

TAG DER
WELT
MASCHINE

EINE VERANSTALTUNG ZUM START DES LHC –
DES GRÖSSTEN PHYSIK-EXPERIMENTS DER MENSCHHEIT



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Der Large Hadron Collider am CERN -

Ein Sondervortrag zur Ausstellung
„Weltmaschine“ in Berlin

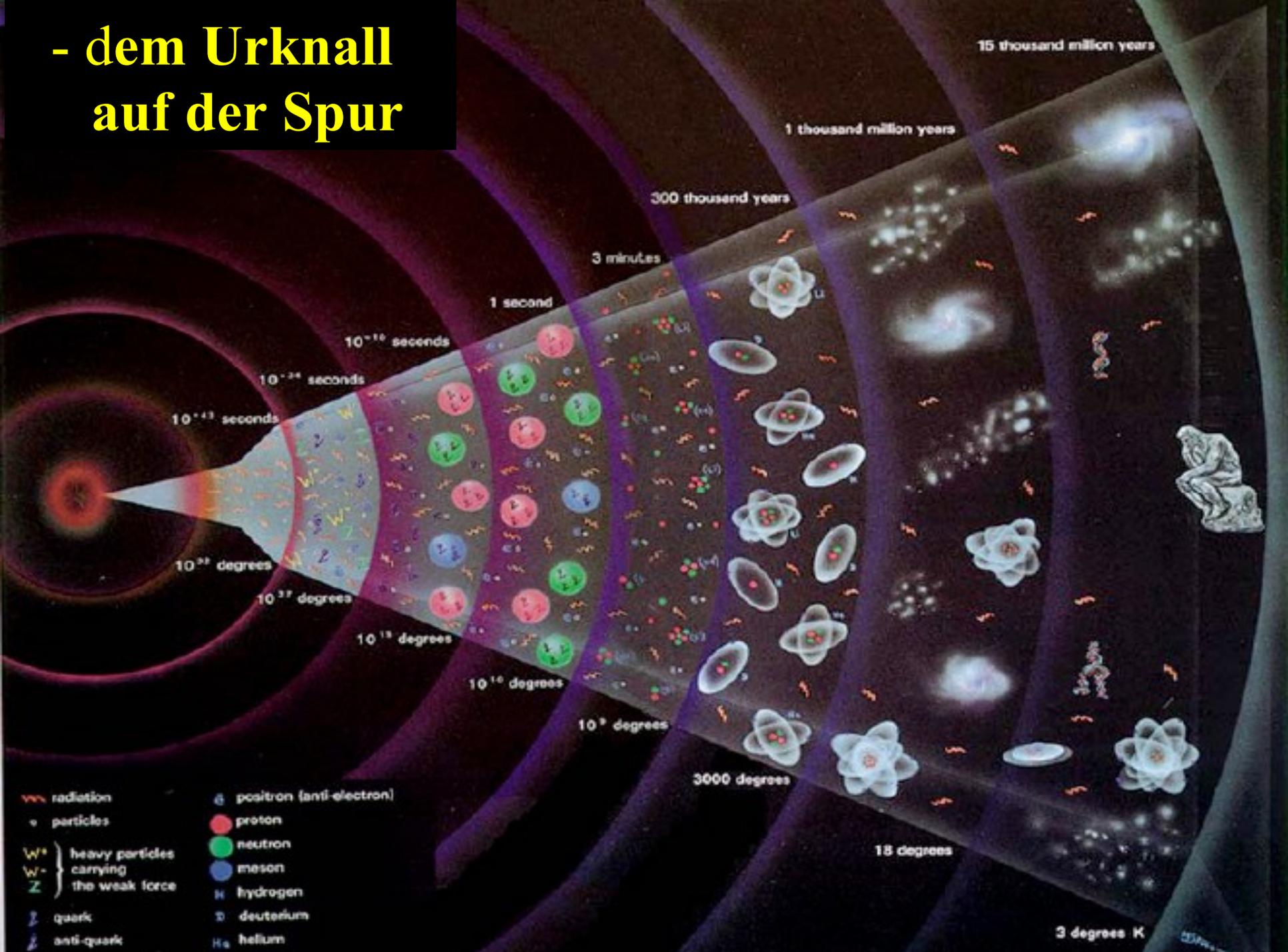


Universität Karlsruhe (TH)
Forschungsuniversität • gegründet 1825

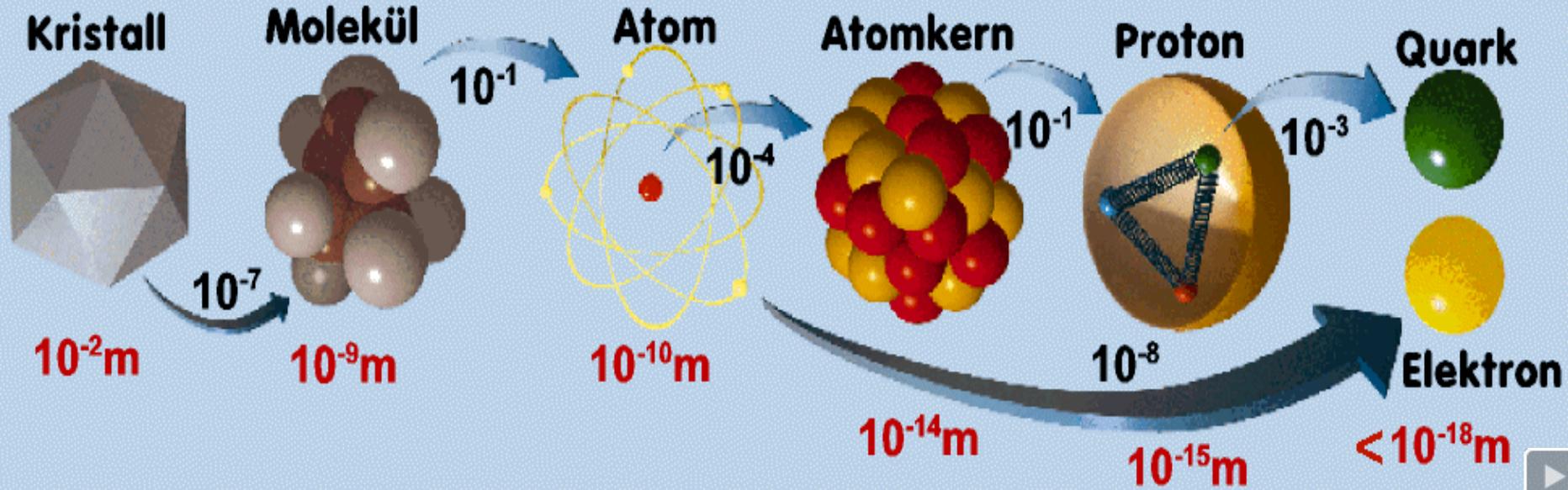


Prof. Dr. Günter Quast
Institut für experimentelle Kernphysik
Universität Karlsruhe (TH)

