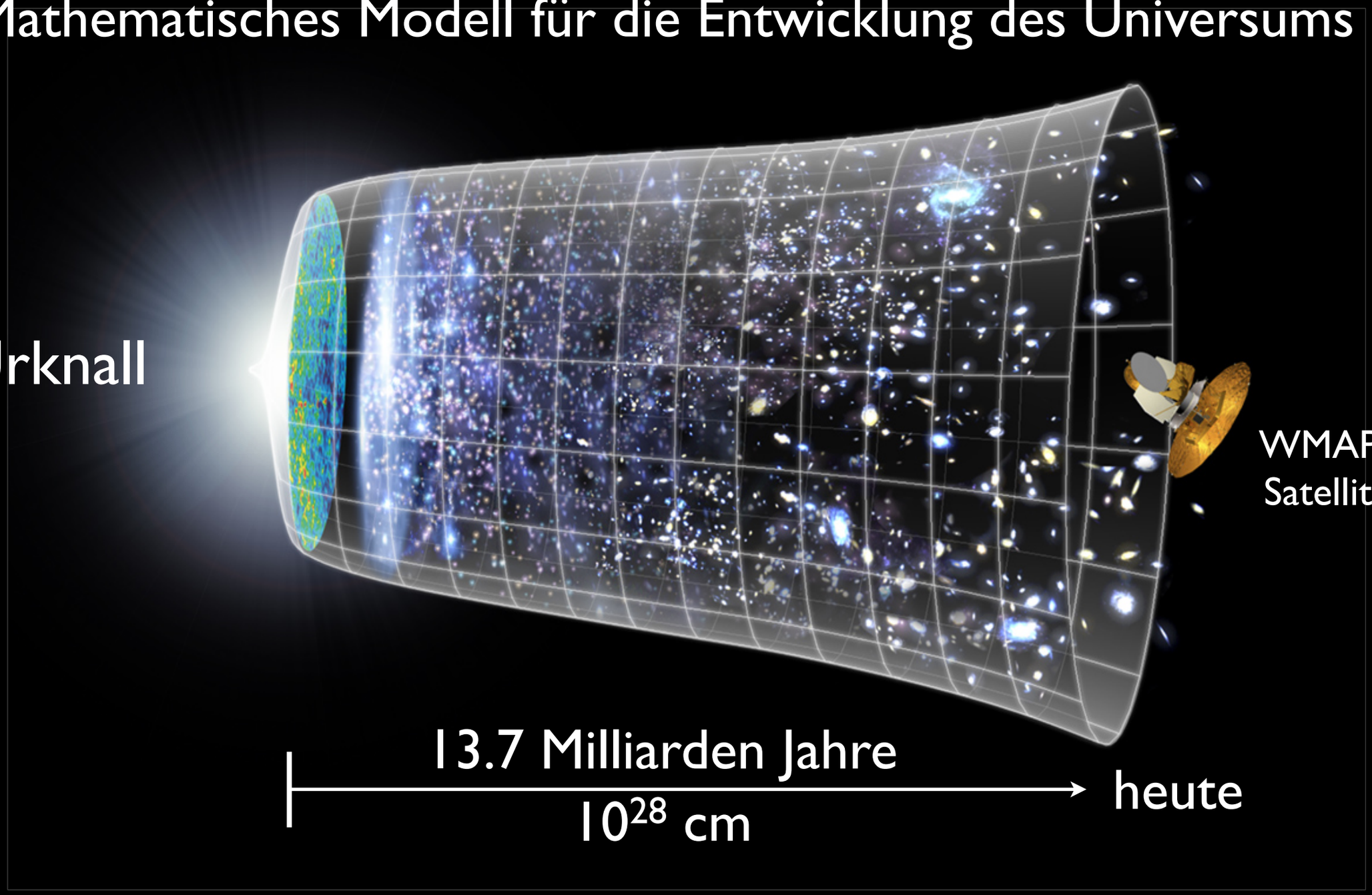
... unsere Milchstrasse ist eine Galaxie unter Milliarden

Das Universum entstand im Urknall

Energie wandelt sich in Materie und Antimaterie um.
Raum und Zeit entstehen. Der Raum expandiert.

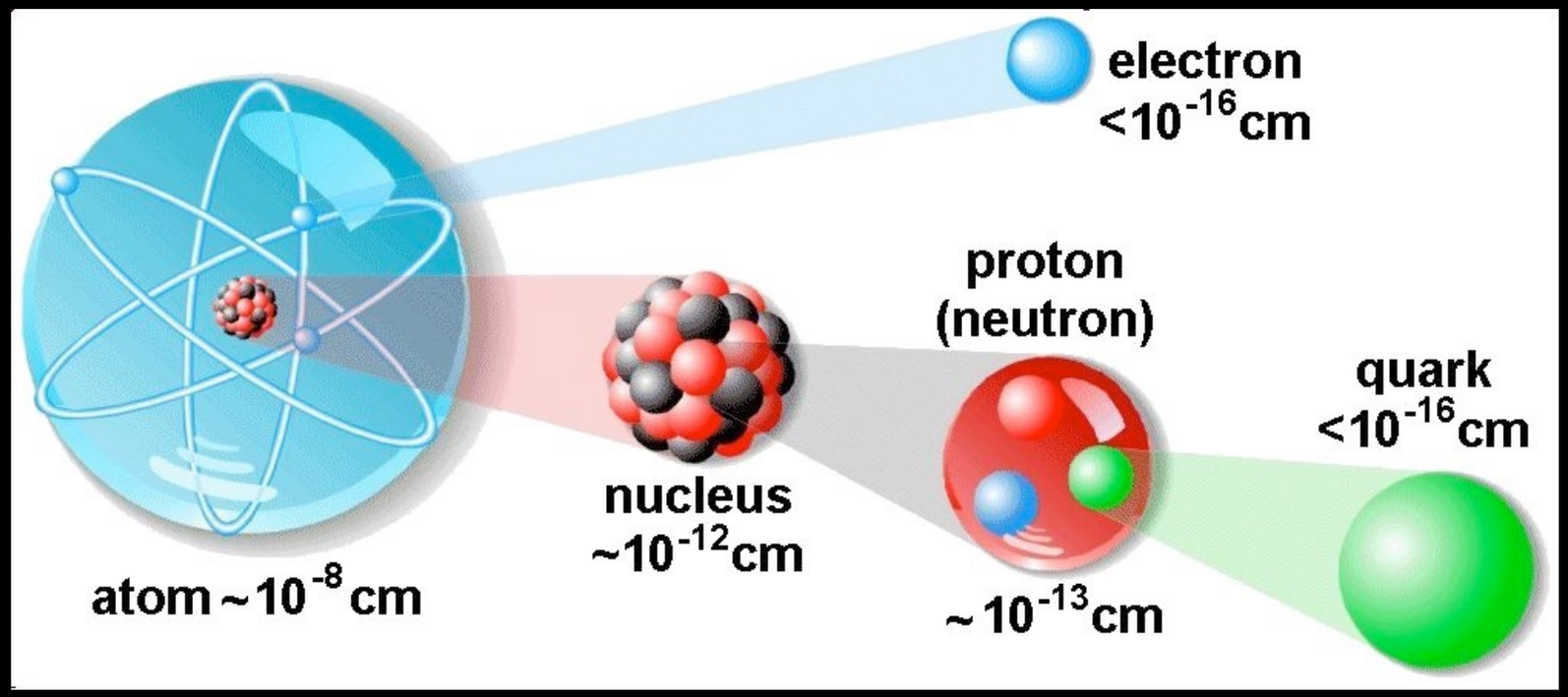
Urknall: Standard-Modell der Kosmologie

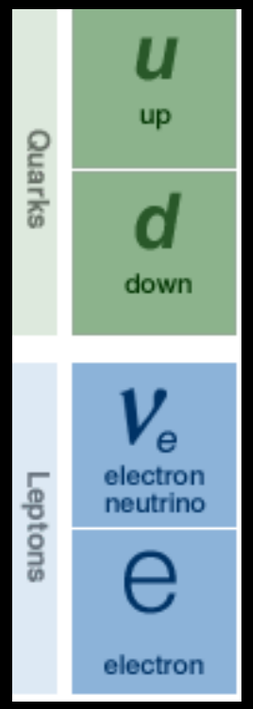
Mathematisches Modell für die Entwicklung des Universums



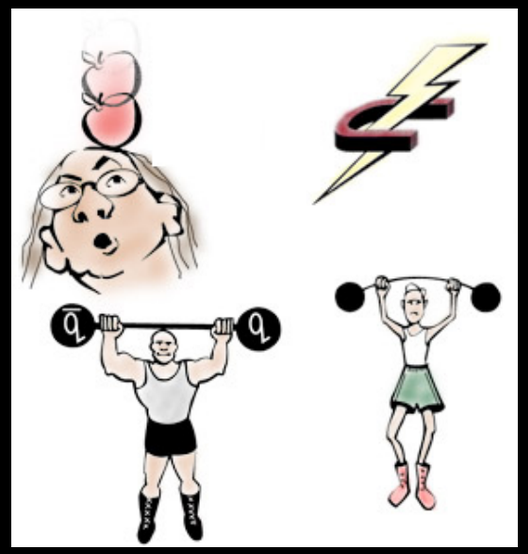
Woraus besteht alles ?

Alles was wir sehen und anfassen können, besteht aus punktförmigen Teilchen





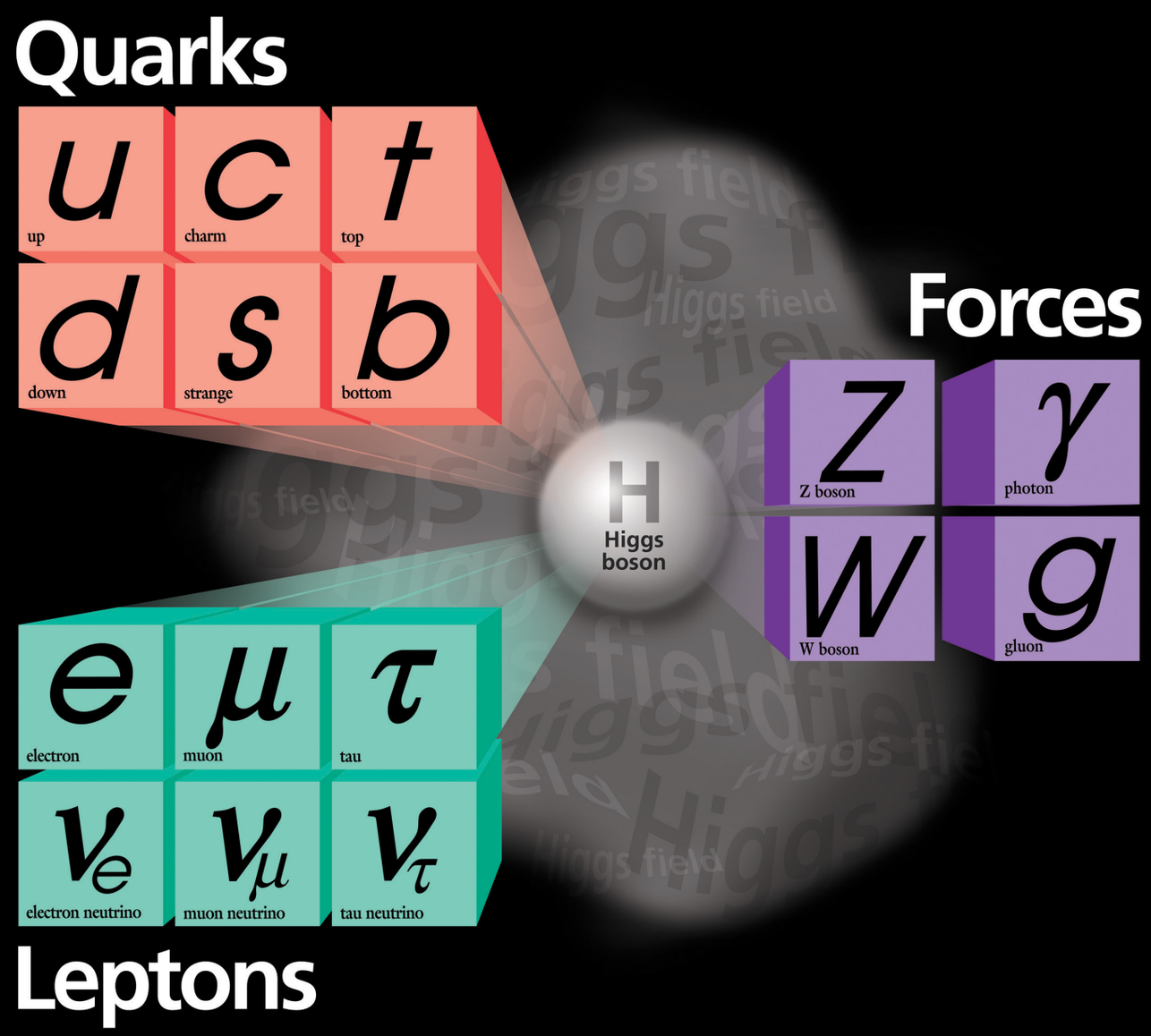
Familie Nr. I



und wird durch vier Kräfte zusammengehalten:

- Elektromagnetismus
- schwache Kraft
- starke Kraft
- Gravitation

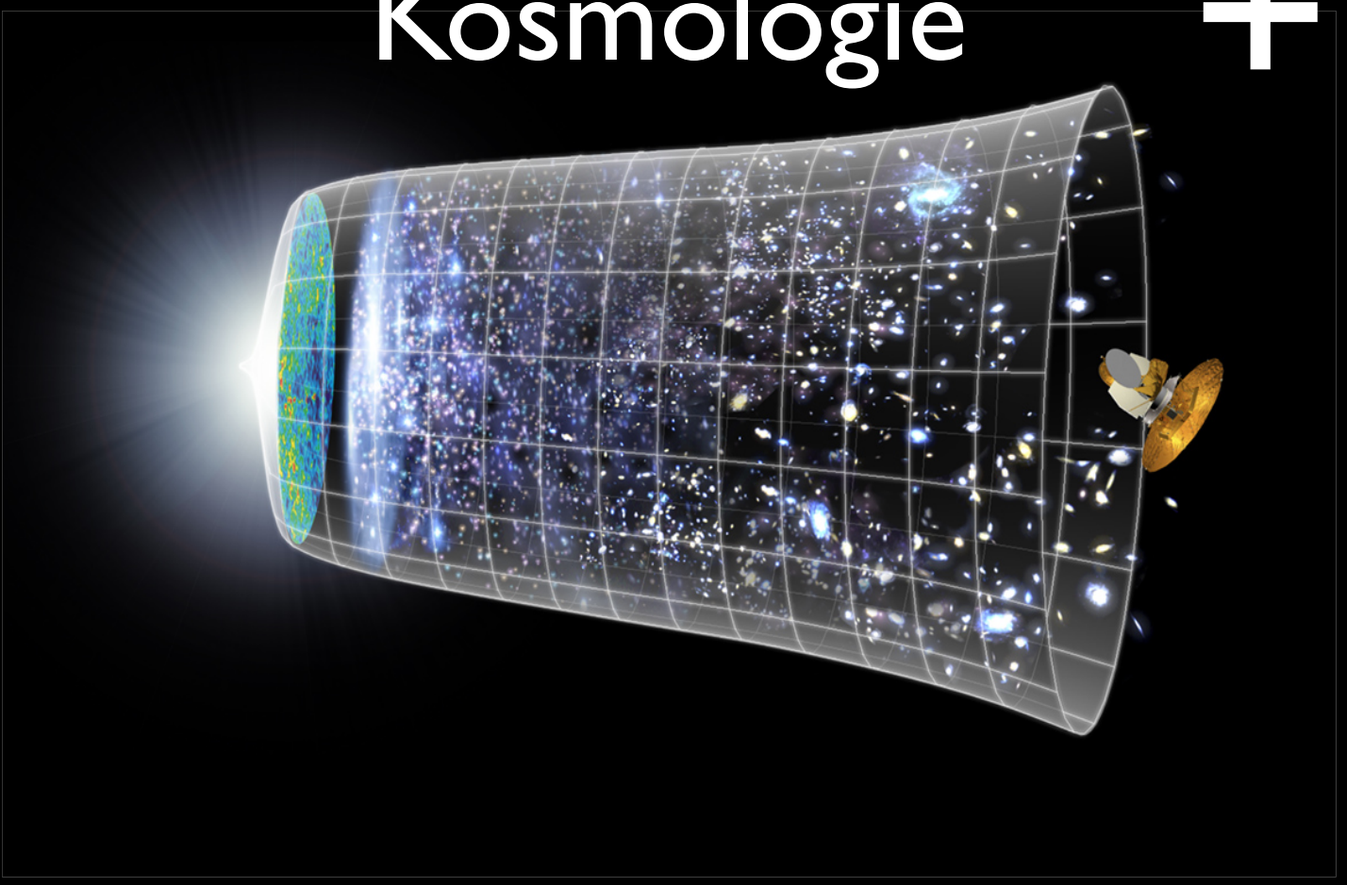
Das Standard-Modell der Teilchenphysik

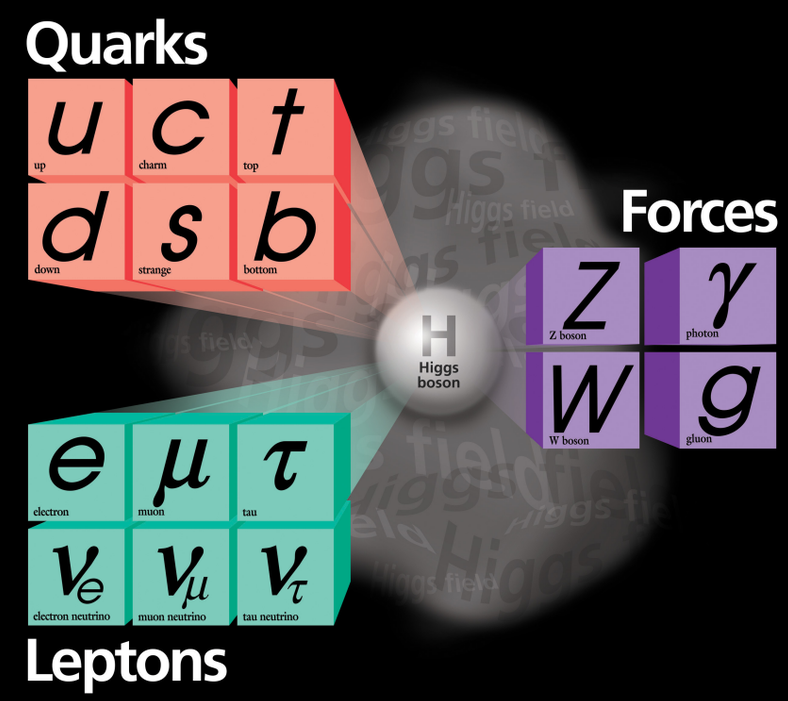


Ein mathematisches Modell für die Welt im Kleinsten

Das Standard-Modell der

Kosmologie + Teilchenphysik

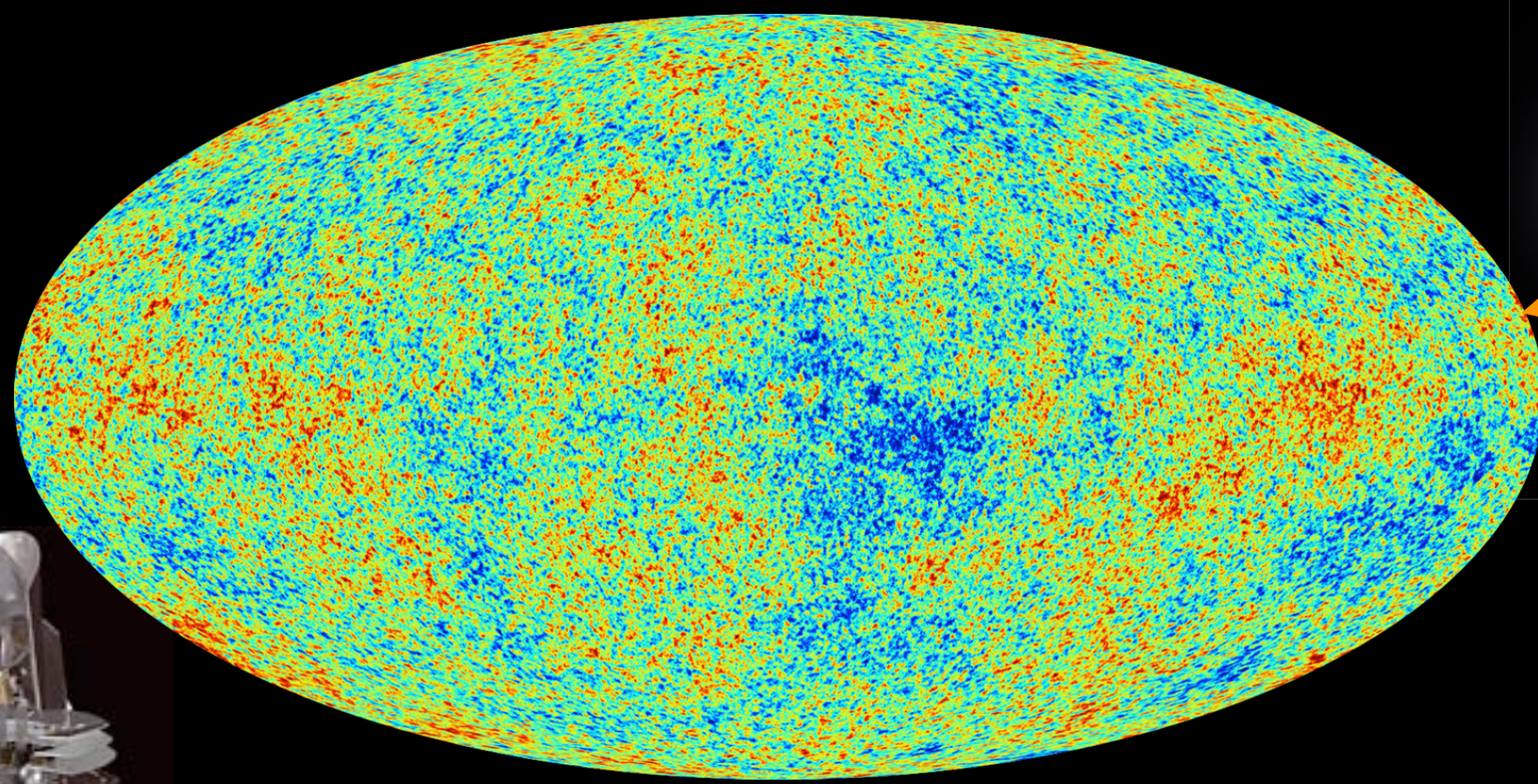


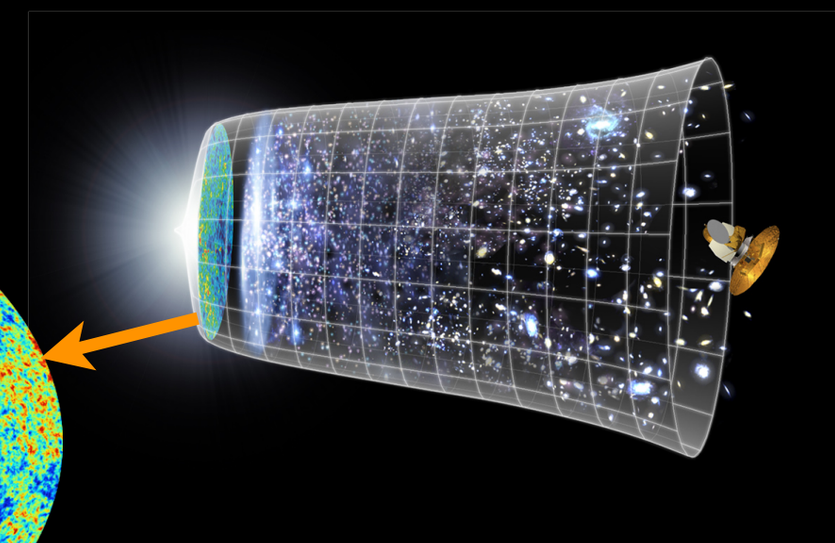


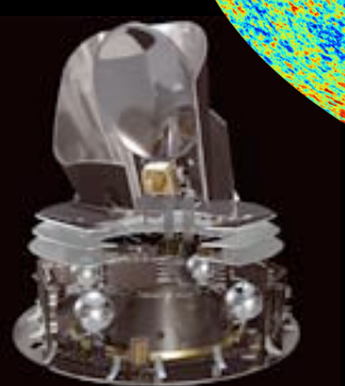
Erklärt das alles ?

Nein !

Woraus besteht das Universum ?



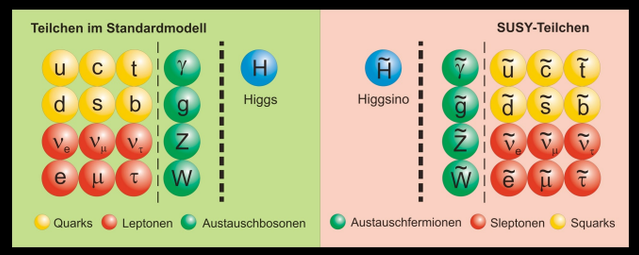




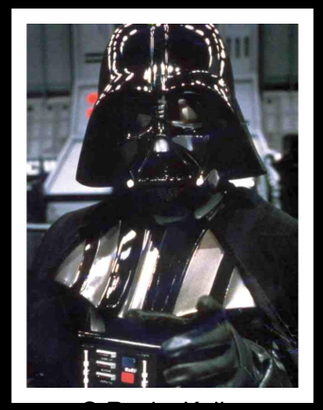
Planck-Satellit:
Aufnahme der kosmischen Hintergrundstrahlung

95% des Universums besteht aus exotischer
Dunkler Materie und Dunkler Energie

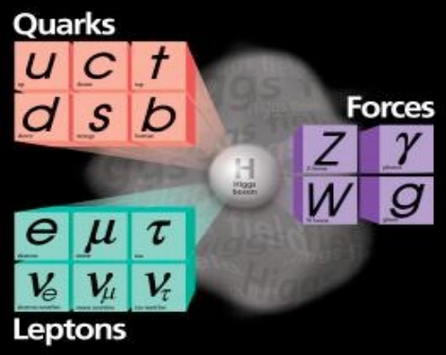
Die Rätsel des Universums



Was ist Dunkle Materie ?



Was ist Dunkle Energie ?



Wieso haben elementare Teilchen Masse ?
(Die Suche nach dem Higgs-Teilchen)

Warum ist die Antimaterie verschwunden ?

Das europäische Forschungszentrum CERN

CERN

Das weltgrößte Labor für Teilchenphysik

CERN

CERN: founded in 1954, 12 European States
Today: 22 Member States

~ 3700 staff or paid personnel
~ 12300 scientific users
Budget (2016) ~1000 MCHF

Member States: Austria, Belgium, Bulgaria, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Israel, Italy, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovak Republic, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom

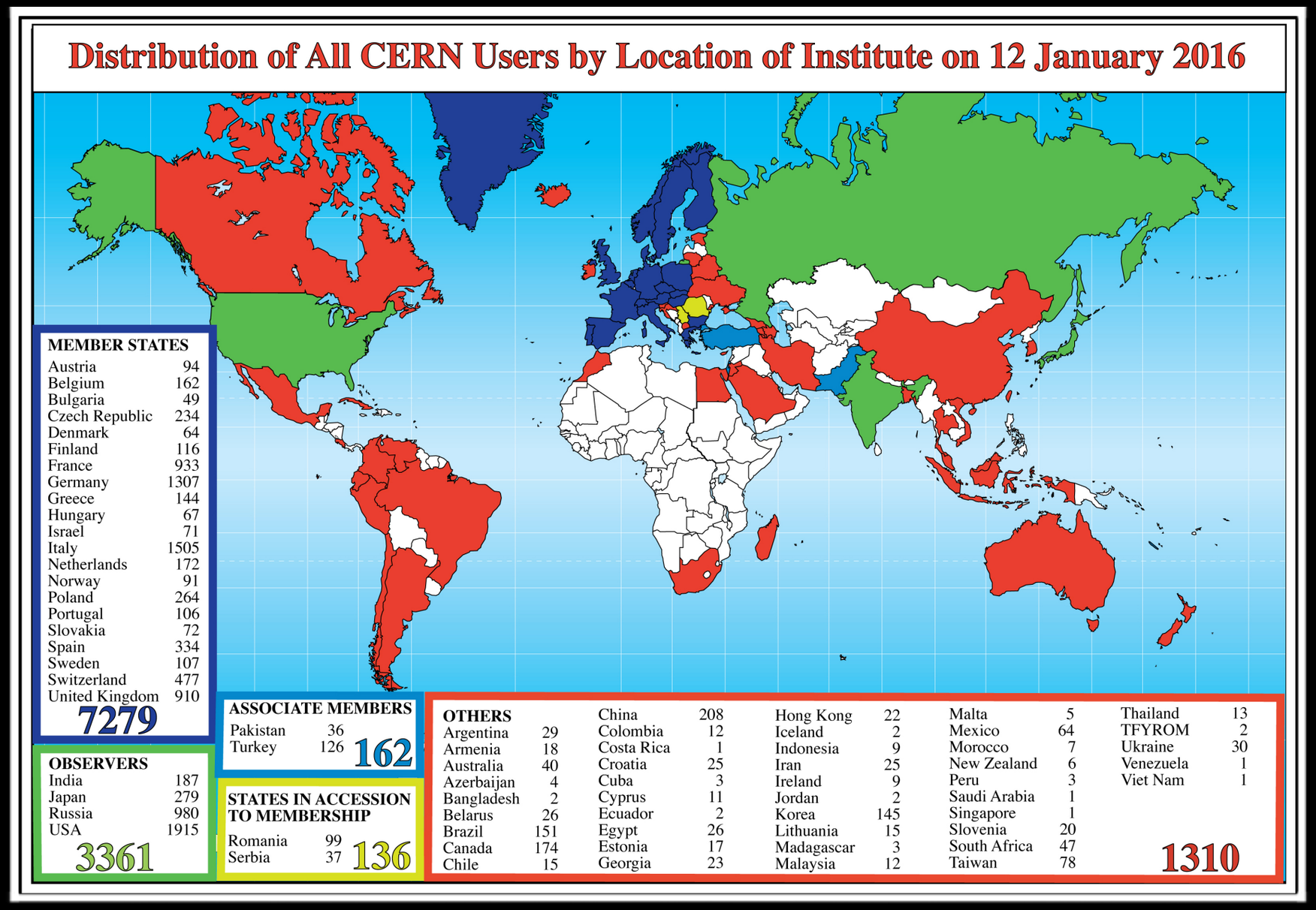
Associate Member States: Pakistan, Turkey, Ukraine

States in accession to Membership: Cyprus,, Serbia

Applications for Membership or Associate Membership:
Brazil, Croatia, India, Ireland, Russia, Slovenia

Observers to Council: India, Japan, Russia, United States of America; European Union, JINR and UNESCO

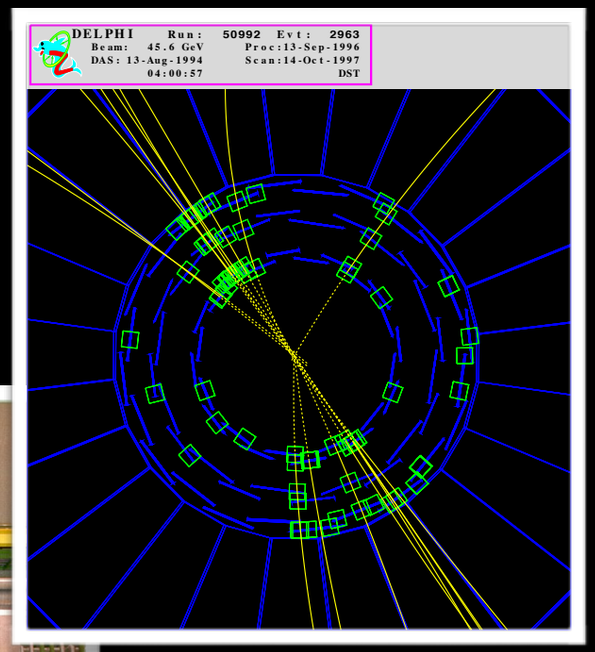
Wer arbeitet am CERN ?