- dem Urknall auf der Spur



Die Welt der kleinen Dinge



**Auge
Mikroskop**

Elektronenmikroskop

**Hochenergetische
Teilchenstrahlen**

Masse-Energie-Äquivalenz

Konsequenz der speziellen Relativitätstheorie
von **Albert Einstein**, 1905

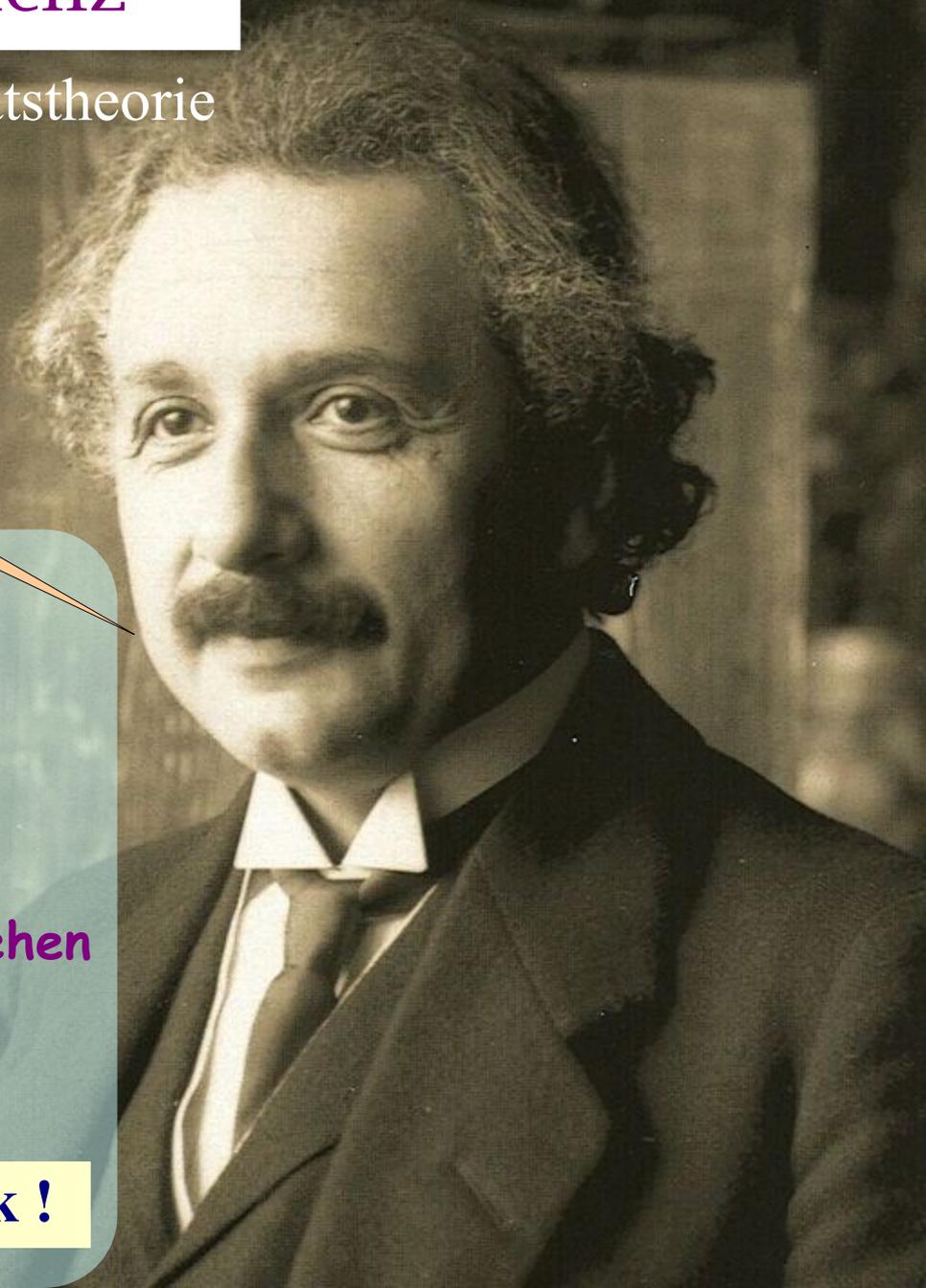
$$E = m \cdot c^2$$

Masse und Energie
sind ineinander wandelbar

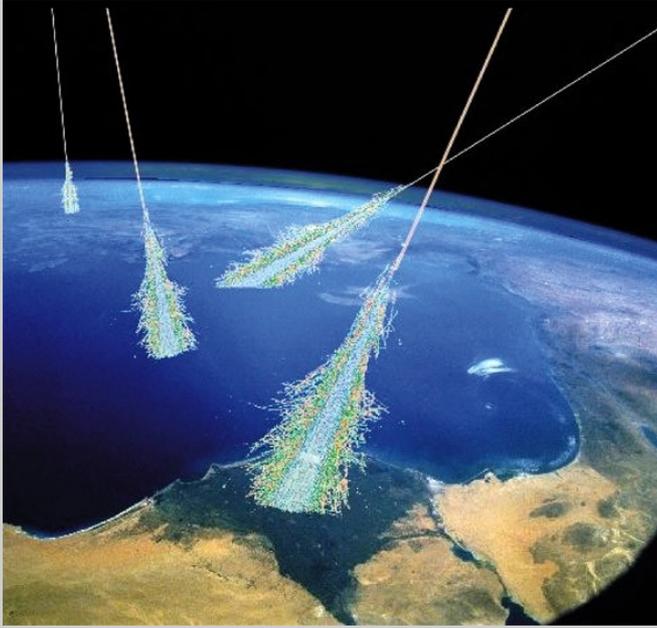


aus Energie können Teilchen entstehen
und
Teilchen können zerstrahlen

Grundlage der Teilchenphysik !



“Teilchen“ sind überall

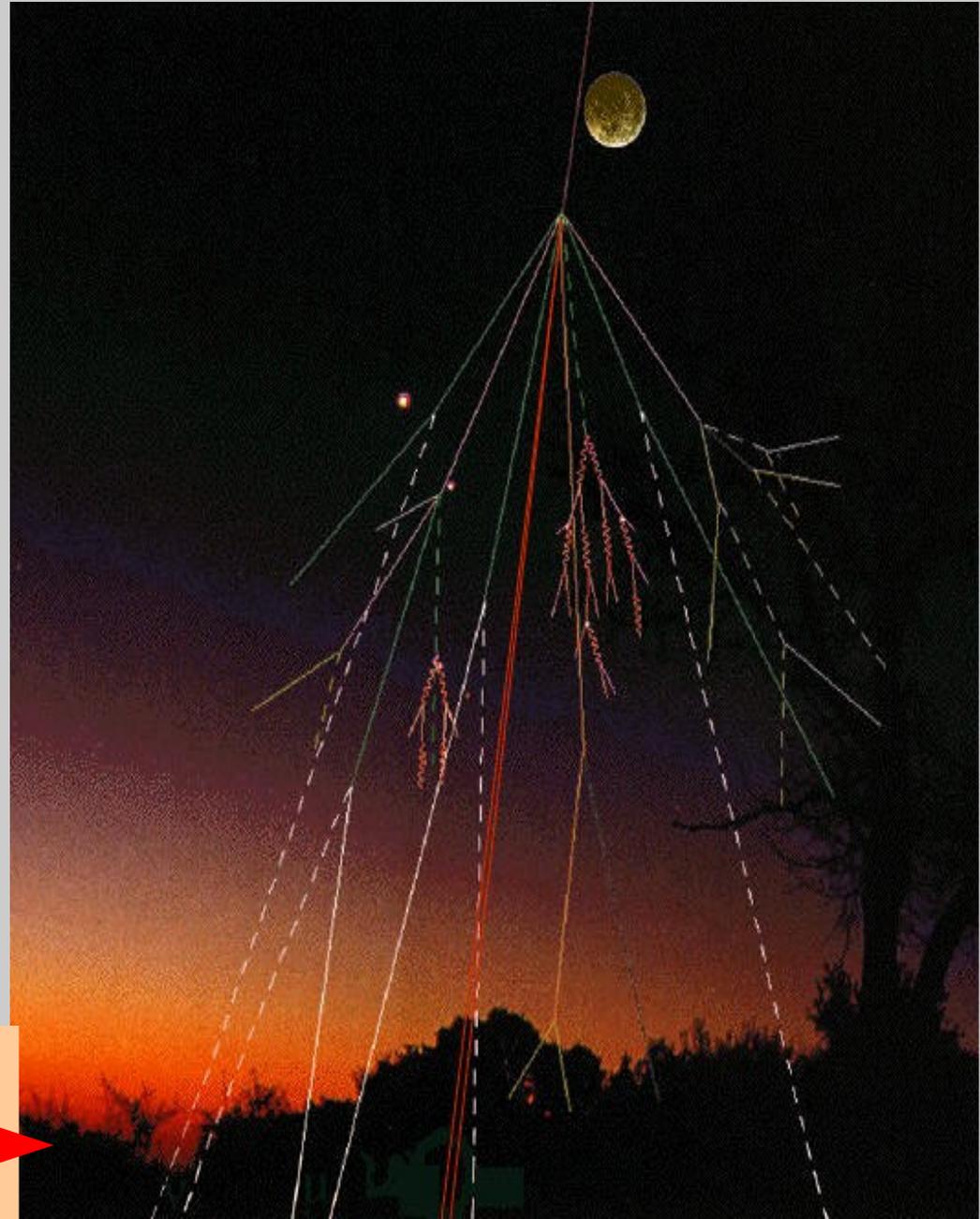


Teilchen finden sich in
der kosmischen Strahlung, z.B.

Myon (μ), Pion (π), Kaon (K) ;...

Diese Teilchen sind nicht stabil !

Der Himmel, wenn wir Teilchen
„sehen“ könnten



Antimaterie: zu jedem Teilchen gibt es ein Anti-Teilchen

Vorhergesagt von P.A.M. Dirac (1928)

Konsequenz der
Relativistischen
Version der
Quantenmechanik

Eigenschaften der Anti-Teilchen:

- Entgegengesetzt geladen
- Ansonsten gleiche Eigenschaften
(Masse, Wechselwirkungen, ...)