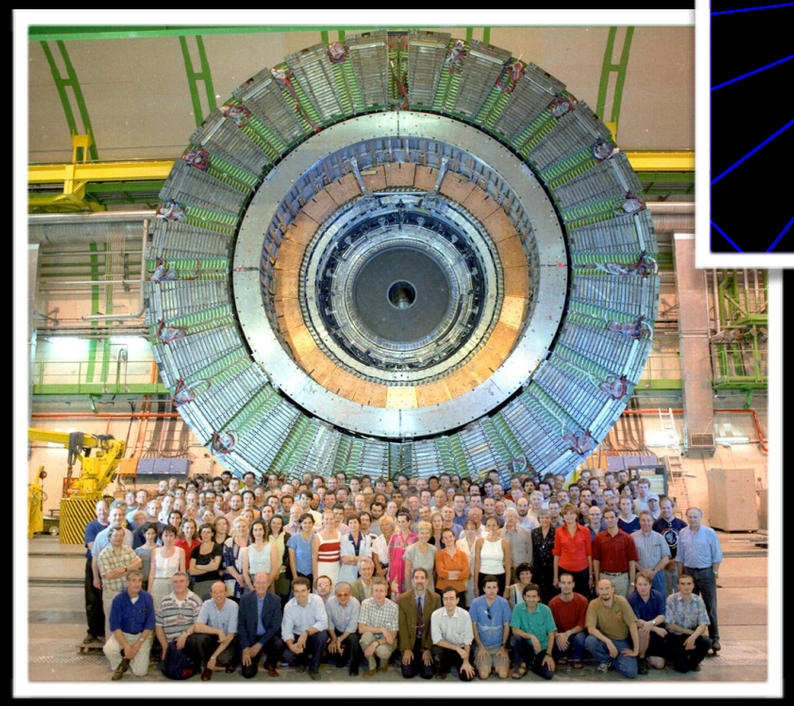


22 Mitgliedsstaaten und weitere 64 Länder sind an CERN-Experimenten beteiligt

Dr. Markus Elsing Dr. Daniel Wicke

Gemeinsame Forschungsprojekte am CERN





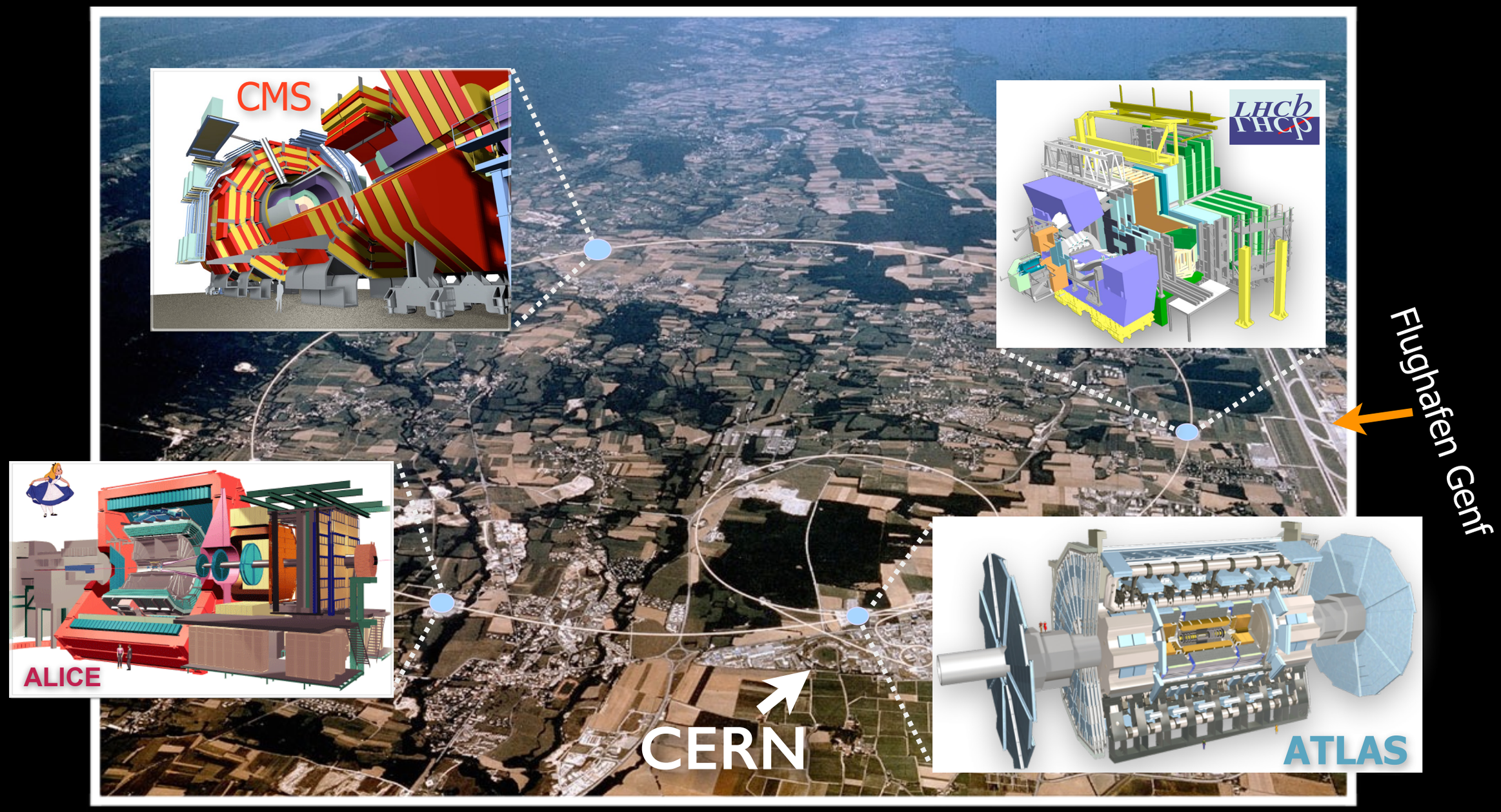
DELPHI Experiment:
(1995-1997)

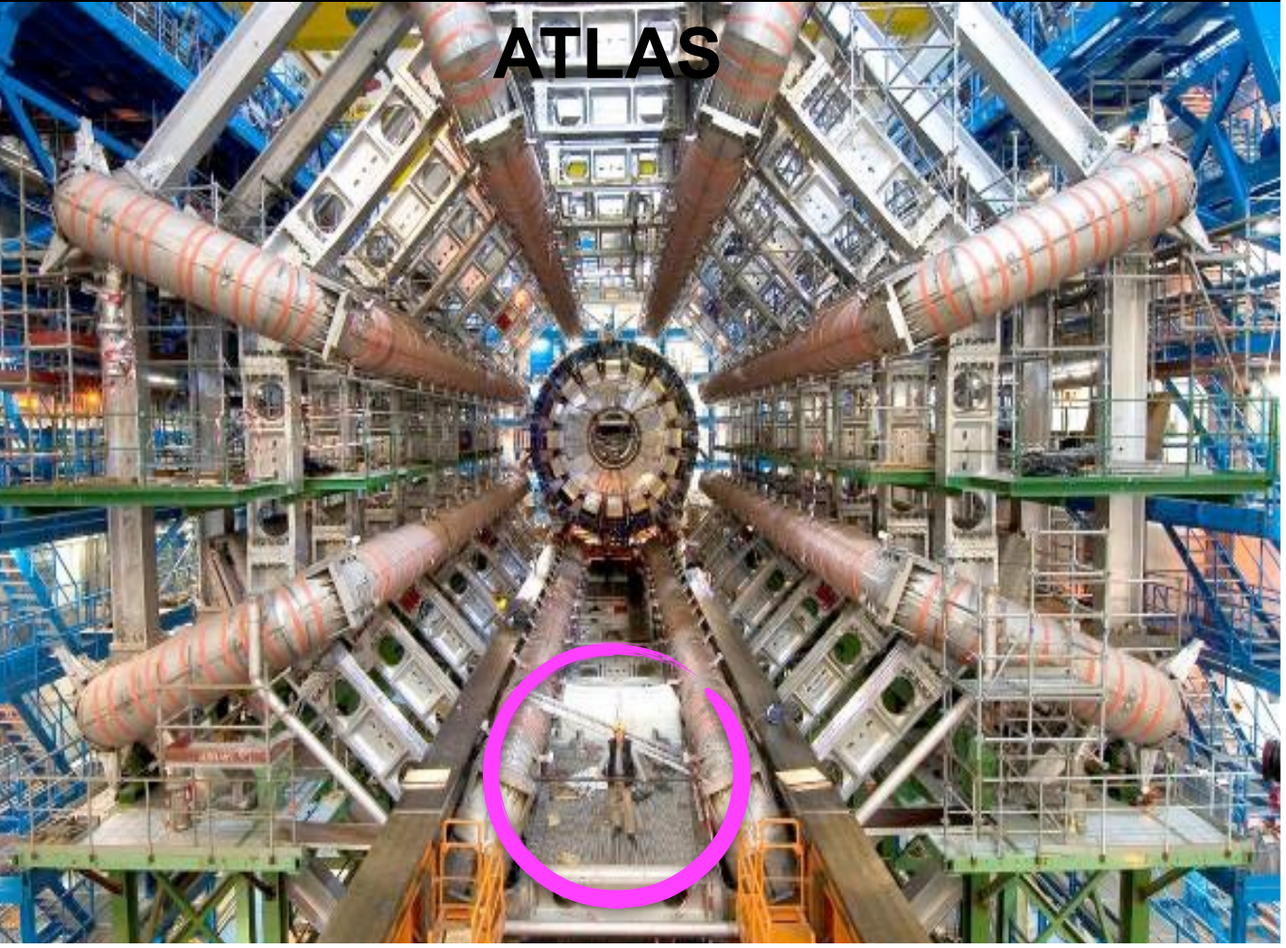
➡ Entwicklung innovativer Algorithmen zur Mustererkennung
(Ereignisrekonstruktion)

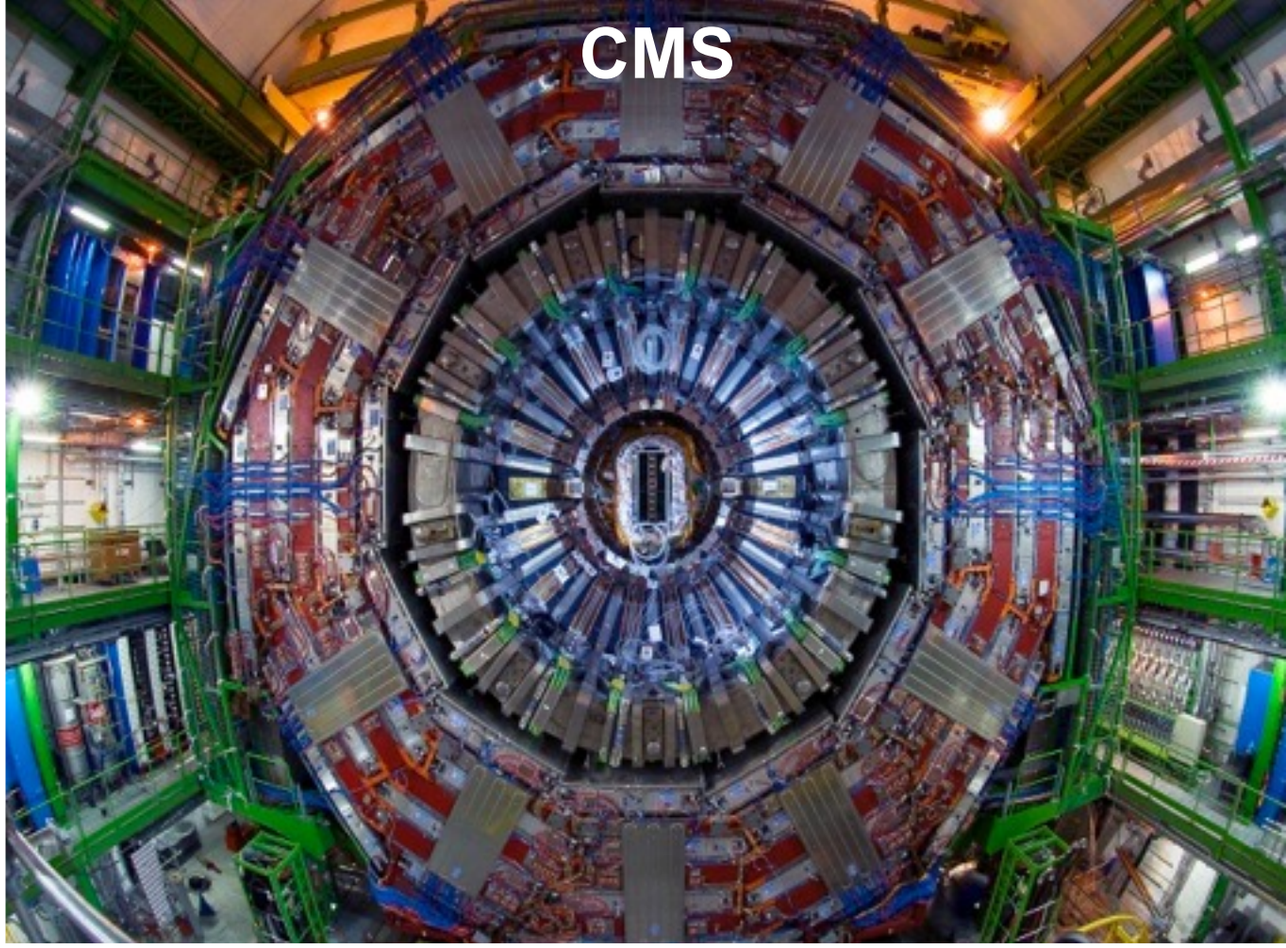
CERN und der Large Hadron Collider

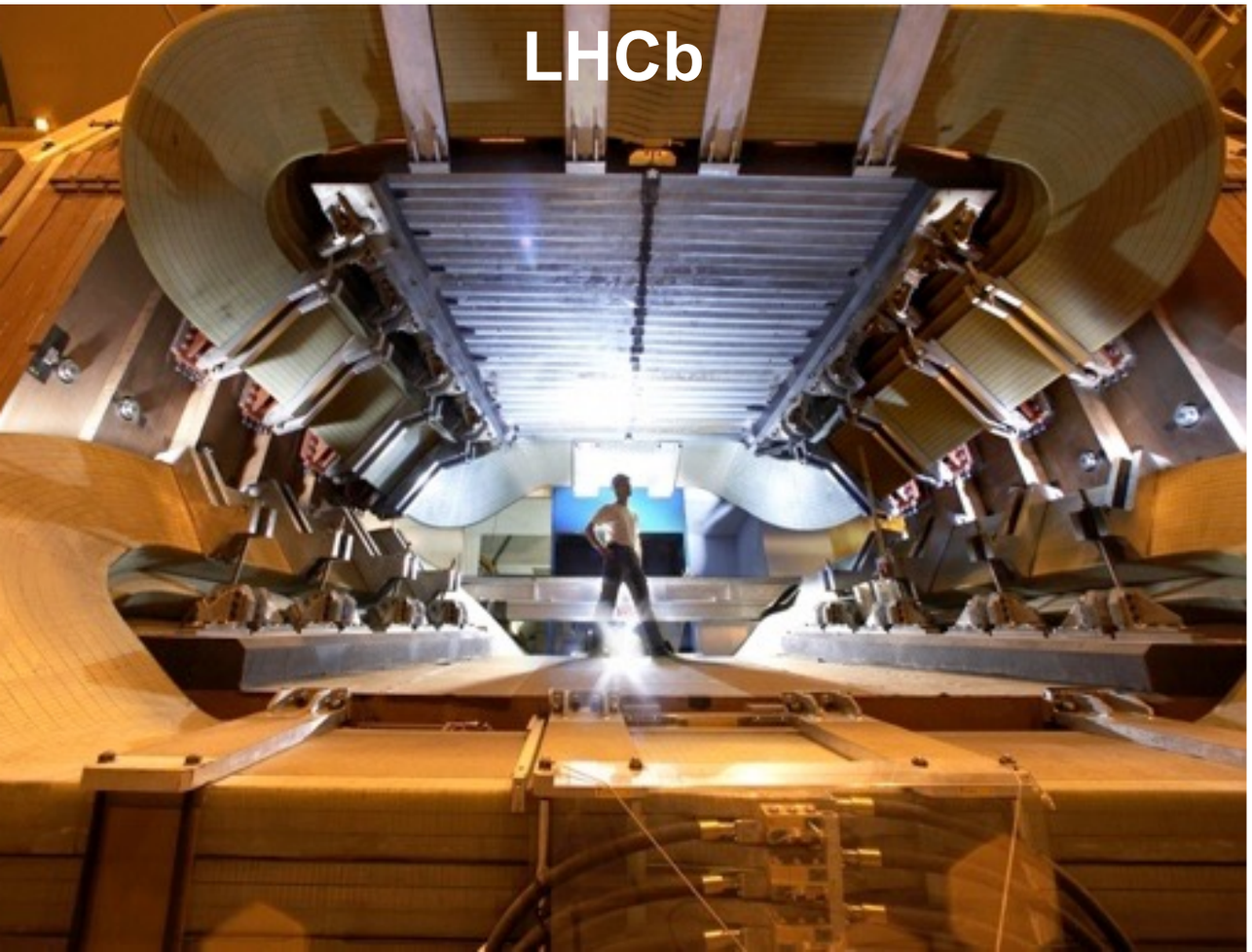
Der größte Teilchenbeschleuniger der Welt

Vier grosse LHC-Experimente




ATLAS


CMS

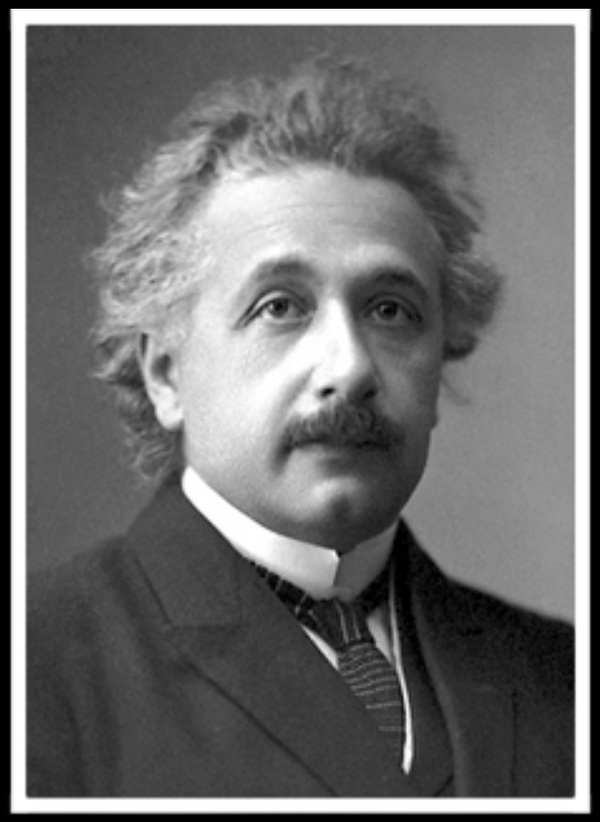

LHCb

ALICE

Der LHC Ringbeschleuniger

9000 high-tech Magnete in 27 km langem Tunnel,
100 Meter unter der Erde

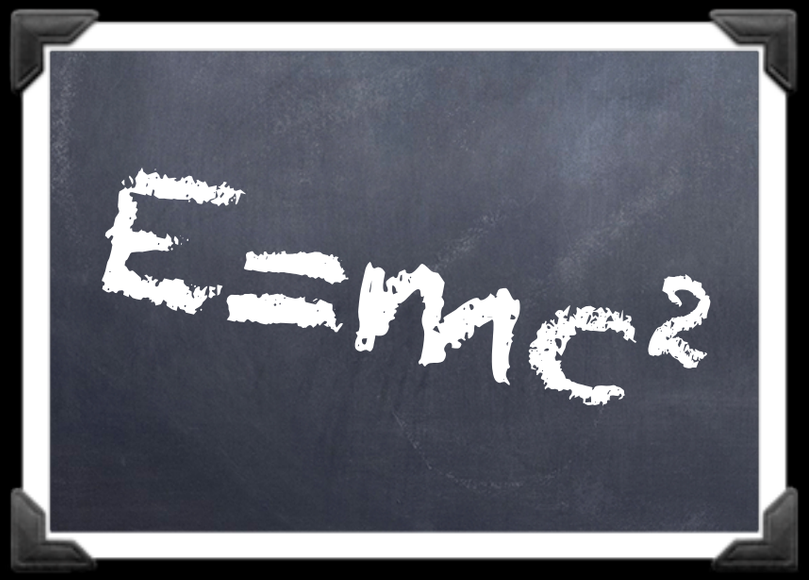
Warum Protonen auf hohe Energien beschleunigen und kollidieren lassen ?