Beispiel:

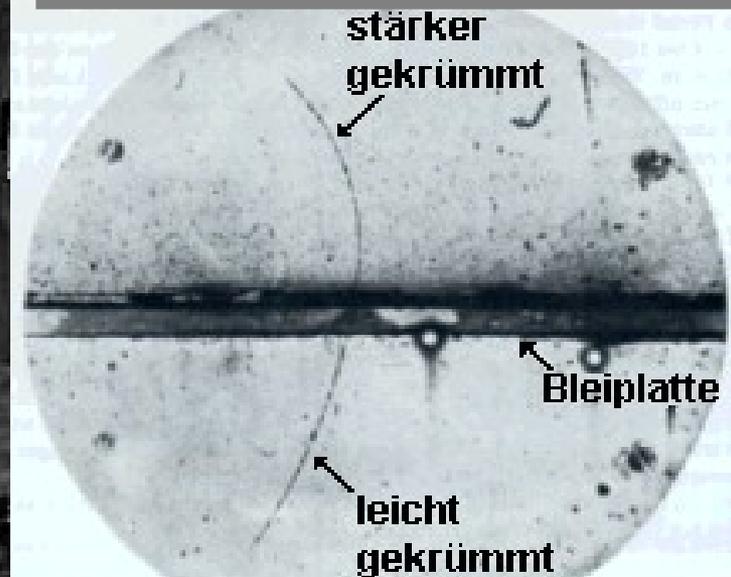
Elektron Ladung: $-1e$

Positron Ladung: $+1e$

Masse: $9,10938 \cdot 10^{-31} \text{kg} = 510998 \text{ eV}/c^2$

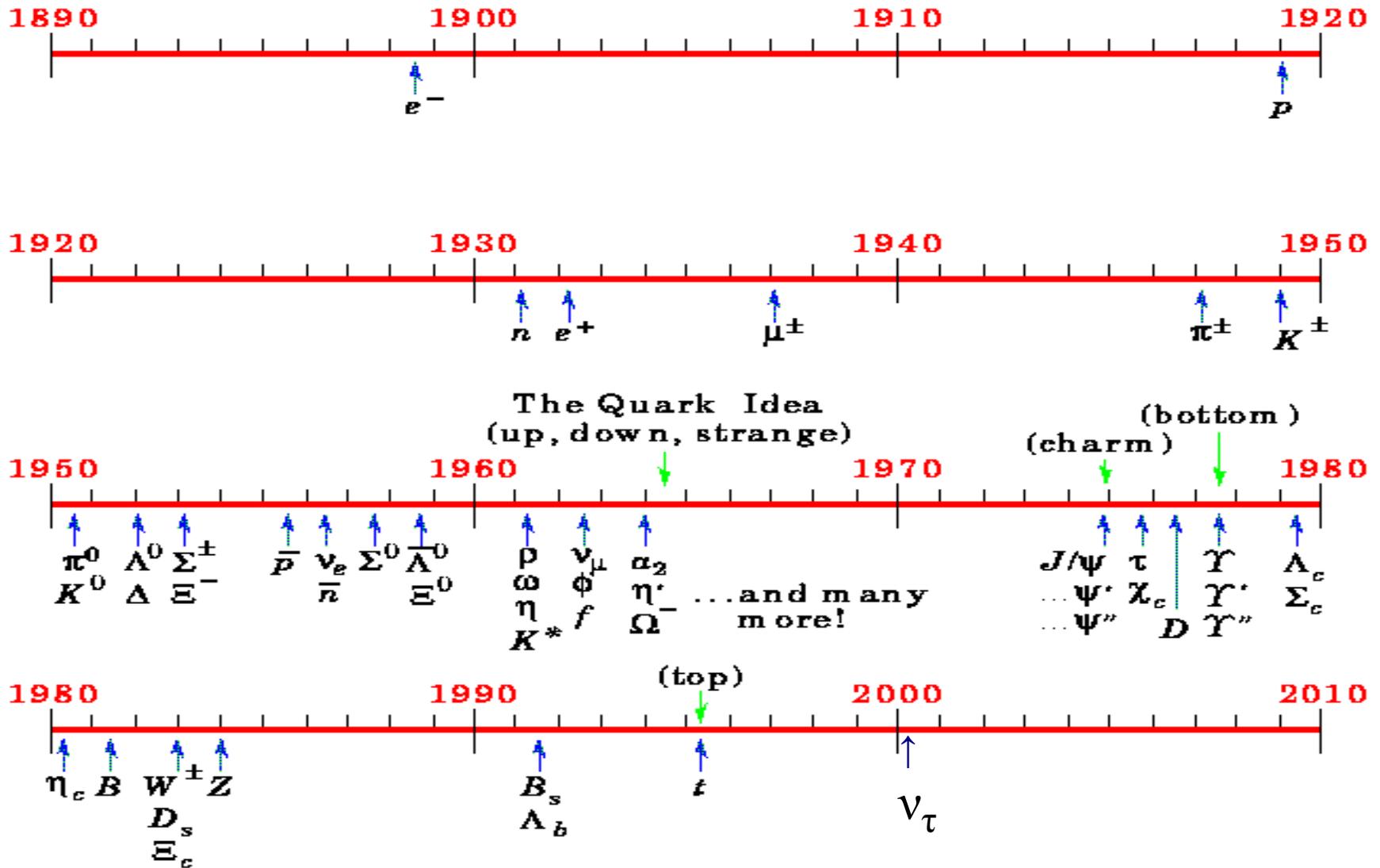
ebenso: **Anti-Proton, Anti-Neutron,
Anti-Myon, ...**

Entdeckung des Positrons



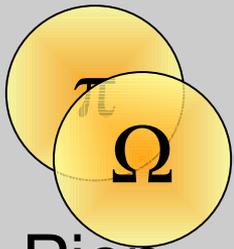
P.Anderson 1932

Viele Teilchen – ein Zoo ?

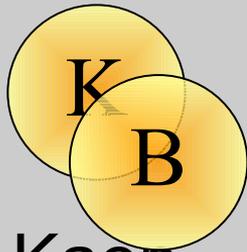


Da muss doch Ordnung her !?

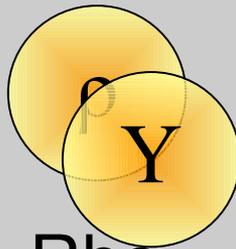
→ Das Standardmodell der Teilchenphysik



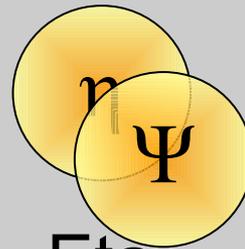
Pion
Omega



Kaon
B



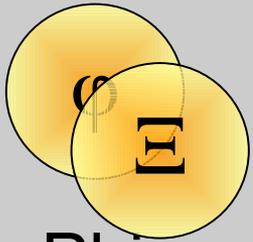
Rho
Ypsilon



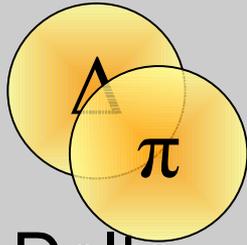
Eta
Psi



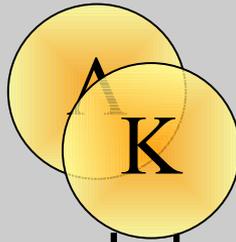
Elektron



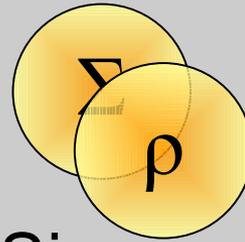
Phi
Sigma



Delta
Pion



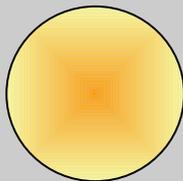
Lambda
Kaon



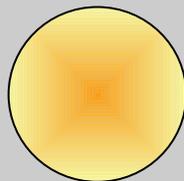
Sigma
Rho



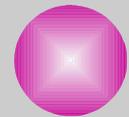
Neutrino



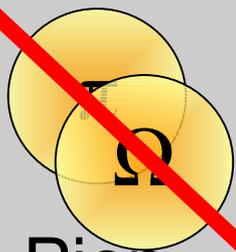
Neutron



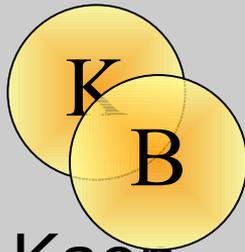
Proton



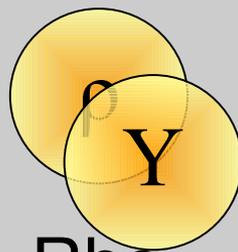
Myon



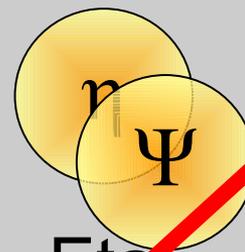
Pion
Omega



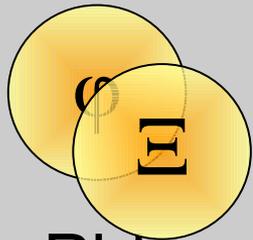
Kaon
B



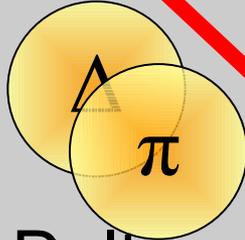
Rho
Ypsilon



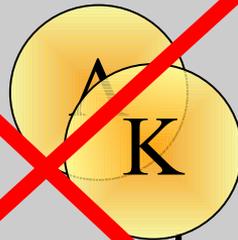
Eta
Psi



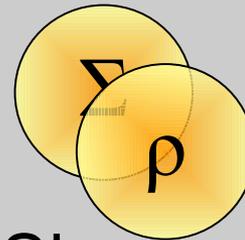
Phi
Sigma



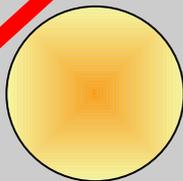
Delta
Pion



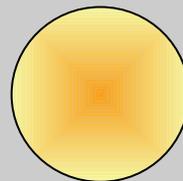
Lambda
Kaon



Sigma
Rho



Neutron



Proton



Elektron



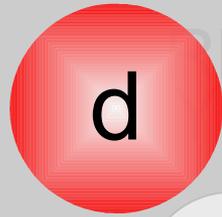
Neutrino



Myon



up-Quark



down-Quark



strange-Quark



Elektron



Neutrino



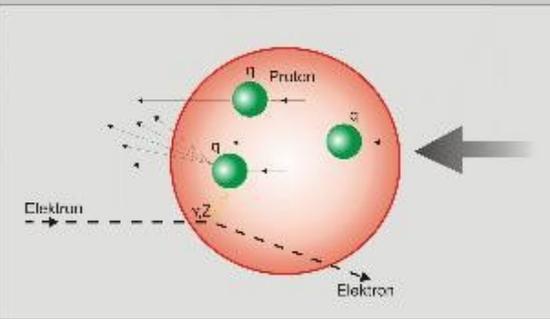
Myon

Einige Teilchen, die sog. Hadronen,
sind aus einfacheren („Quarks“)
zusammengesetzt !

Neutron

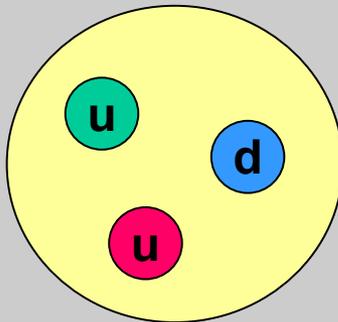
Proton

Teilchenbaukasten



Bausteine der Atomkerne

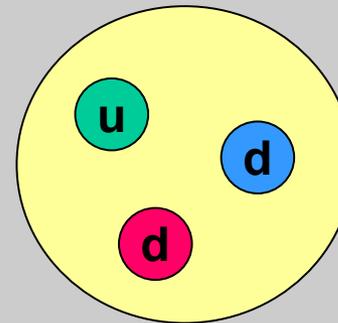
Proton



Quarks: up up down

$$\text{Ladung: } +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1$$

Neutron



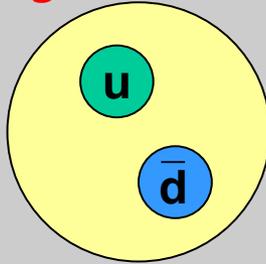
Quarks: up down down

$$\text{Ladung: } +\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = 0$$

Teilchen, die aus drei Quarks aufgebaut sind heißen **BARYONEN**

Teilchenbaukasten (2)

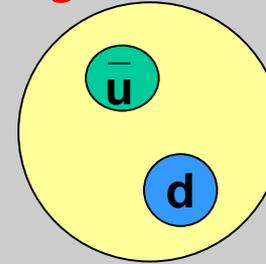
positiv geladenes Pion π^+



Quarks: up Anti-down

Ladung: $+\frac{2}{3} + \frac{1}{3} = +1$

negativ geladenes Pion π^-



Quarks: Anti-up down

Ladung: $-\frac{2}{3} - \frac{1}{3} = -1$

Die geladenen Pionen zerfallen aufgrund der schwachen Wechselwirkung:



Teilchen, die aus Quark und Anti-Quark aufgebaut sind heißen **MESONEN**

Woraus besteht die Welt ?



Elektron

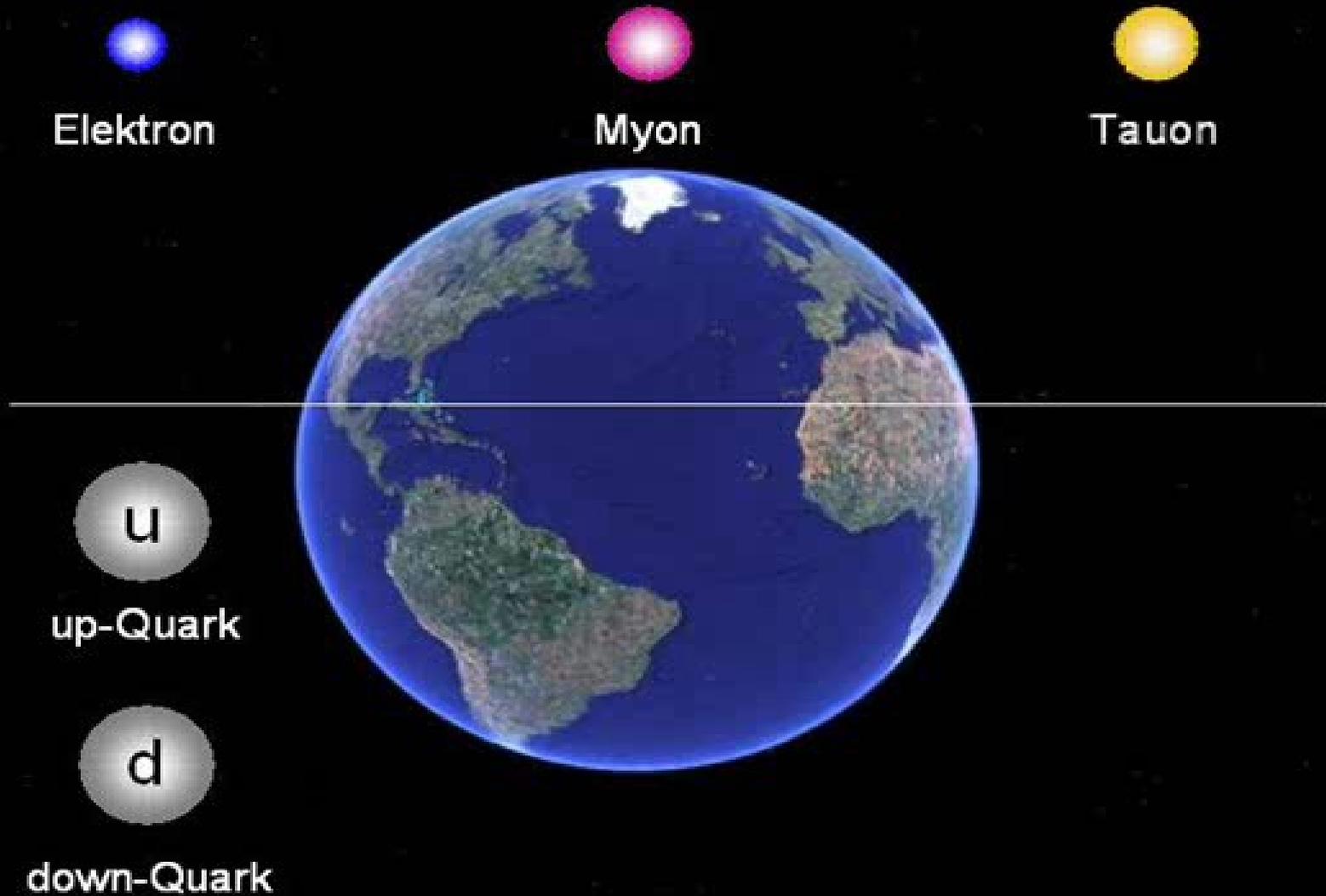


up-Quark



down-Quark

Woraus besteht die Welt ?



Woraus besteht die Welt ?



Woraus besteht die Welt ?



*) Zu jedem Teilchen existiert auch ein Anti-Teilchen !

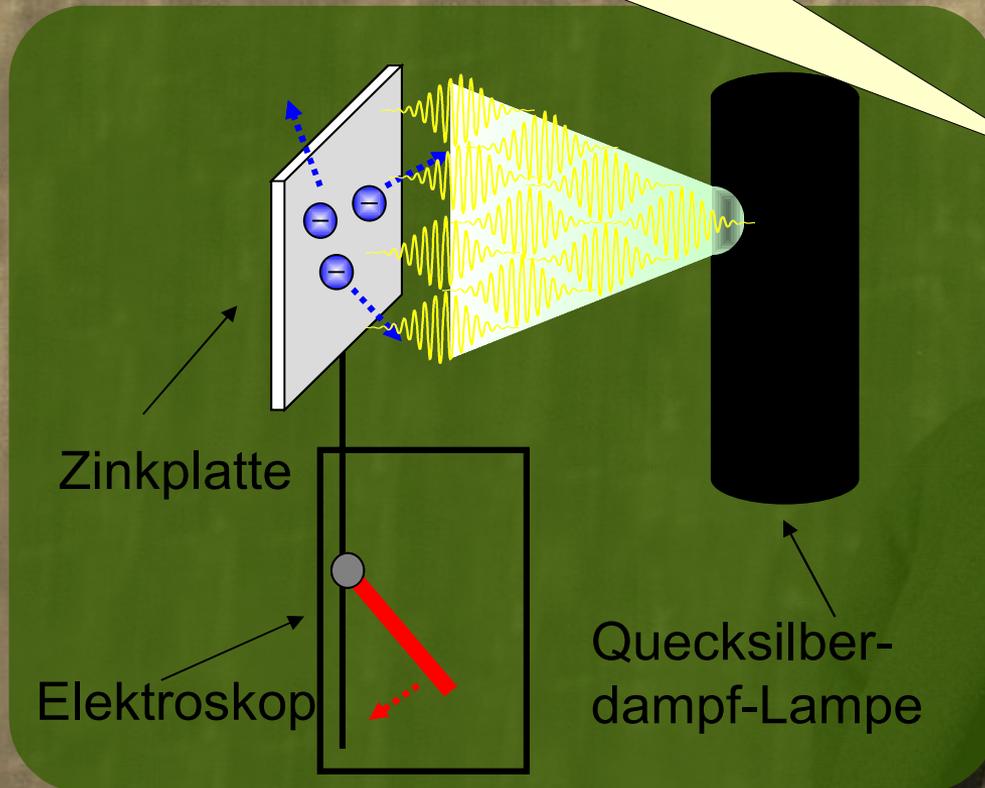
Quarks & Leptonen der 2. und 3. Familie sind nicht stabil !