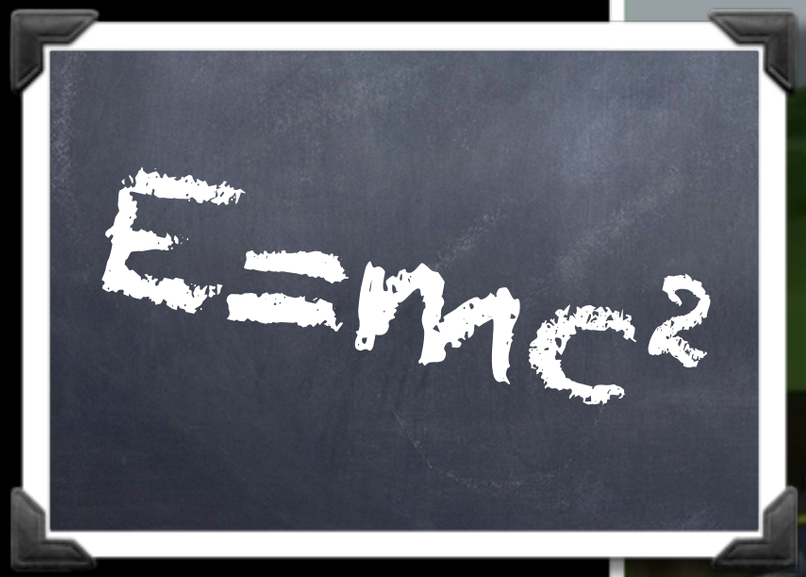
Albert Einstein, 1905:

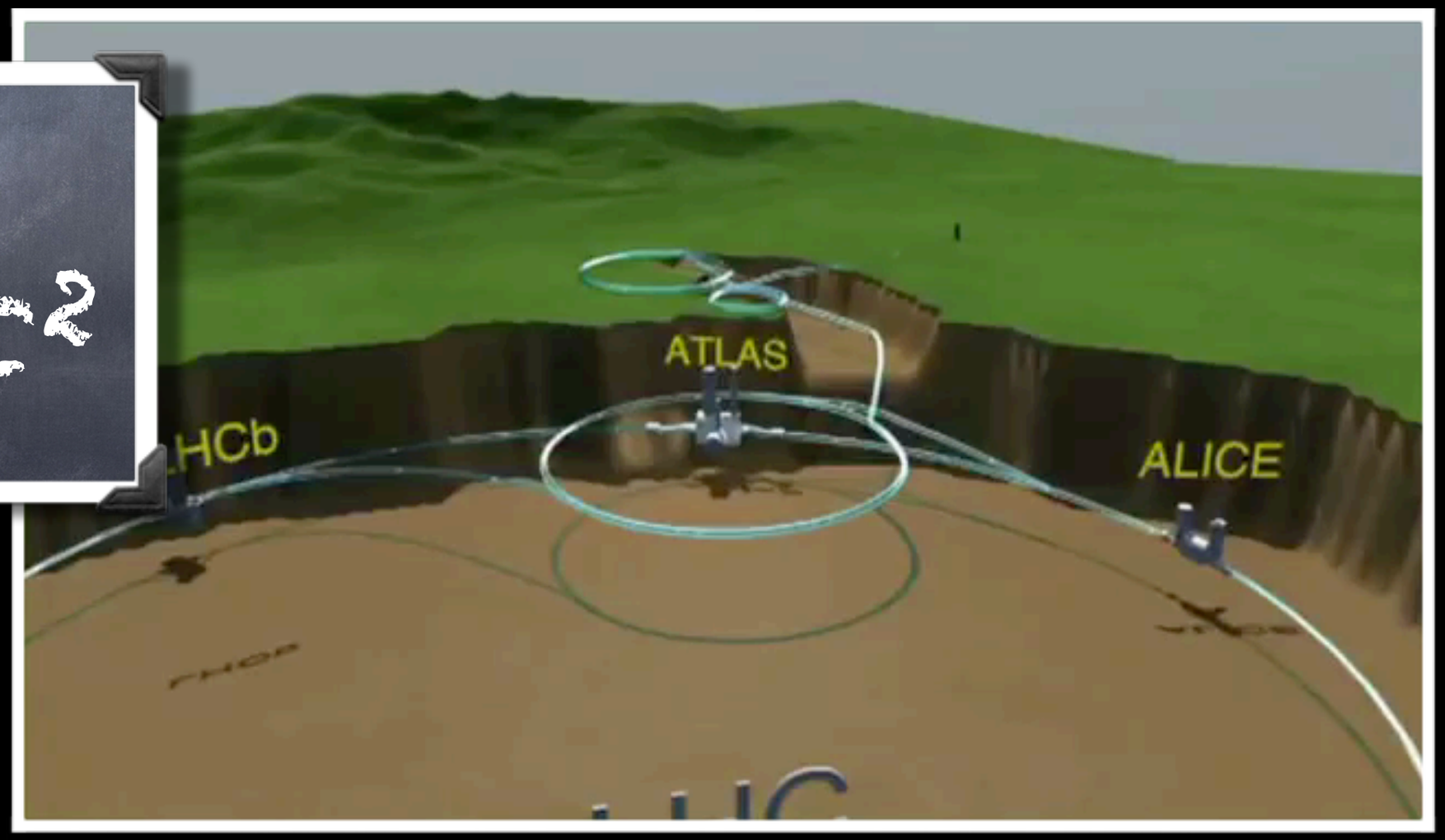
➡ die spezielle Relativitätstheorie

Energie kann in Materie umgewandelt werden !



Warum Protonen auf hohe Energien beschleunigen und kollidieren lassen ?





LHC kollidiert Protonen bei extremen Energien
um neue seltene, schwere Teilchen zu erzeugen

Das ATLAS Experiment am Large Hadron Collider

Das ATLAS Experiment am Large Hadron Collider

[im Hollywood Film “Illuminati”]

Der echte ATLAS Kontrollraum

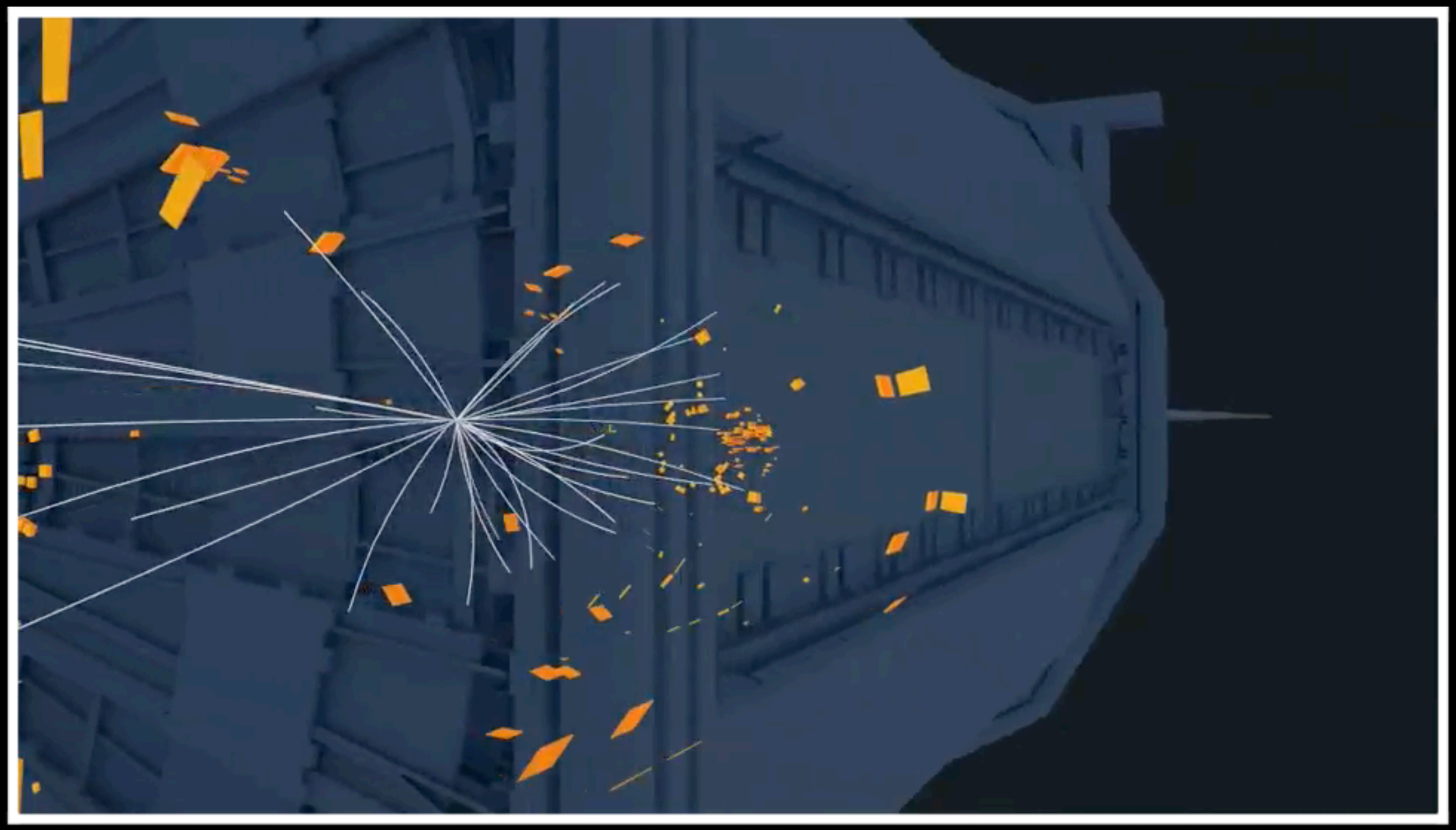
Experimente laufen rund um die Uhr, 7 Tage die Woche, betrieben von Studenten, Doktoranden und Post-Docs

Die Kollaboration - Ein globales Team

hier bin ich

~3000 Physiker aus 35 Ländern, ein gemeinsames Ziel
20 Jahre: vom Bau zum Betrieb und Auswertung der Data

Der ATLAS-Detektor als Kamera



Messung einer Kollision mit 90 Millionen Kanäle,
2.5 MB pro Aufnahme, 40 Million pro Sekunde

Der ATLAS-Detektor als Kamera

Das entspricht 10.000 mal der Information
der kompletten Encyclopedia Britannica
(in jeder Sekunde)

Mit Big Data zu physikalischen Entdeckungen

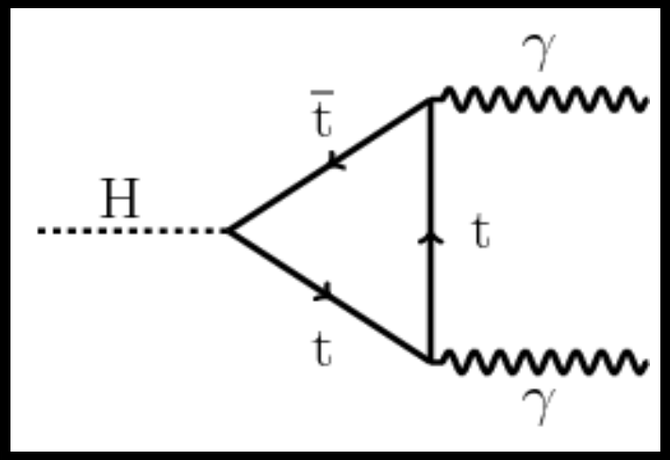
Die Nadel in hunderttausend Heuhafen

Eine Kollision von 100 Milliarden könnte ein Higgs-Teilchen enthalten

➡ Interessante Kollisionen müssen selektiert werden !

Strategie der Datenselektion:

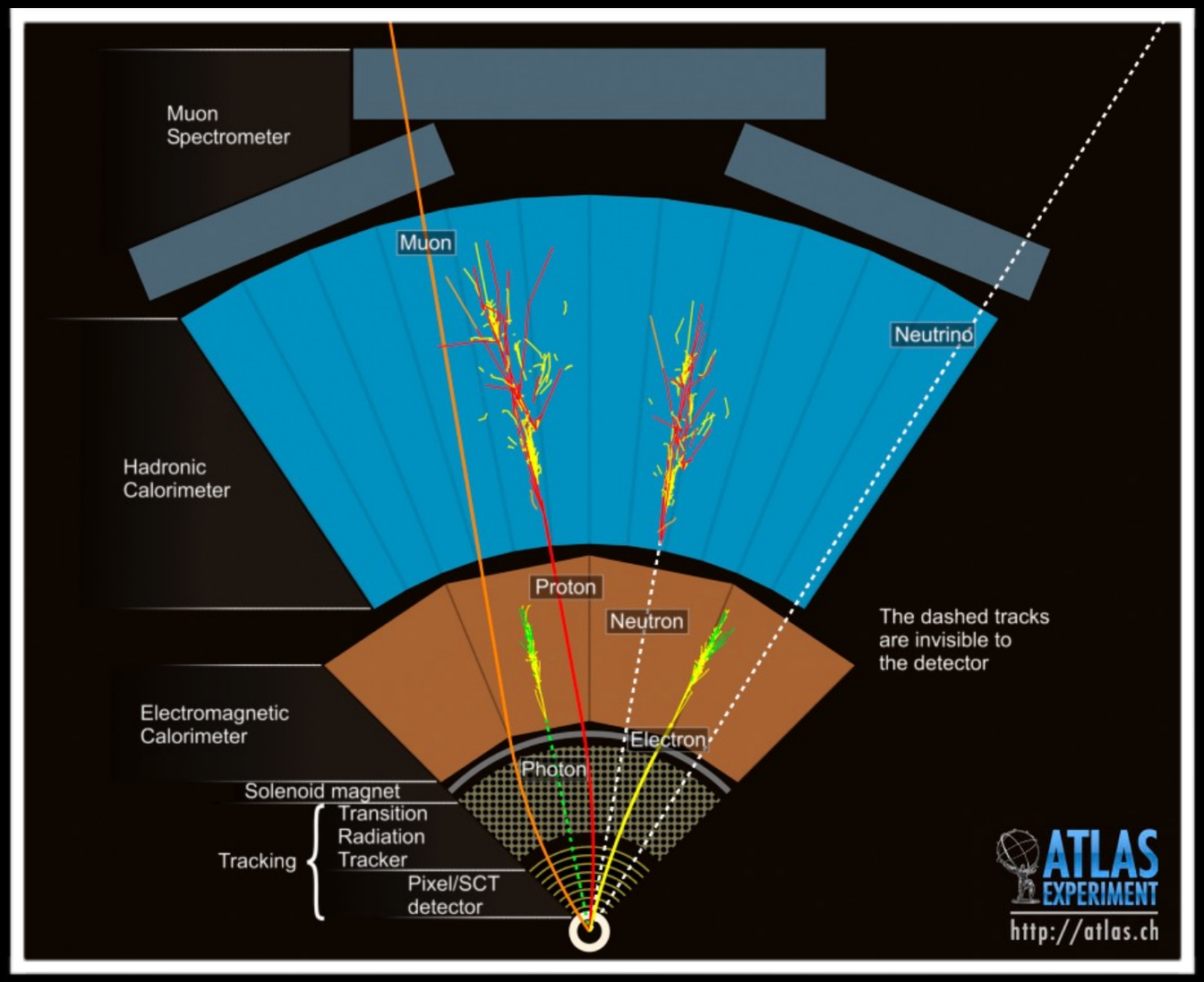
➡ Kollisionen erzeuge seltene, schwere Teilchen



➡ Schwere Teilchen zerfallen in stabile bekannte Teilchen

➡ Suche in Ereignissen nach Signaturen dieser bekannten Teilchen

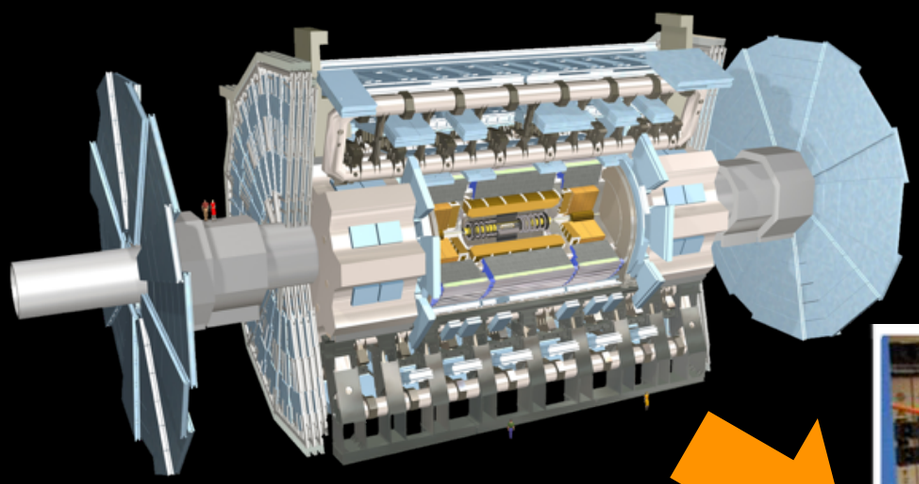
Rekonstruktion der Teilchen aus der Messung im Detektor