Top entdeckt 1995
 τ -Neutrino 2000

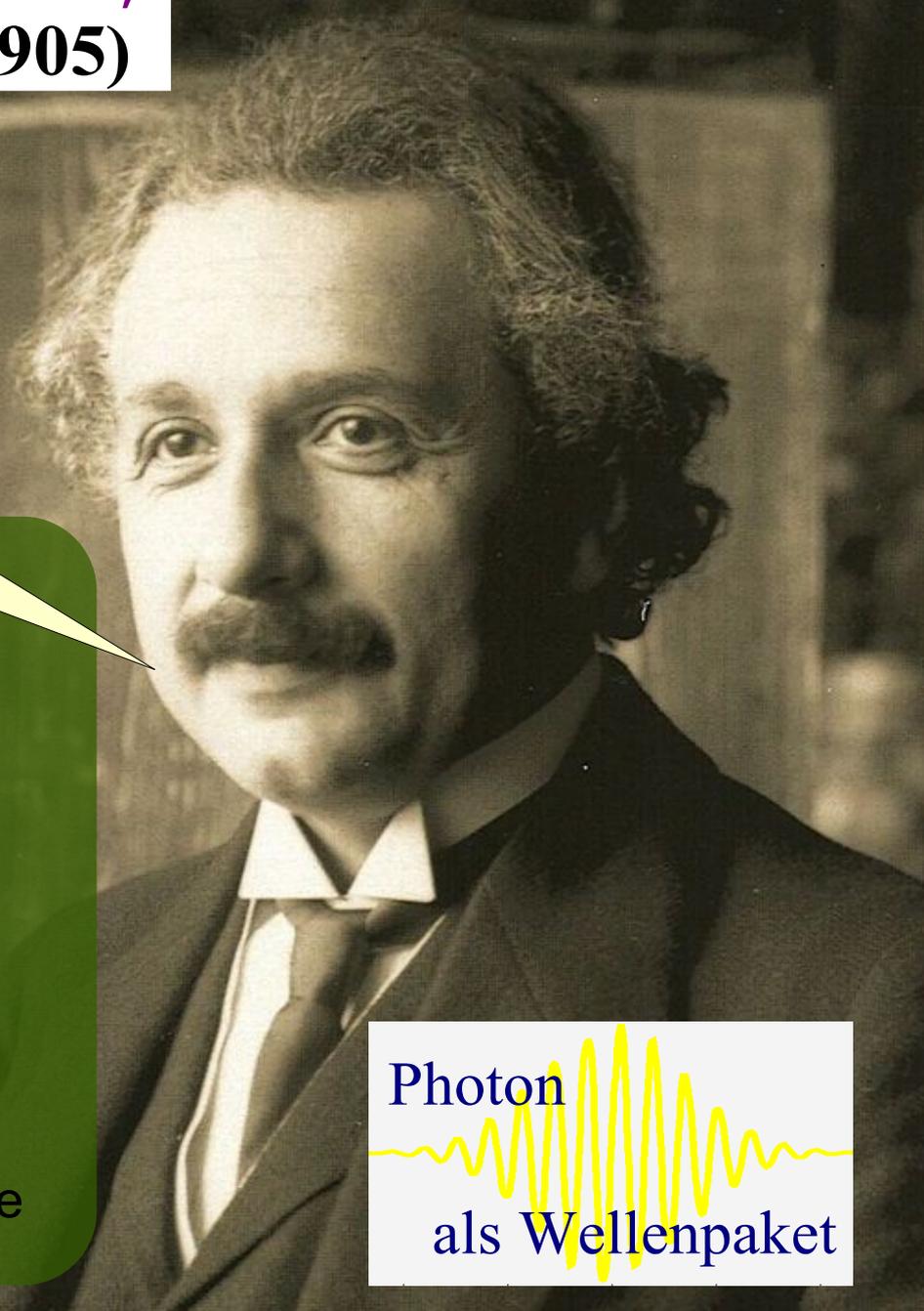
Auch **Licht** besteht aus Teilchen,
den **Photonen** (Einstein, 1905)

Licht hat Teilchen-
eigenschaften!

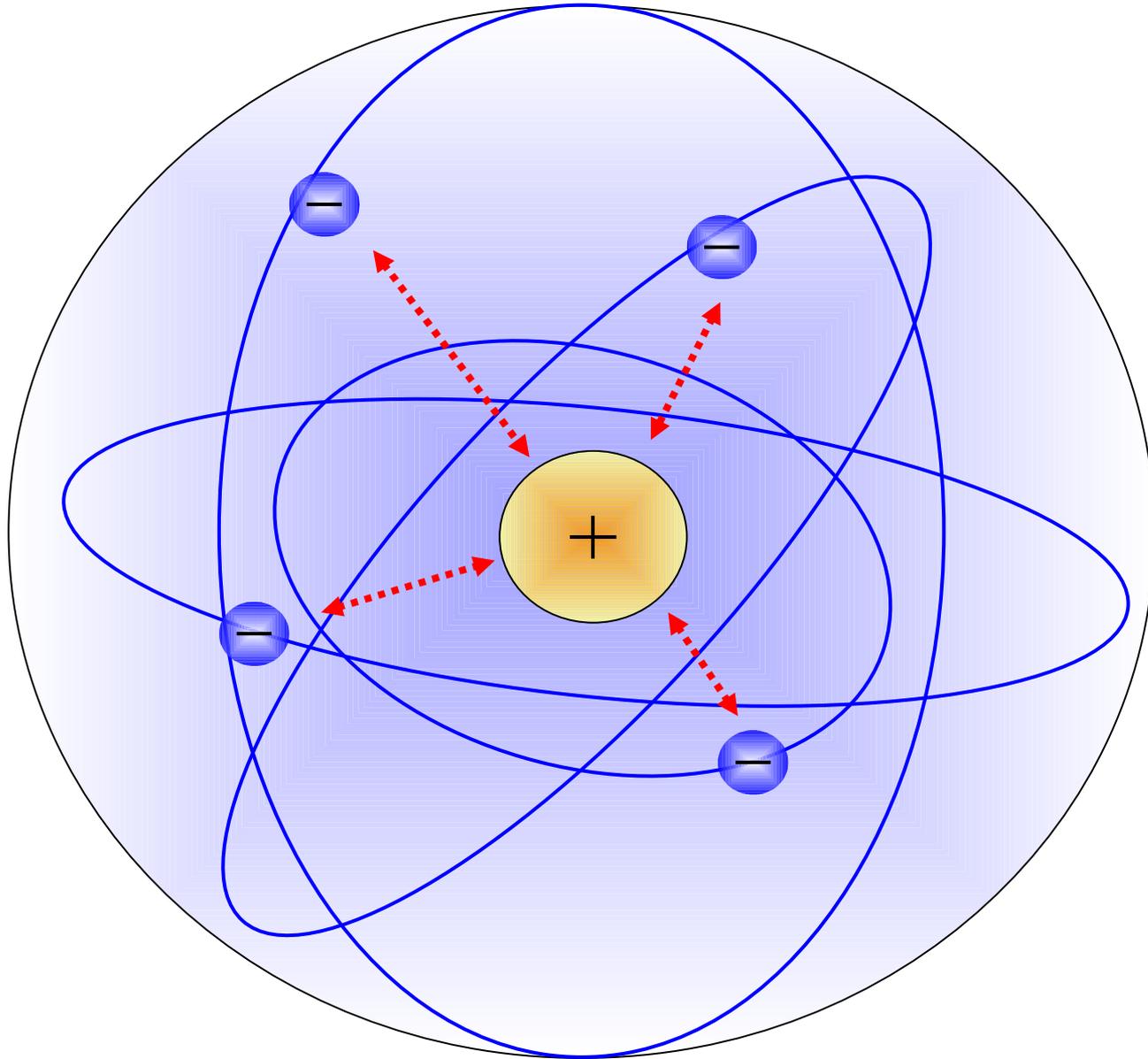
$$E_{\text{Photon}} = h \cdot f$$



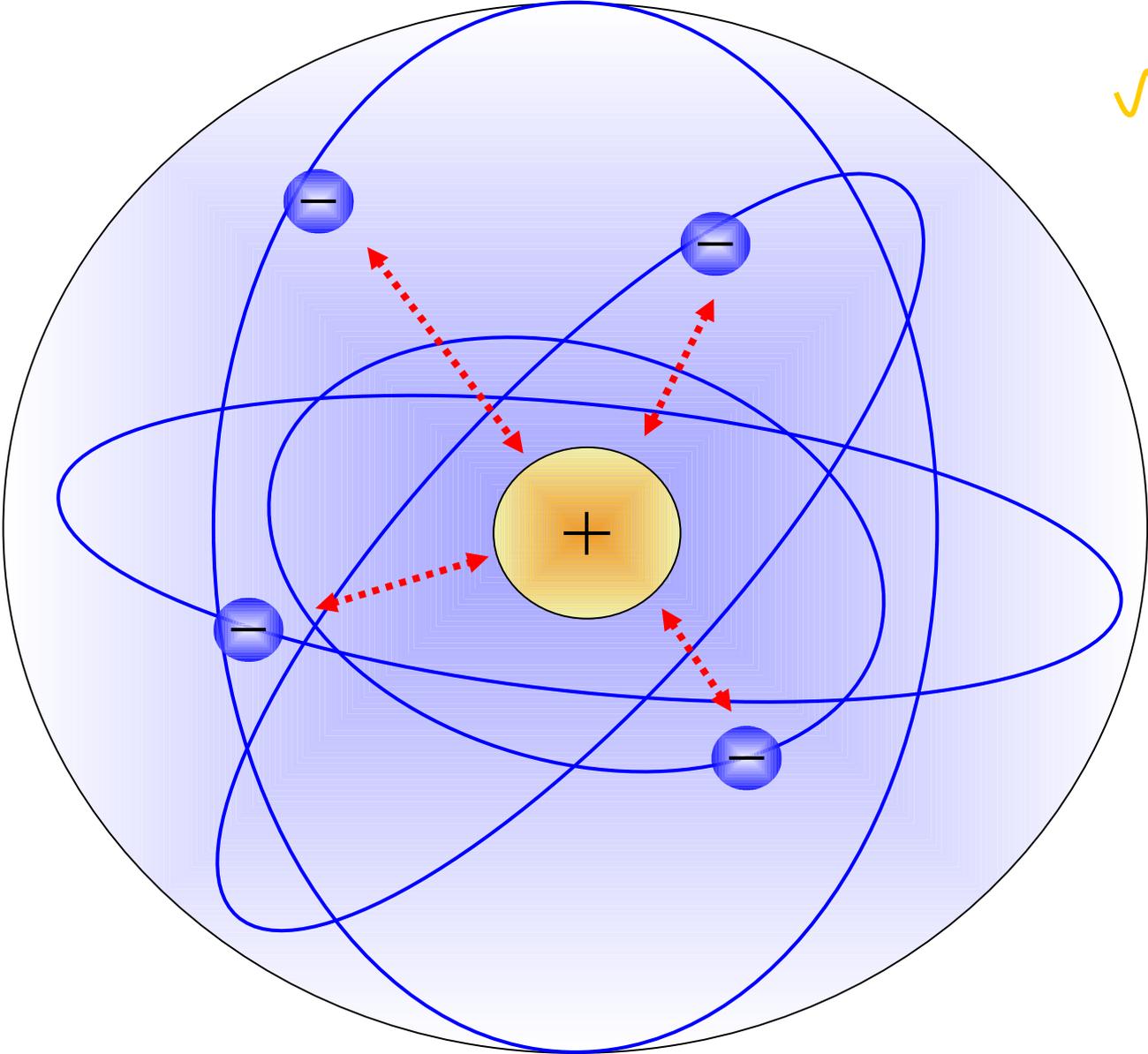
Photon
als Wellenpaket



Elektromagnetische Kraft

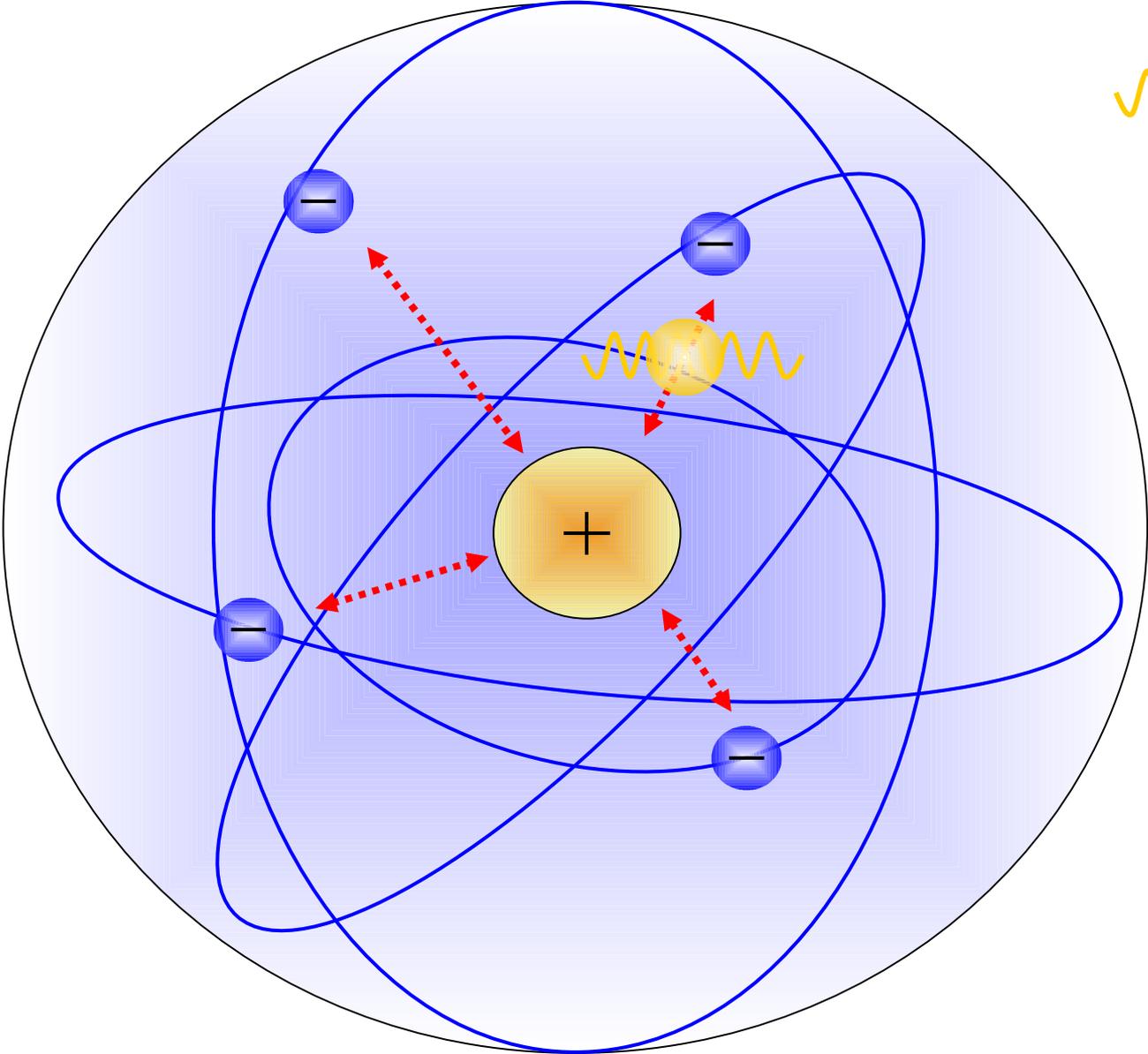


Elektromagnetische Kraft



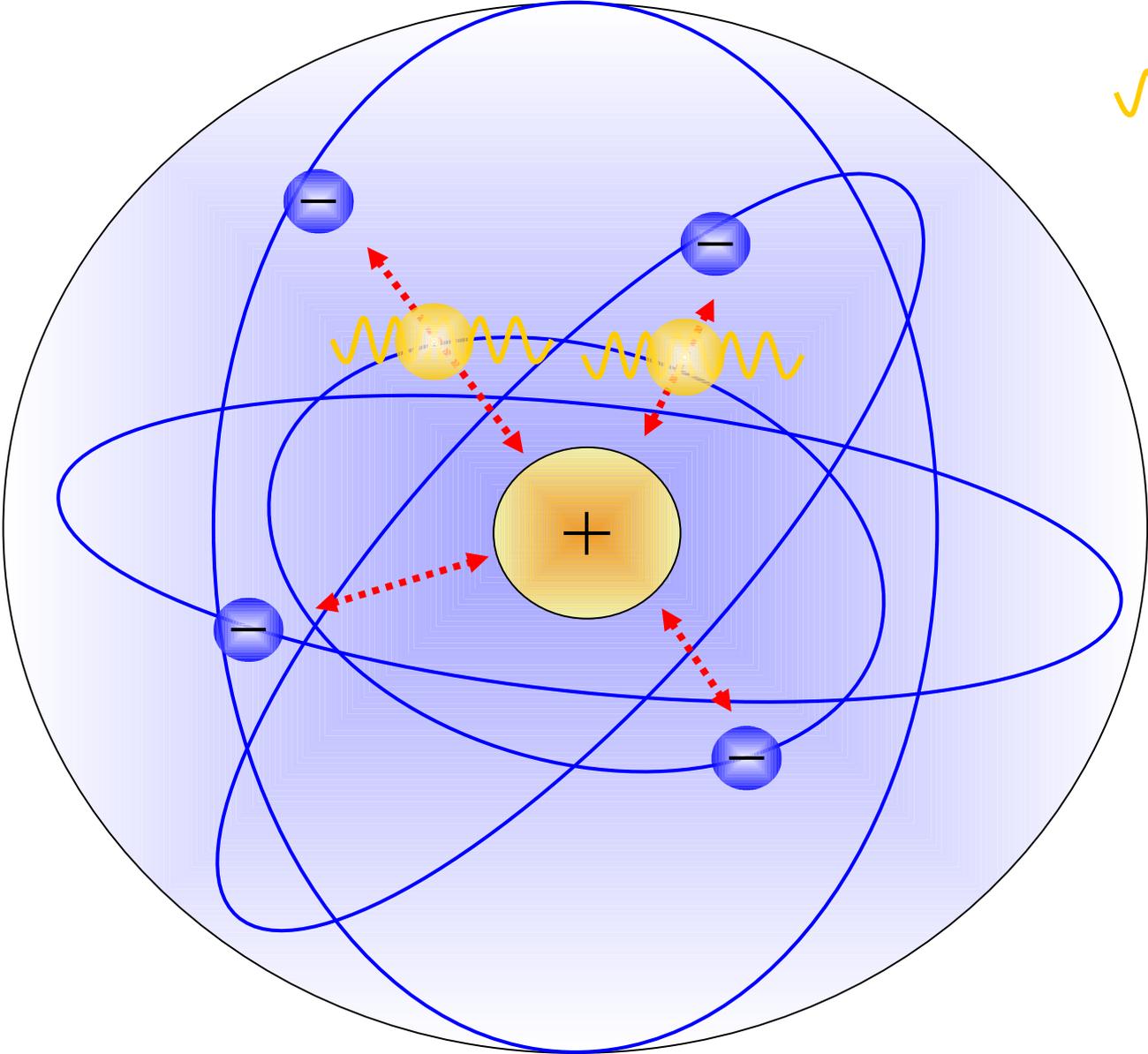
Photon

Elektromagnetische Kraft



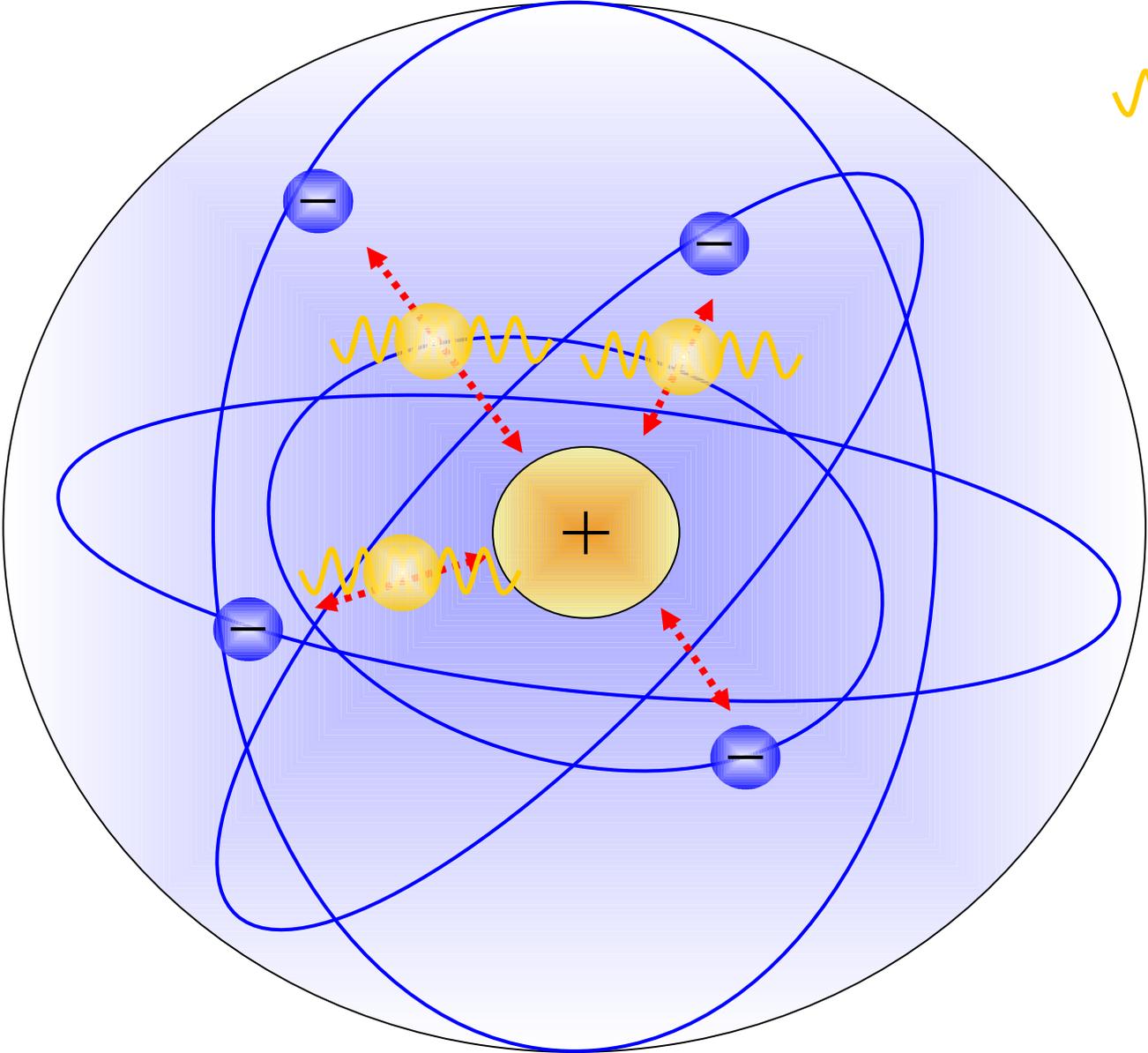