Spezielle Programme zu Mustererkennung,
Art und Eigenschaften der produzierten Teilchen

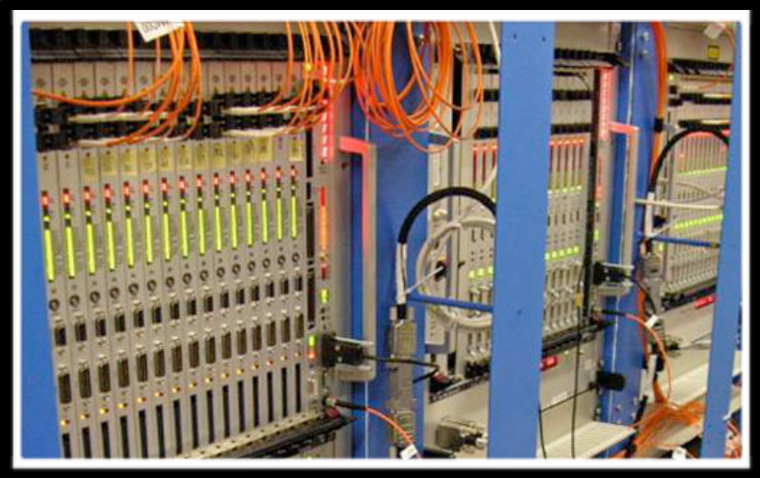
Selektion in Stufen, genannt Trigger

ATLAS-Detektor



40 MHz
100 TB pro Sekunde

1.Stufe:
spezielle Elektronik



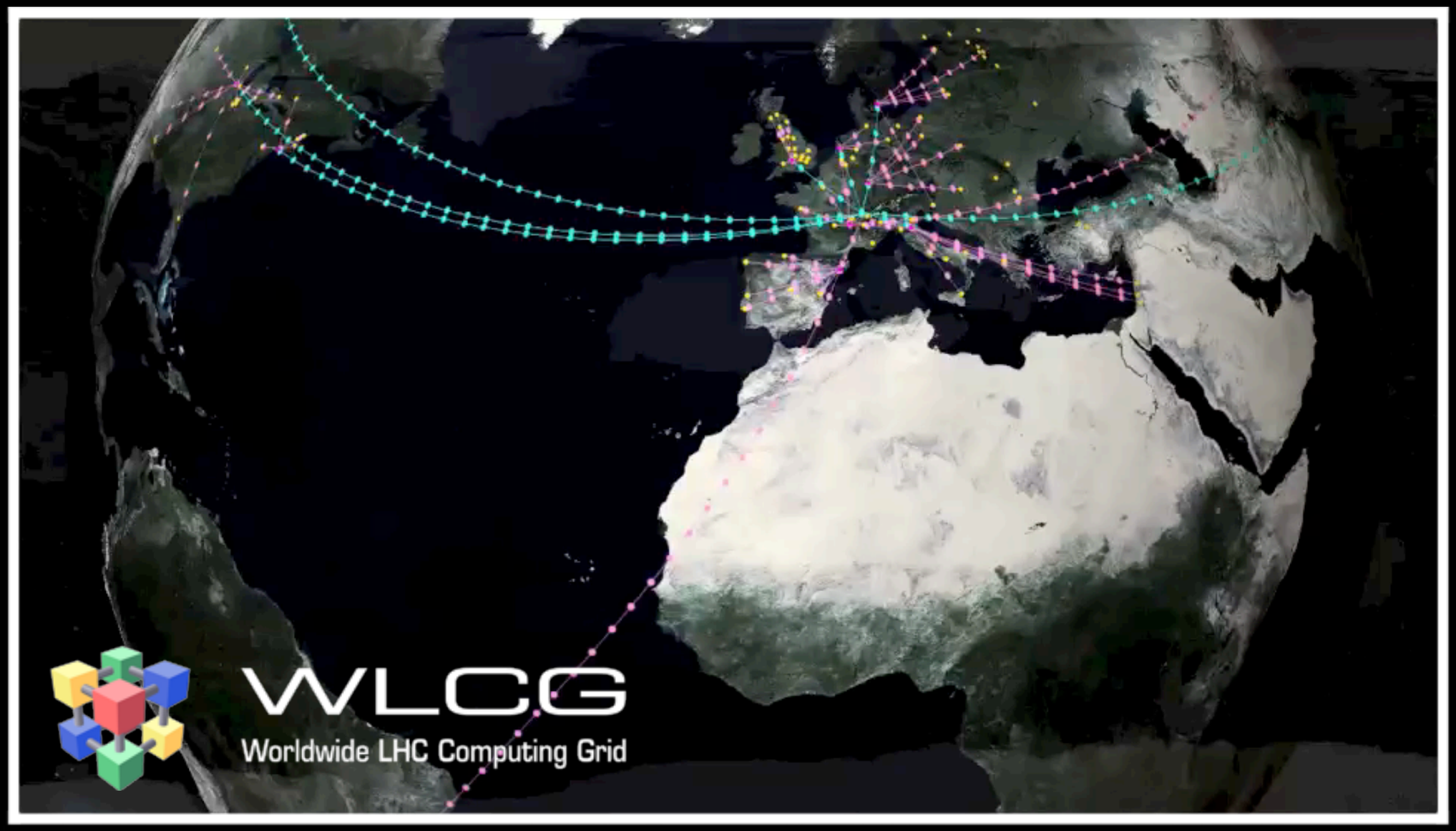
80 kHz
200 GB pro Sekunde

2.Stufe:
Software, PC-Farm

1000 Hz , 2.5 GB pro Sekunde

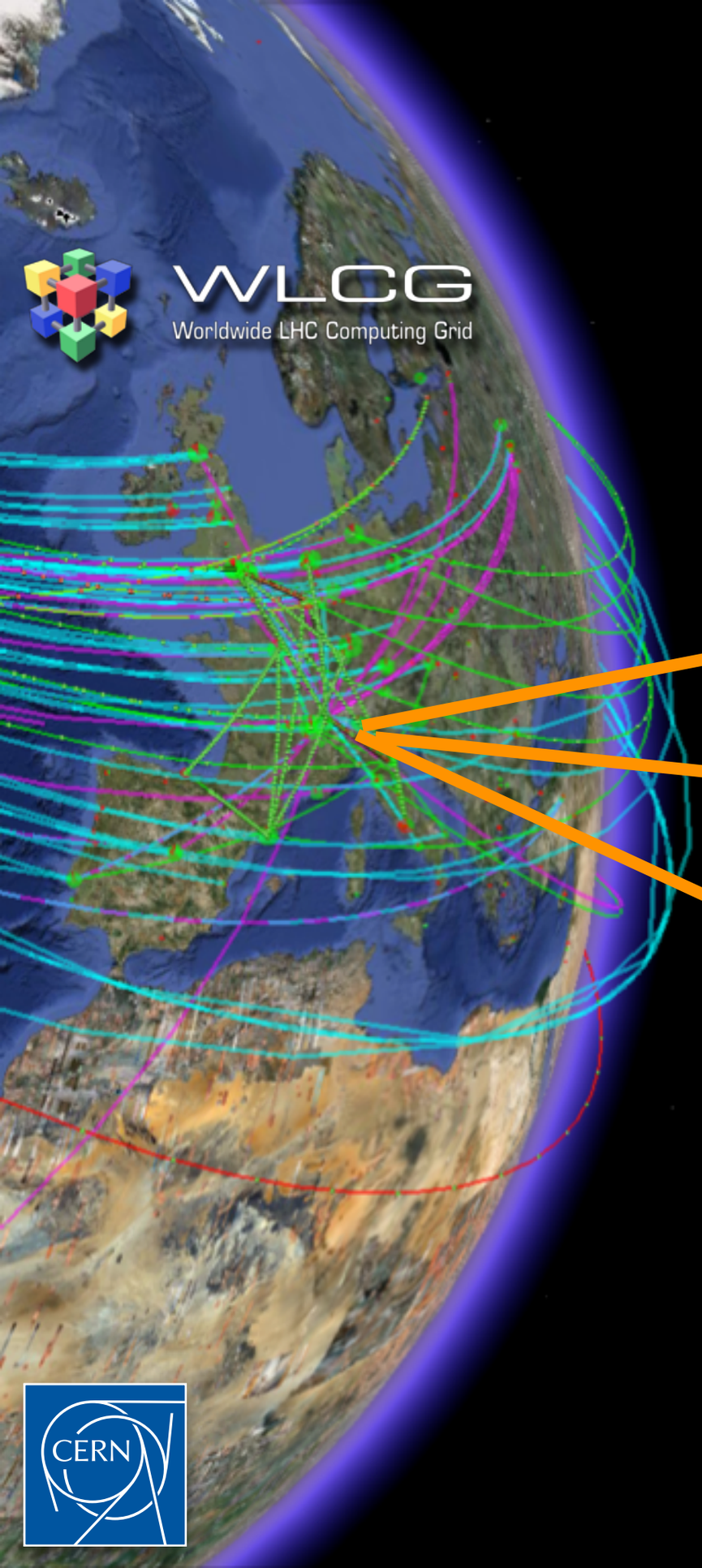
ATLAS produziert im Jahr 20 PB an selektierten Daten

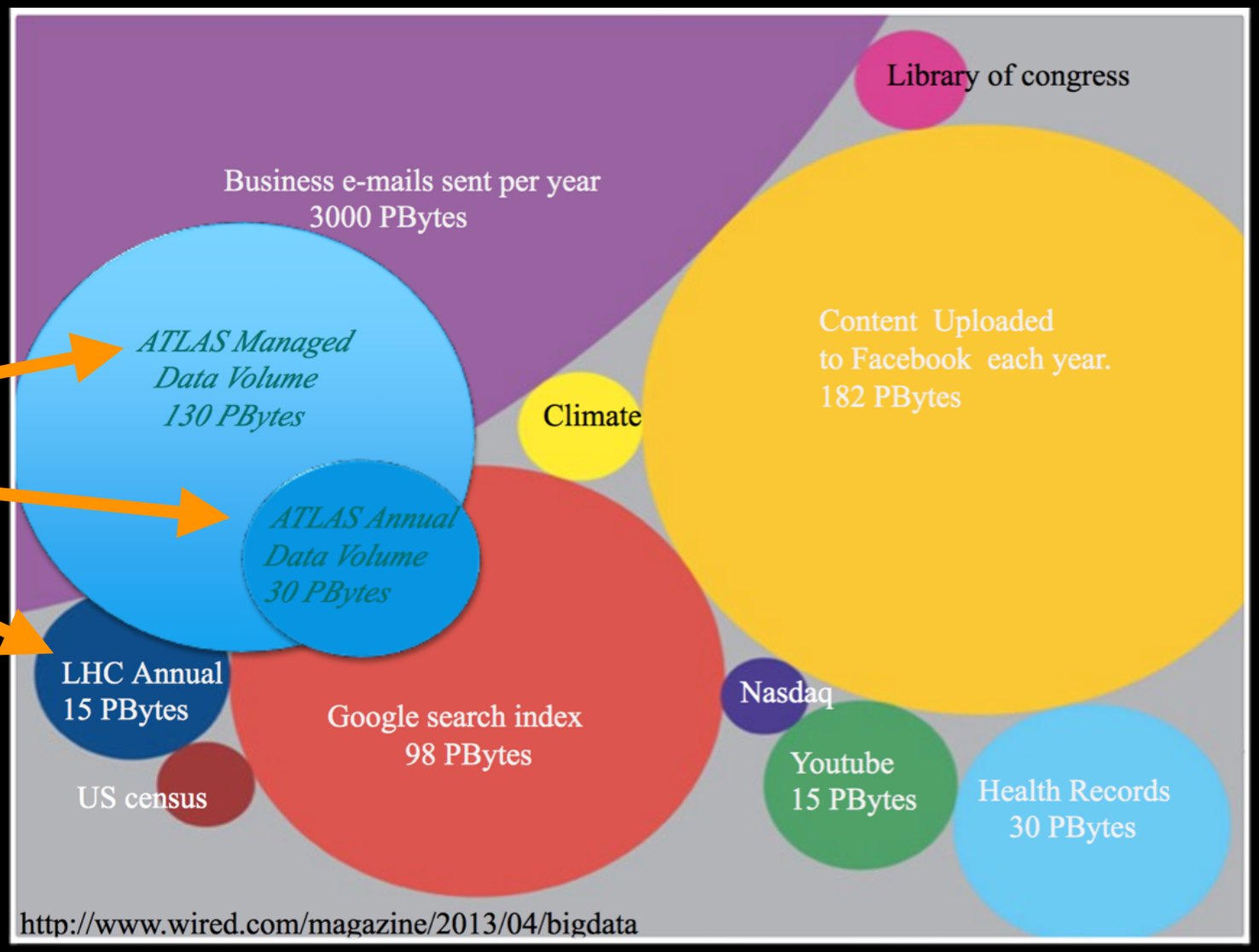
Daten werden auf dem GRID verteilt



Mehr als 130 Rechenzentren weltweit,
Universitäten und große Forschungszentren

LHC Computing ist Big Data





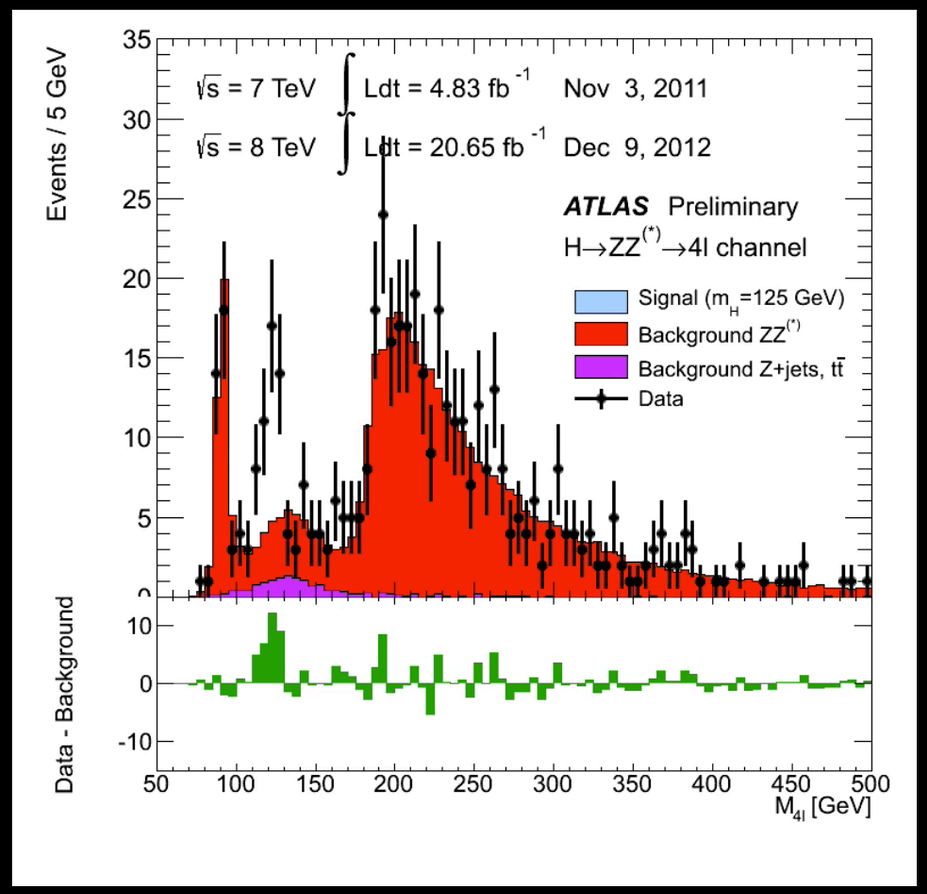
Planung begann mehr als 10 Jahre bevor die Welt über Big Data und Cloud redete !

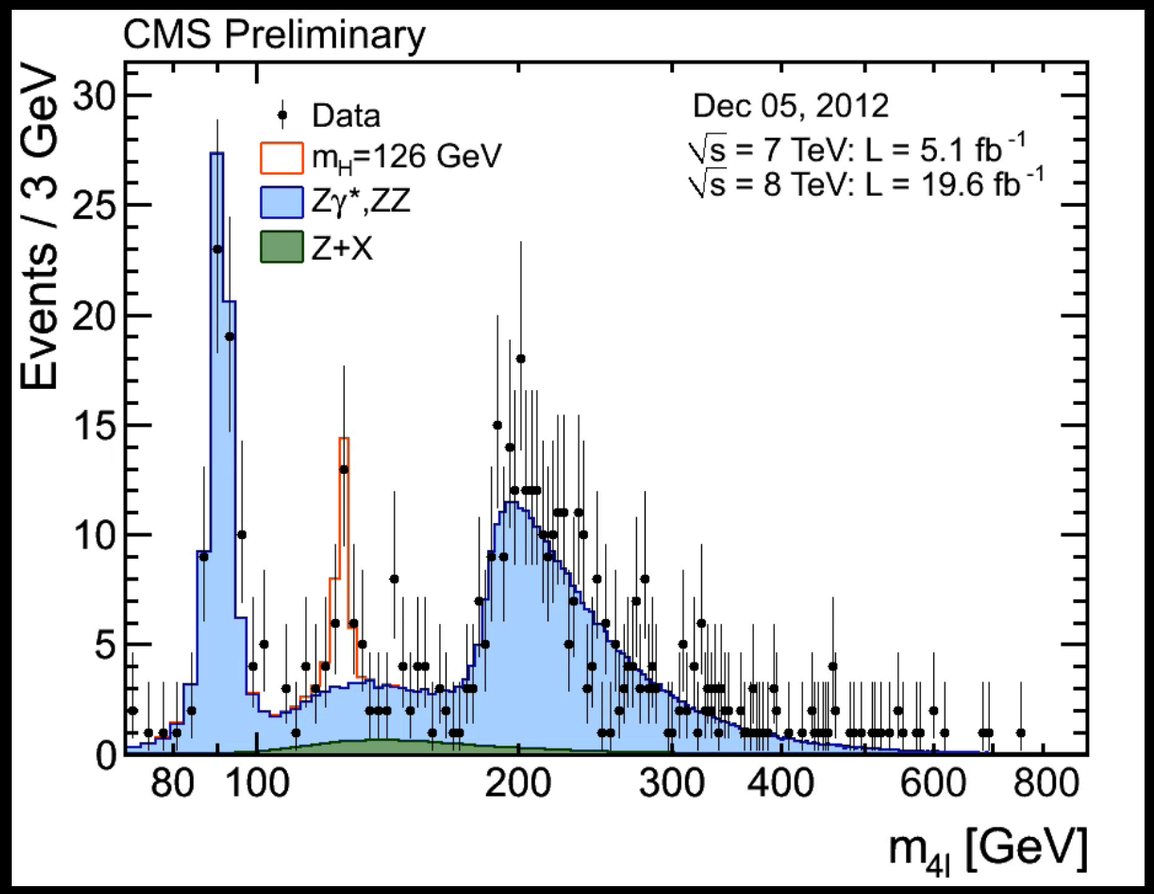
➡ Umgesetzt innerhalb eines wissenschaftlichen Budgets, im Gegensatz zu Google und Facebook

Die Suche nach dem Higgs-Teilchen

Internationale Forschungsteams,
Entwicklung von ausgefeilten Algorithmen
und Strategien zur Analyse der Daten

Die Entdeckung des Higgs-Teilchens





Fabiola Gianotti, Joe Incandela

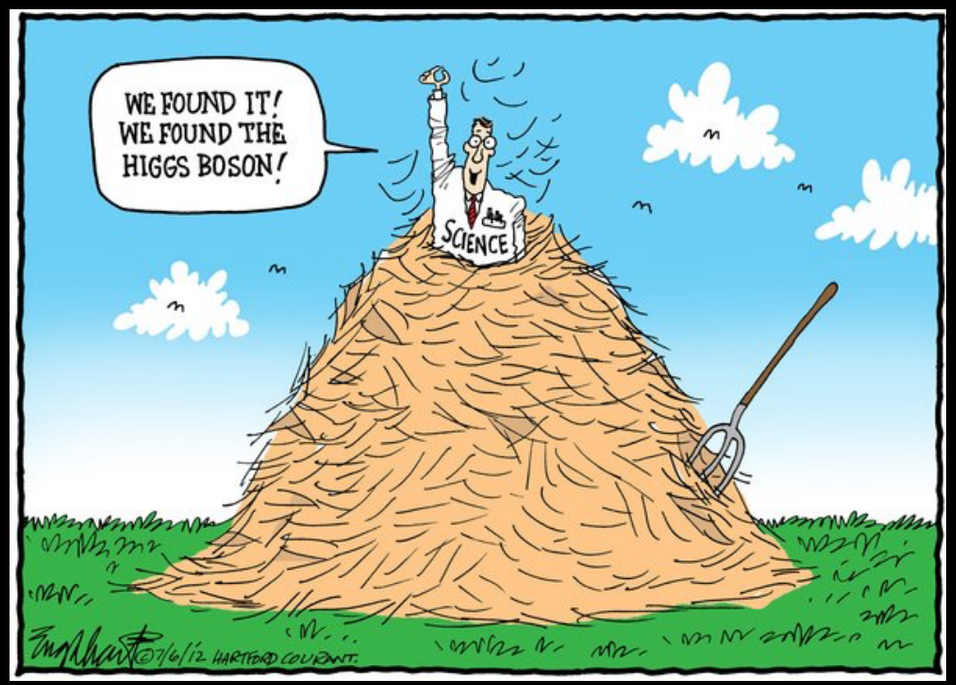
CERN Seminar
4. Juli 2012

François Englert, Peter Higgs

Und was danach passierte…

Blick in die aktuelle Forschung

Blick in die aktuelle Forschung



Große Durchbrüche sind Ergebnis jahrelanger Arbeit

"Doch Forschung strebt und ringt, ermüdend nie, nach dem Gesetz, dem Grund, Warum und Wie."
Johann Wolfgang von Goethe

Viele offene Fragen, um die Rätsel des Universum zu entschlüsseln, insbesondere:

Verstehen wir, wie das Higgs-Teilchen allen Teilchen Masse gibt ?

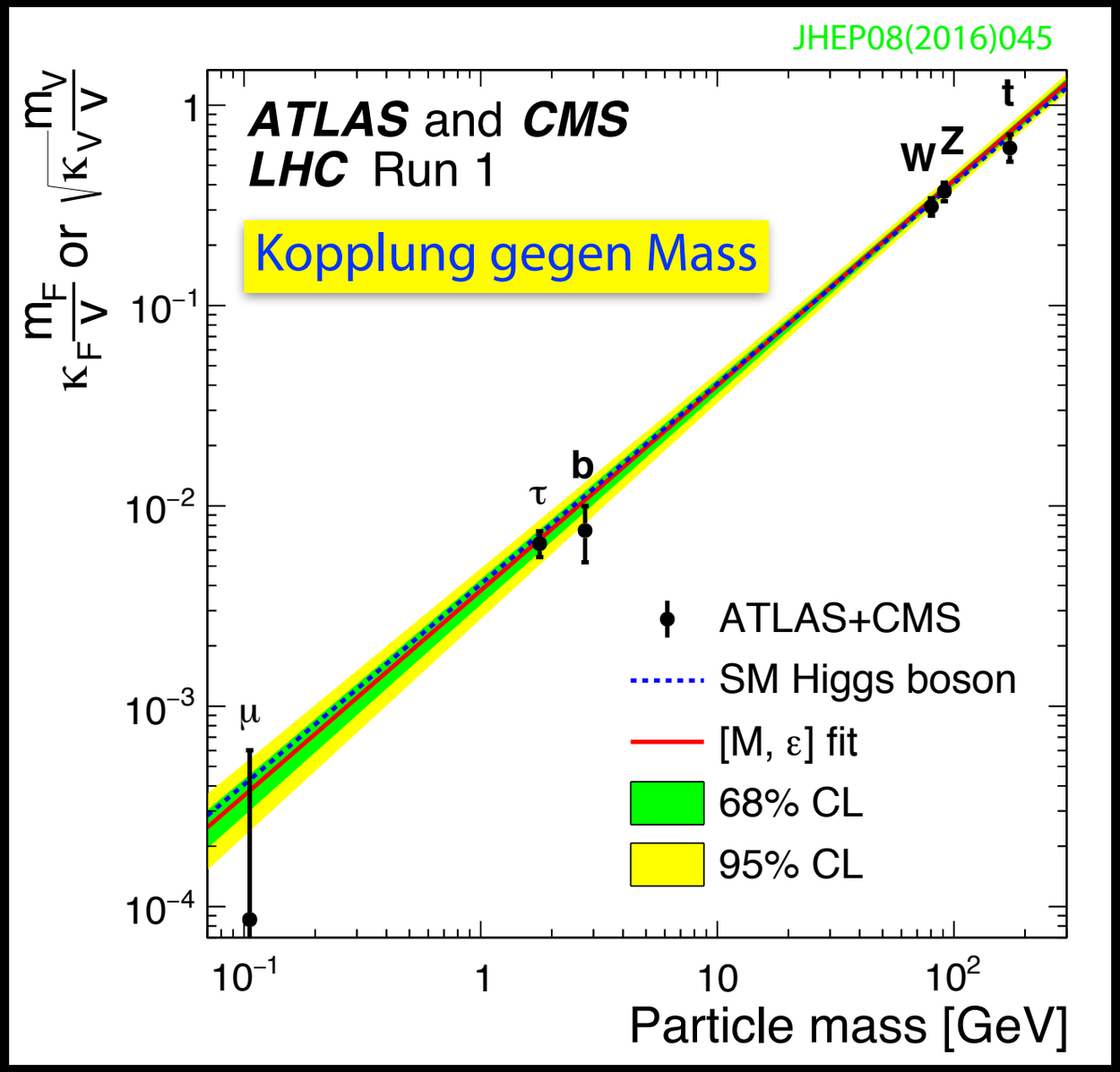
➡ Studium der Eigenschaften des Higgs-Teilchens

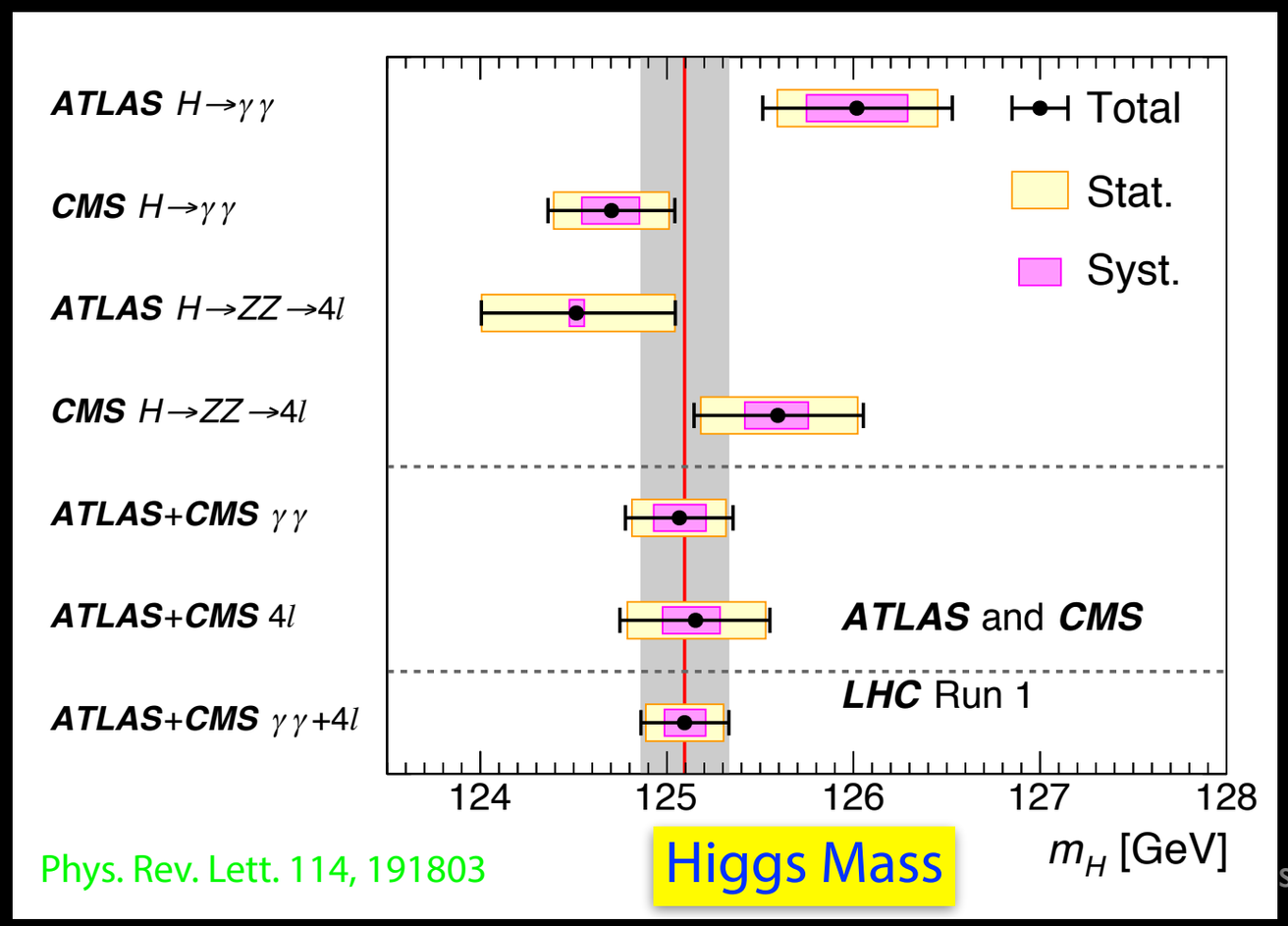
Gibt es neue Physik mit Teilchen, die die dunkle Materie im Universum bilden ?

Eigenschaften des Higgs-Teilchens

Messungen aller Eigenschaften

- ➡ Masse des Higgs-Teilchens
- ➡ Bestimmung des Spin und der Parität
- ➡ Kopplungen des Higgs an alle Teilchen





Phys. Rev. Lett. 114, 191803

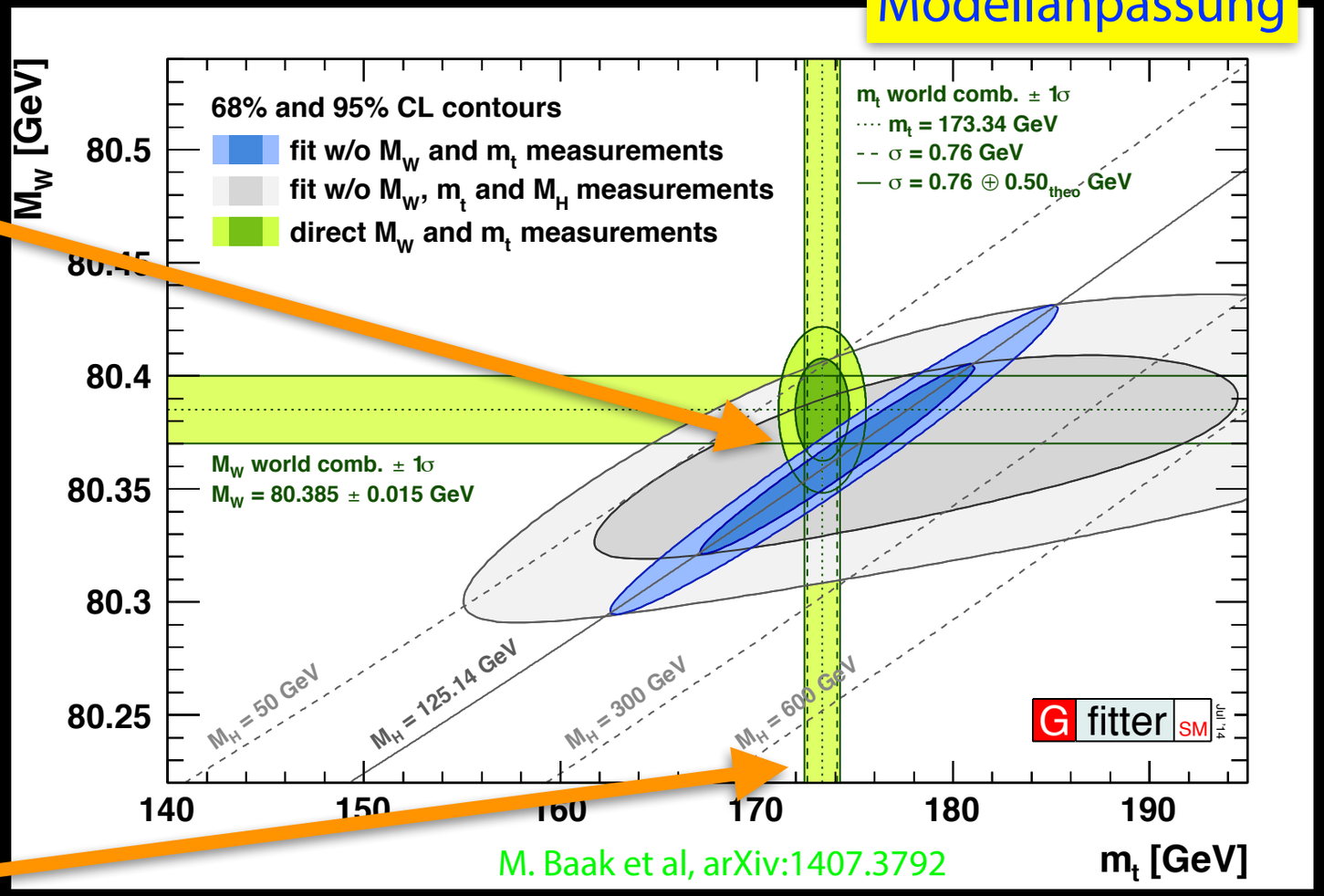
Higgs-Teilchen scheint sich wie vorhergesagt zu verhalten !