Photon

Elektromagnetische Kraft



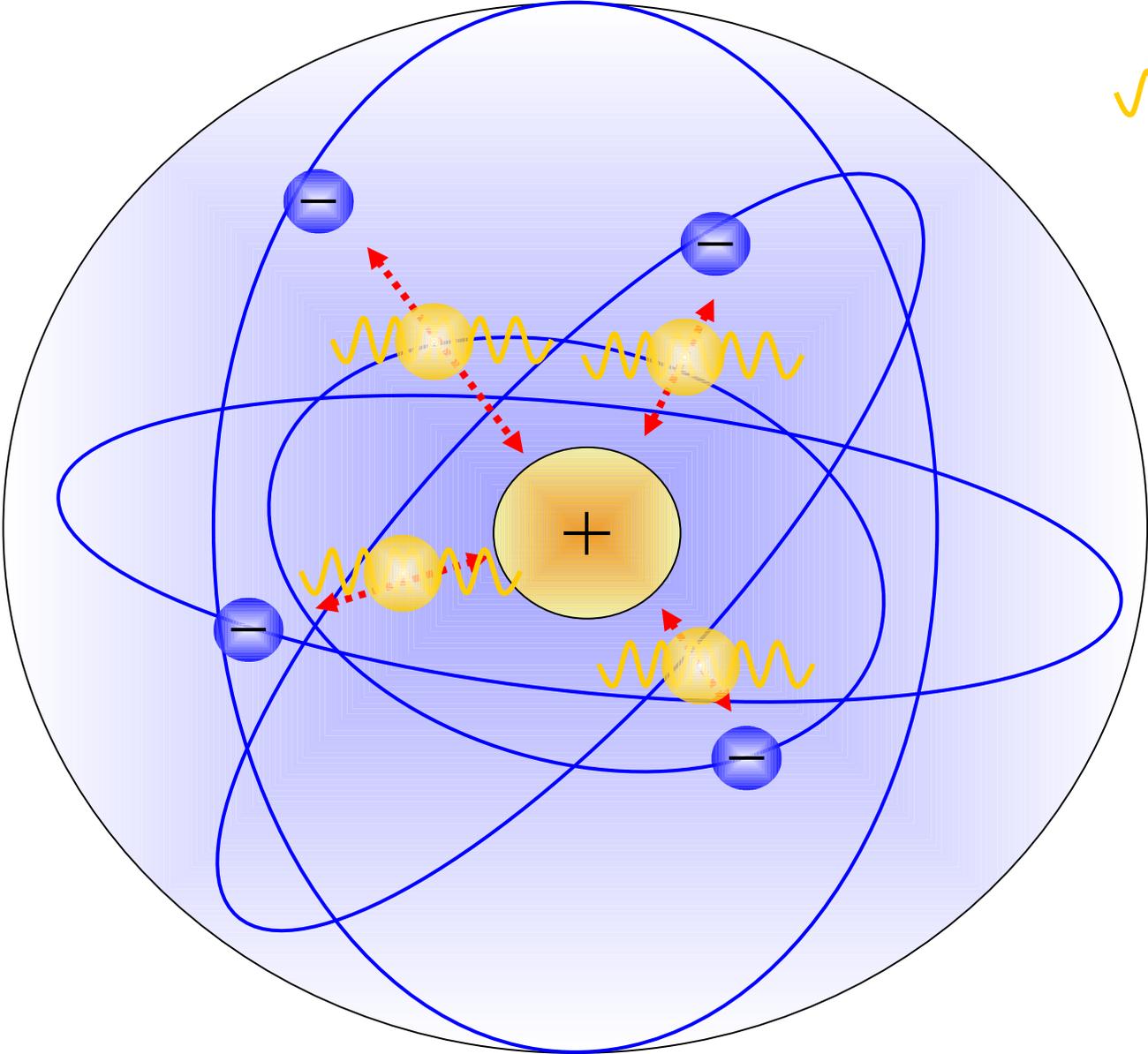
Photon

Elektromagnetische Kraft



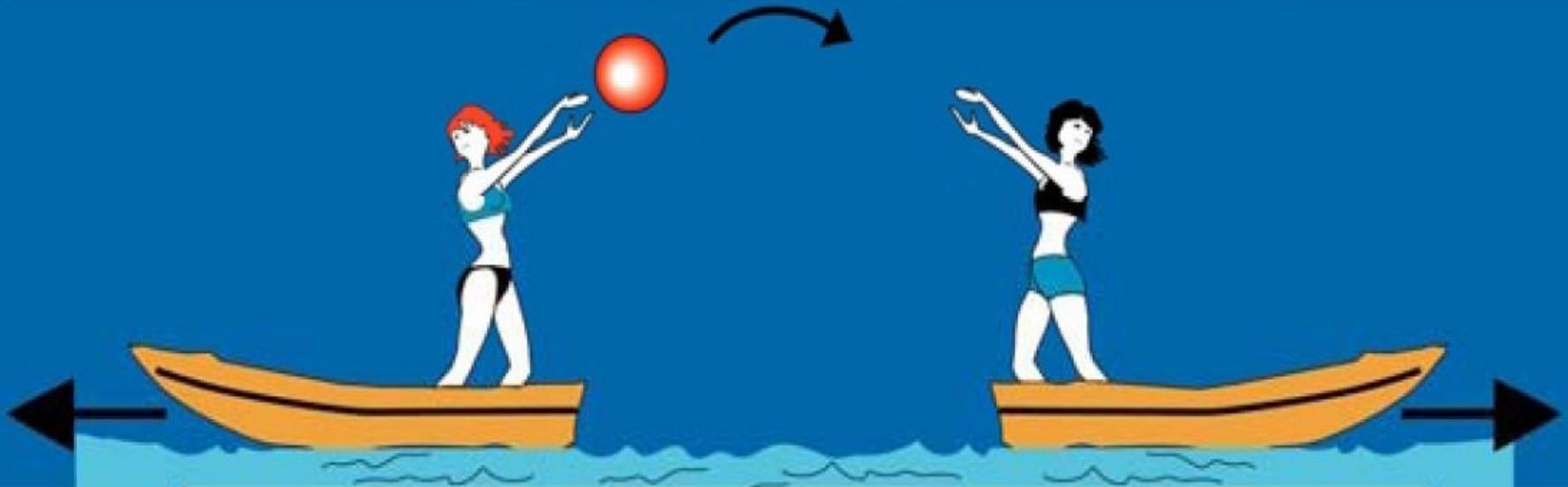
Photon

Elektromagnetische Kraft



Photon

„Kraftteilchen“ sind zuständig für Wechselwirkungen



Photon

elektromagnetisch

Atom, Molekül Festkörper,
alle „mechanischen“ Kräfte



8 Gluonen

Starke Kernkraft

hält Kerne und
Quarks zusammen



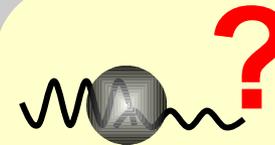
W-Boson



Z-Boson

Schwache Kernkraft

Kern-Zerfälle und -Fusion



Graviton

Gravitation

(hypothetisch)

keine Quantentheorie
der Schwerkraft

Entdeckungsmaschine LHC & Experimente

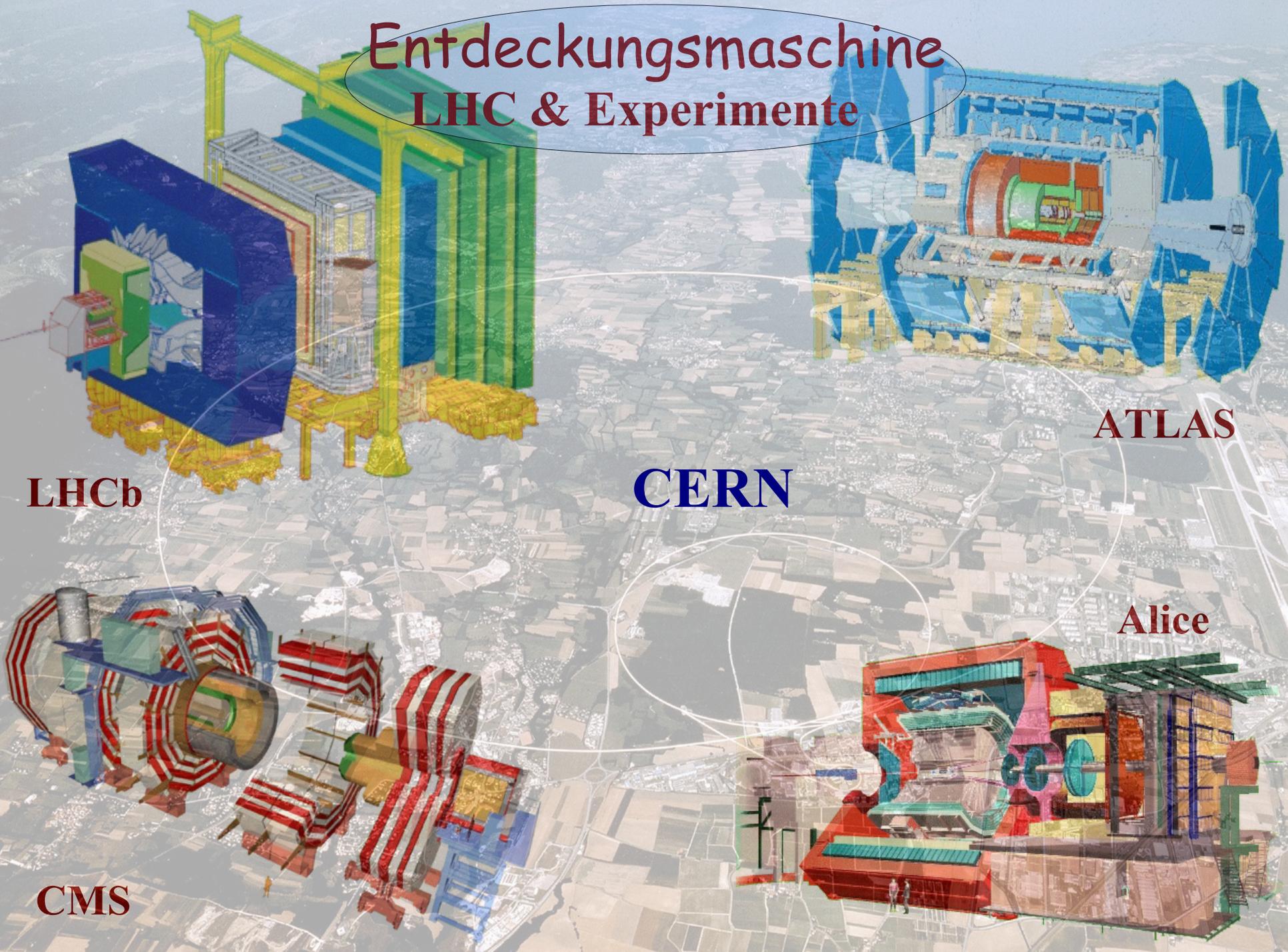
LHCb

CERN

ATLAS

Alice

CMS



CERN