Präzisionsmessungen des Standardmodels

Modellanpassung an kombinierte Ergebnisse

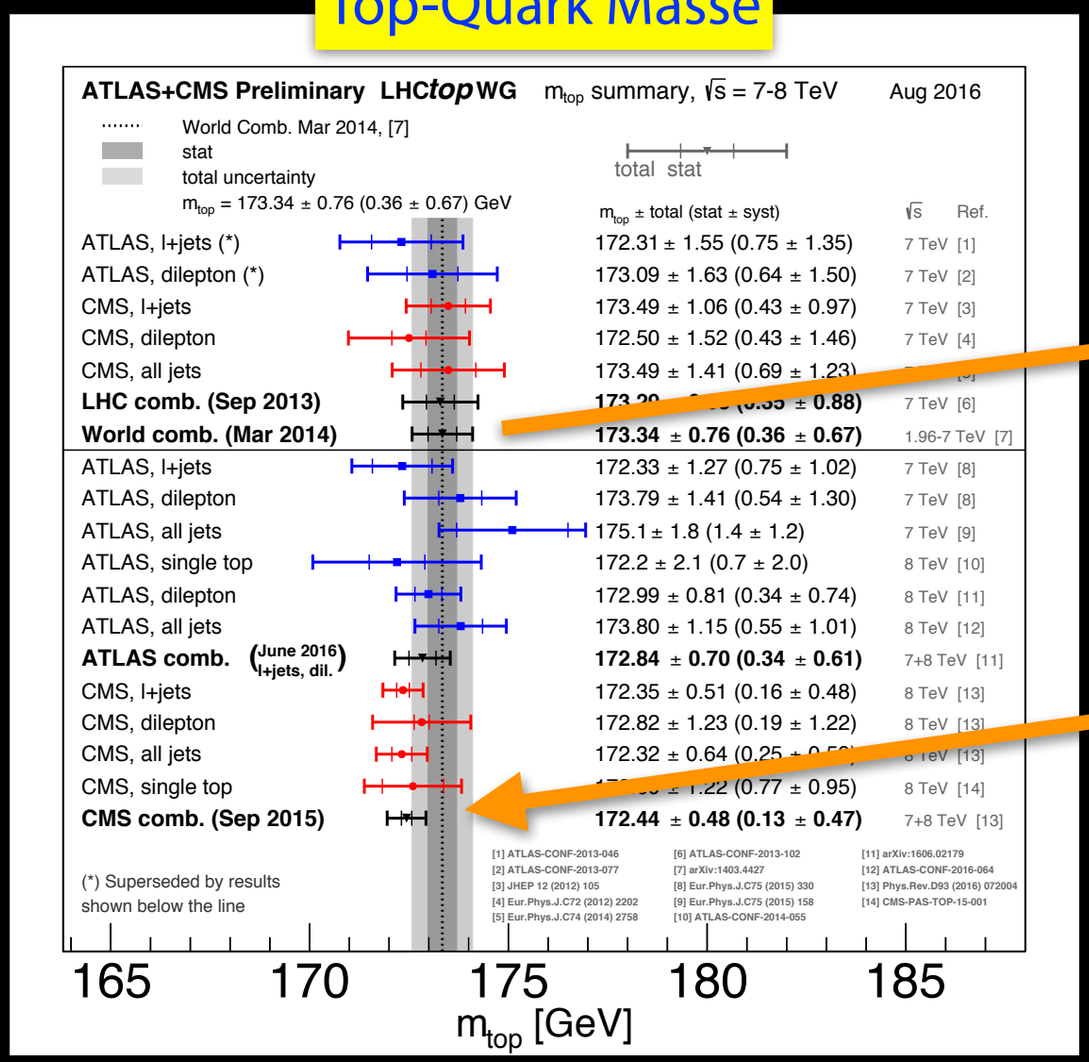
➡ bisher keine Abweichungen durch Effekte neuer Physik

Modellanpassung



M. Baak et al, arXiv:1407.3792

Top-Quark Masse



LHC Ergebnisse

➡ präzise Messung der Masse des Higgs-Teilchens

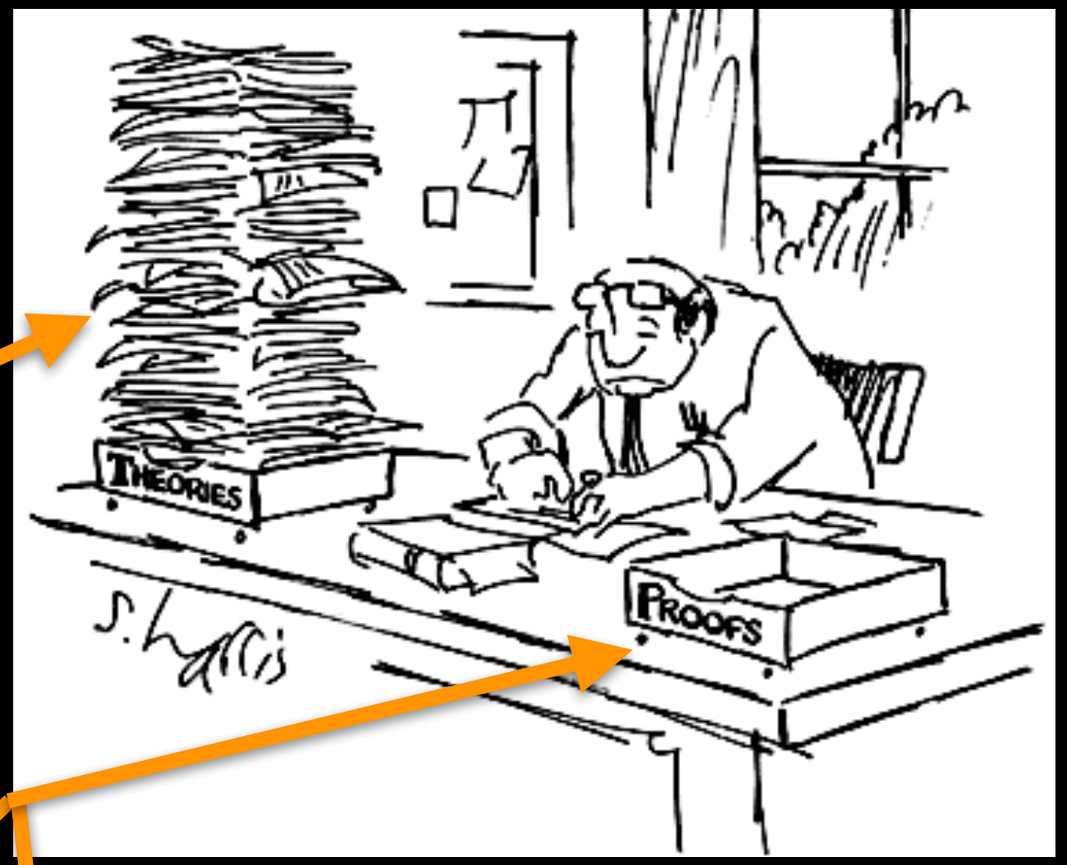
➡ neueste Messungen der Top-Quark Masse

➡ erwarten sehr bald erste Präzisionsmessung der W Masse am LHC

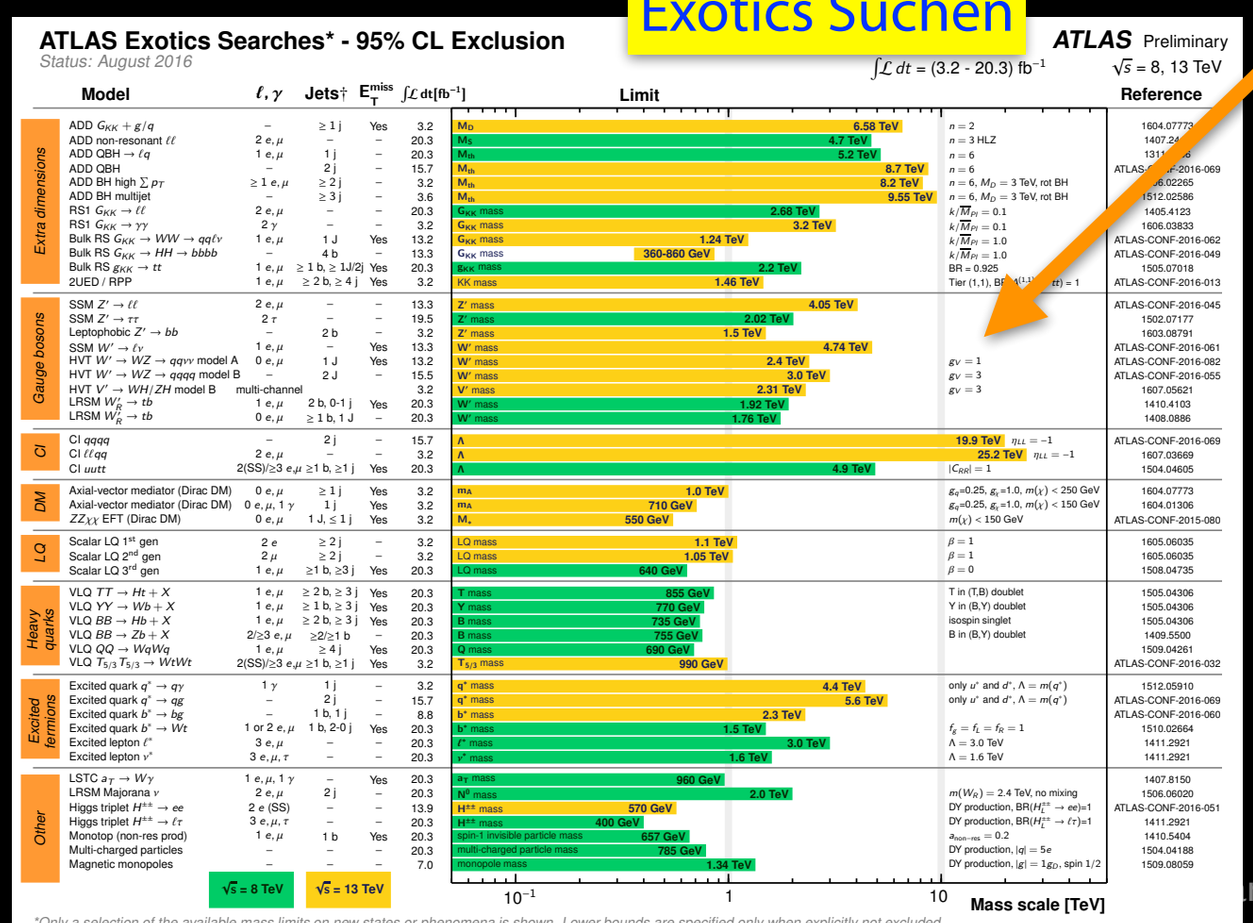
Suche nach neuer Physik

Viele Theorien sagen neue Teilchen vorher, inklusive möglicher Kandidaten für dunkle Materie

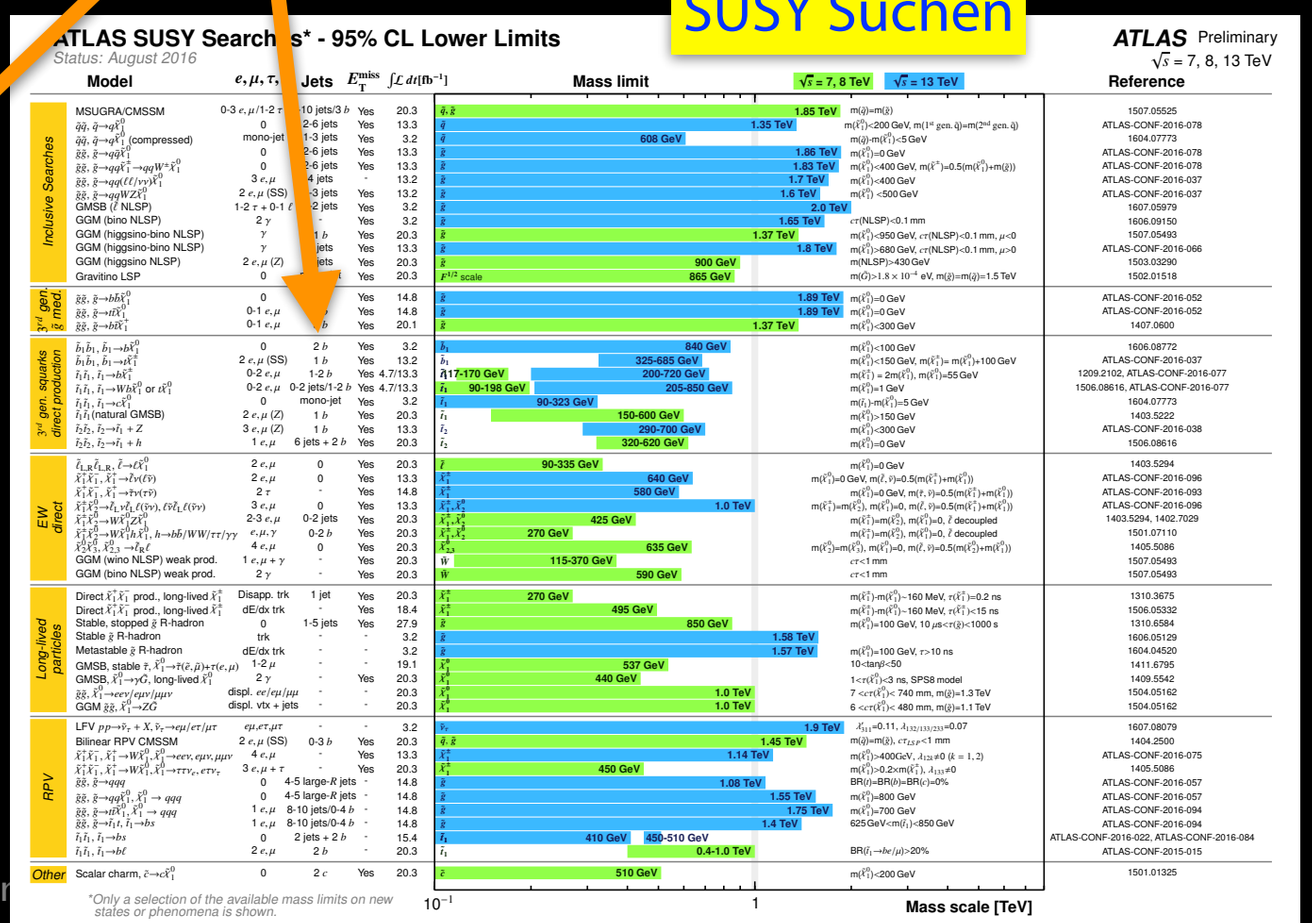
➡ Viele Suchen haben bisher keine Anzeichen für neue Teilchen in den LHC Daten geliefert



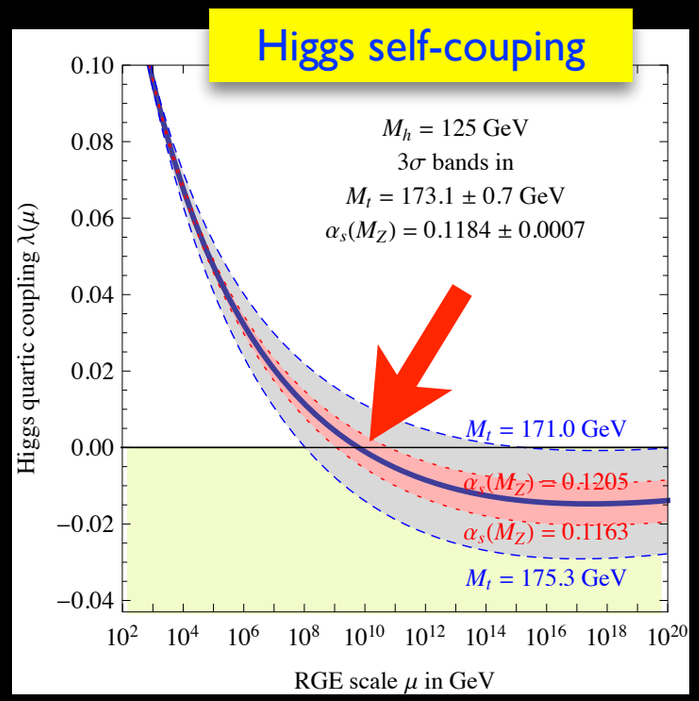
Exotics Suchen



SUSY Suchen



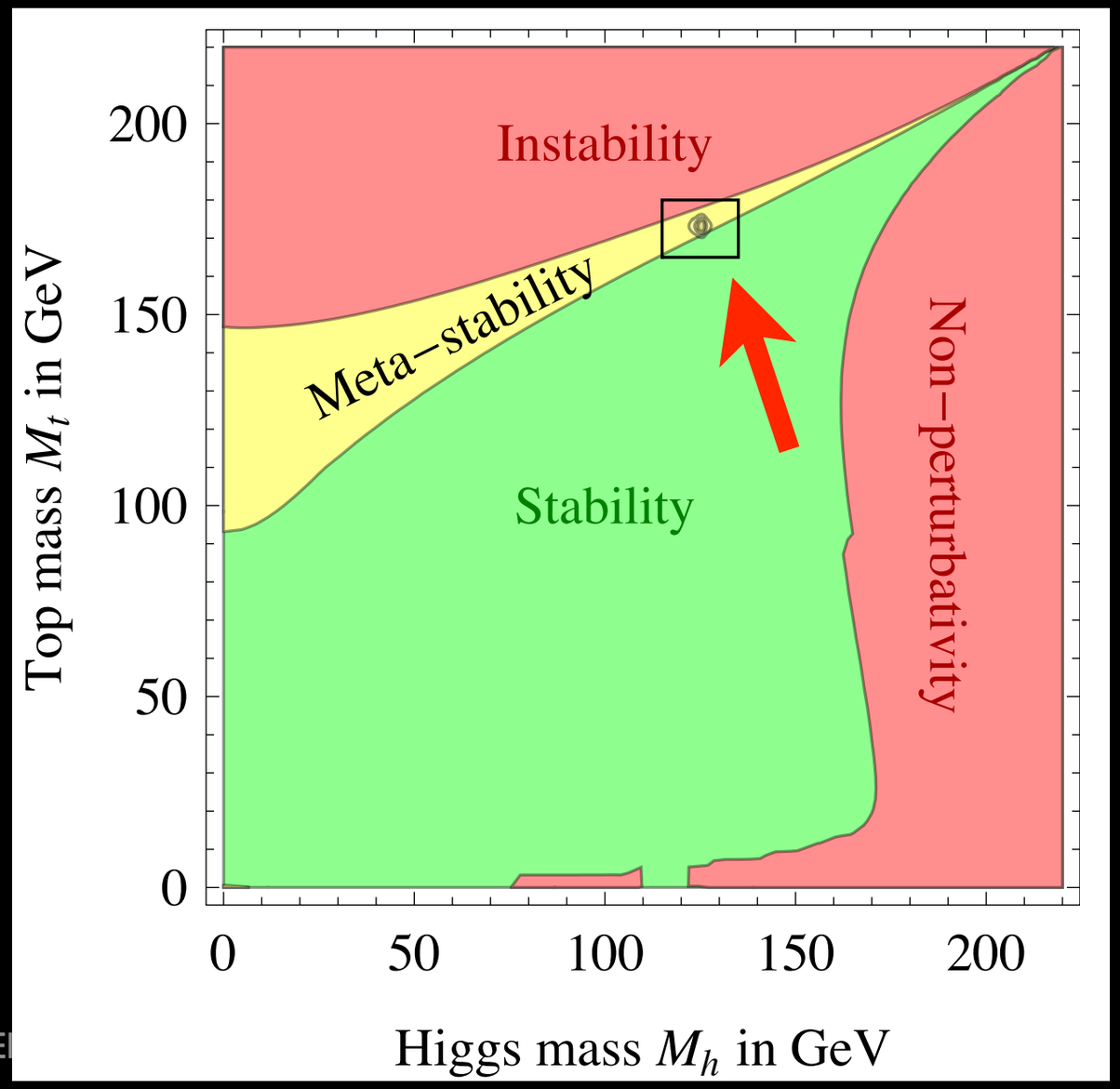
Was wäre, wenn... wir keine neue Physik bei hohen Energien finden ?



Degrassi et al., arXiv:1205.6497v1

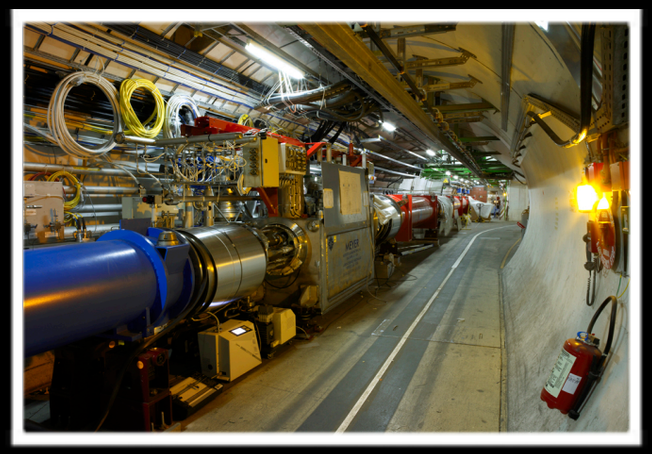
Verhalten des Standardmodels bei höchsten Energien

- ➡ Vorhersage für Higgs-Selbstkopplung wird negativ
- ➡ Vakuum möglicherweise meta-stabil mit Lebensdauer >> Alter des Universums



Teilchenphysik und Innovation

Teilchenphysik und Innovation

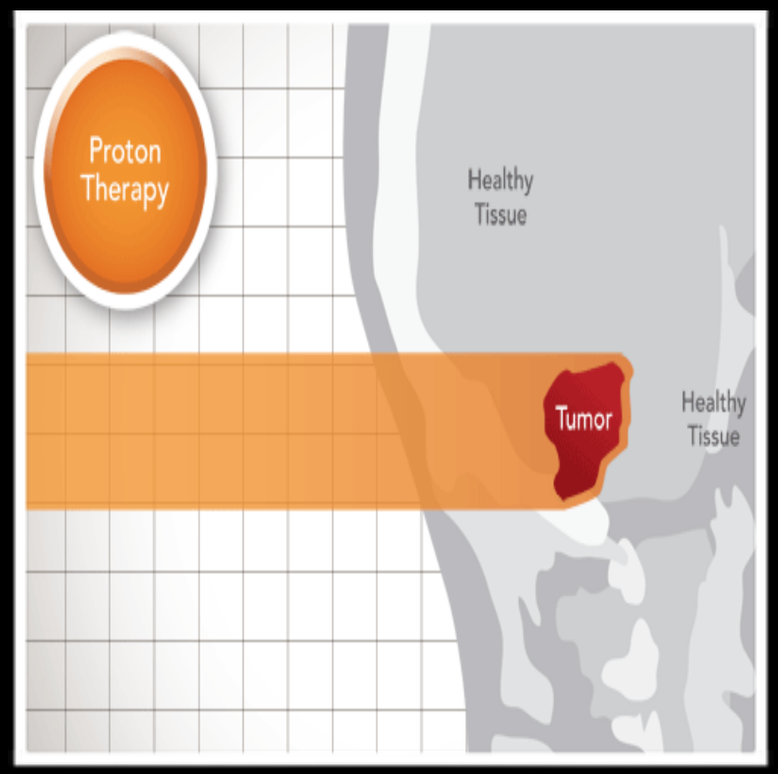


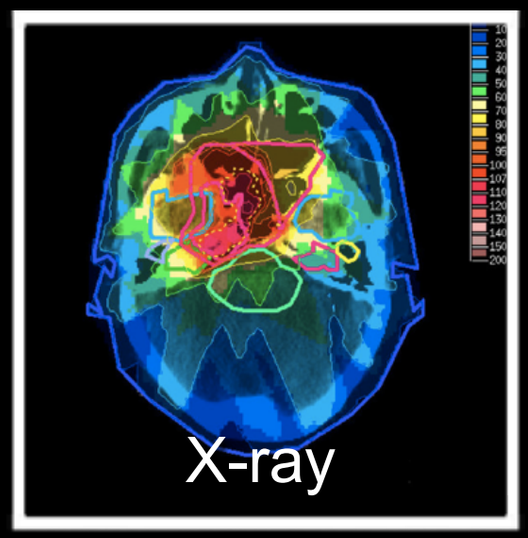
Teilchenbeschleuniger Teilchendetektoren Datenverarbeitung

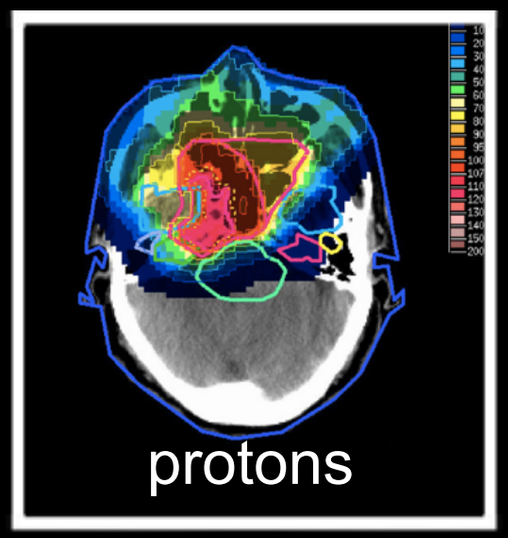
Ehrgeizige Ziele,
pragmatisches Ausnutzen
von Hochtechnologie

Teilchenbeschleuniger in der Medizin

Weltweit gibt es etwa 30.000 Teilchenbeschleuniger
➡ etwa 17.000 für medizinische Anwendungen





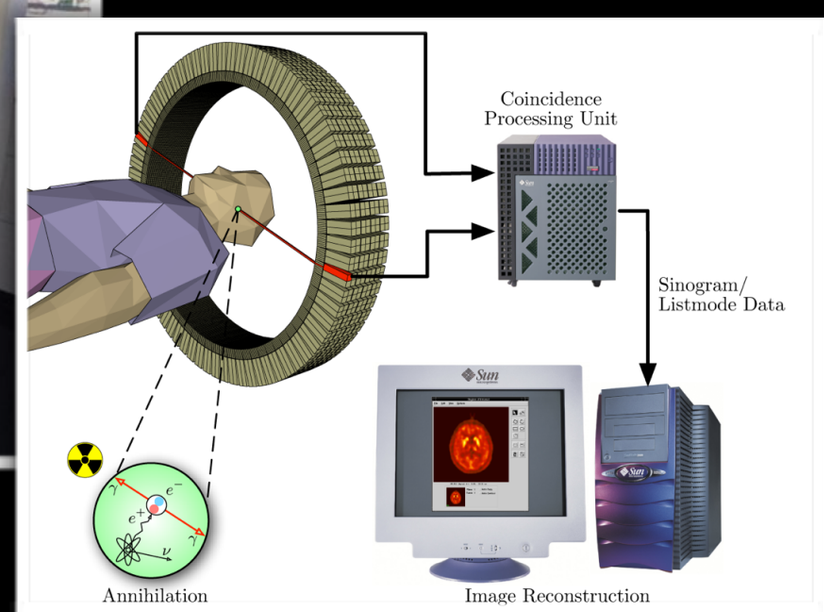


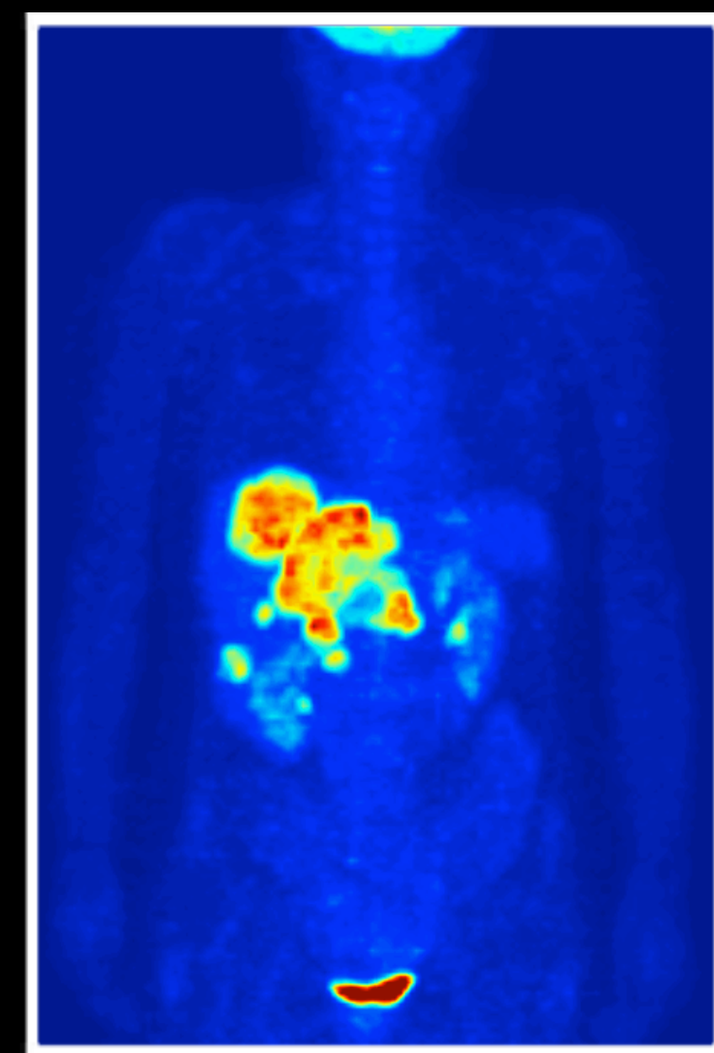
Hadron-Therapie gegen Krebs
➡ 70.000 behandelte Patienten in 30 Zentren weltweit
➡ einer der Pioniere: Ugo Amaldi

Bildgebende Verfahren in der Medizin

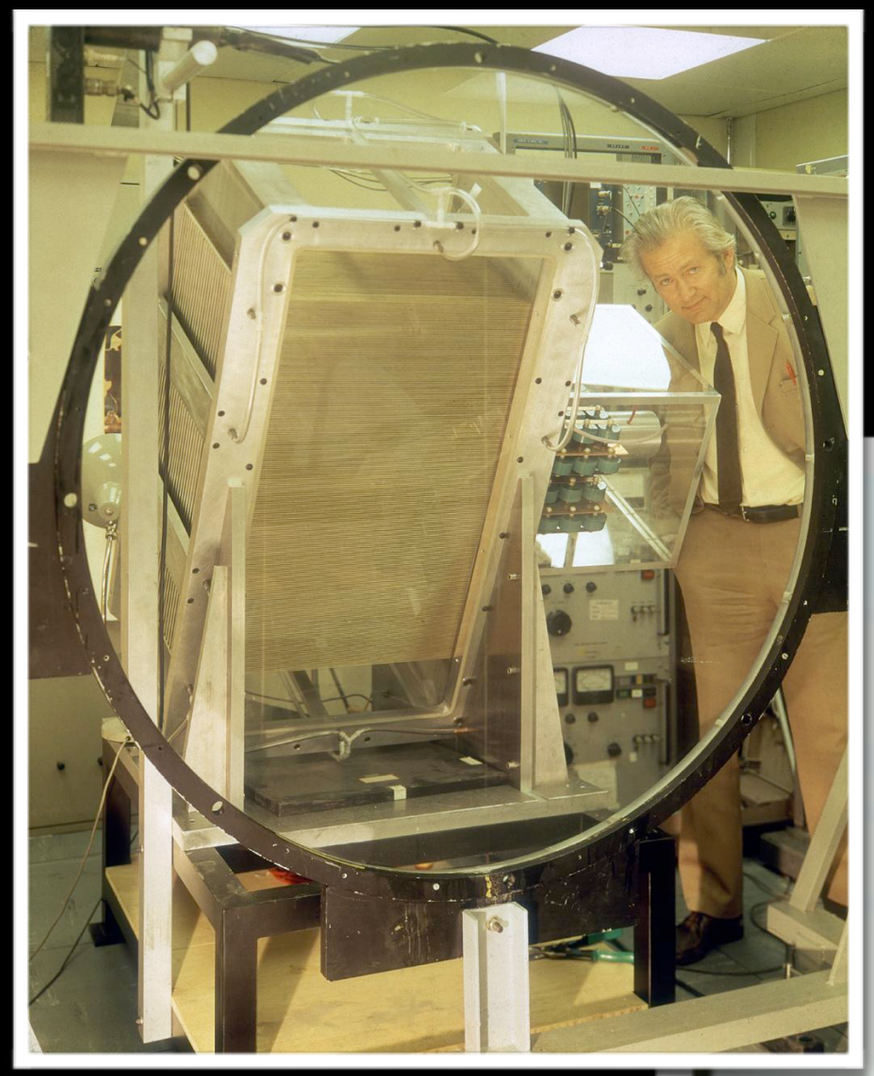
Positronen-Emmissions-Tomographie (PET)

1997 erste PET-Aufnahme an CERN,
heute weltweit verwendet in der Medizin





CERN Entwicklung von Detektoren



Georges Charpak,
Nobelpreis 1992

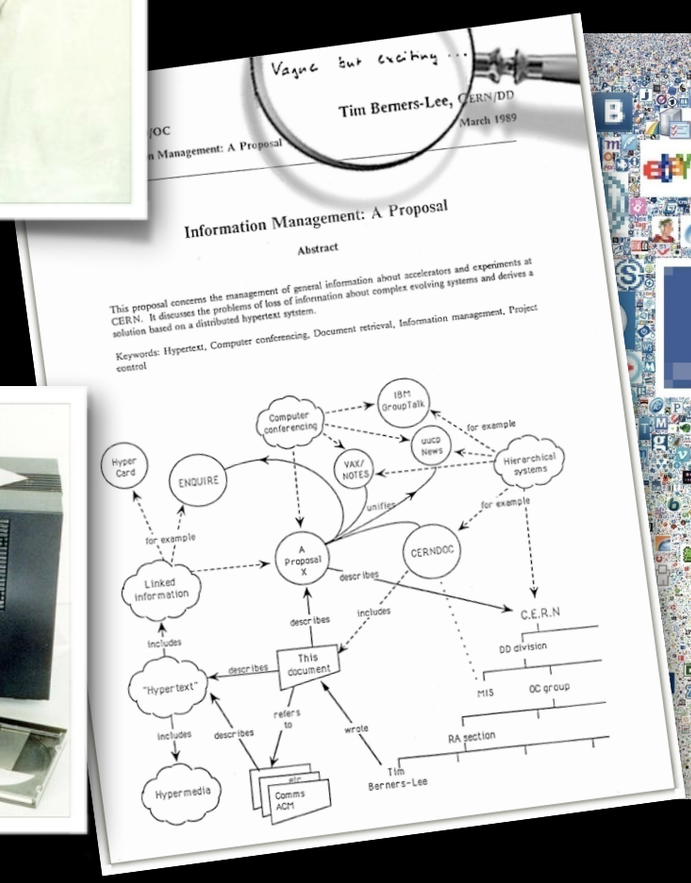
Wie durchleuchtet man einen LKW ?

➡ Industrielle Anwendung von Drahtkammern

CERN und das World Wide Web

Sir Tim Berners-Lee

Erfunden 1989 am CERN



Vague but exciting ...

Tim Berners-Lee, CERN/DD

March 1989

Information Management: A Proposal

Abstract

This proposal concerns the management of general information about accelerators and experiments at CERN. It discusses the problems of loss of information about complex evolving systems and derives a solution based on a distributed hypertext system.

Keywords: Hypertext, Computer conferencing, Document retrieval, Information management, Project control

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !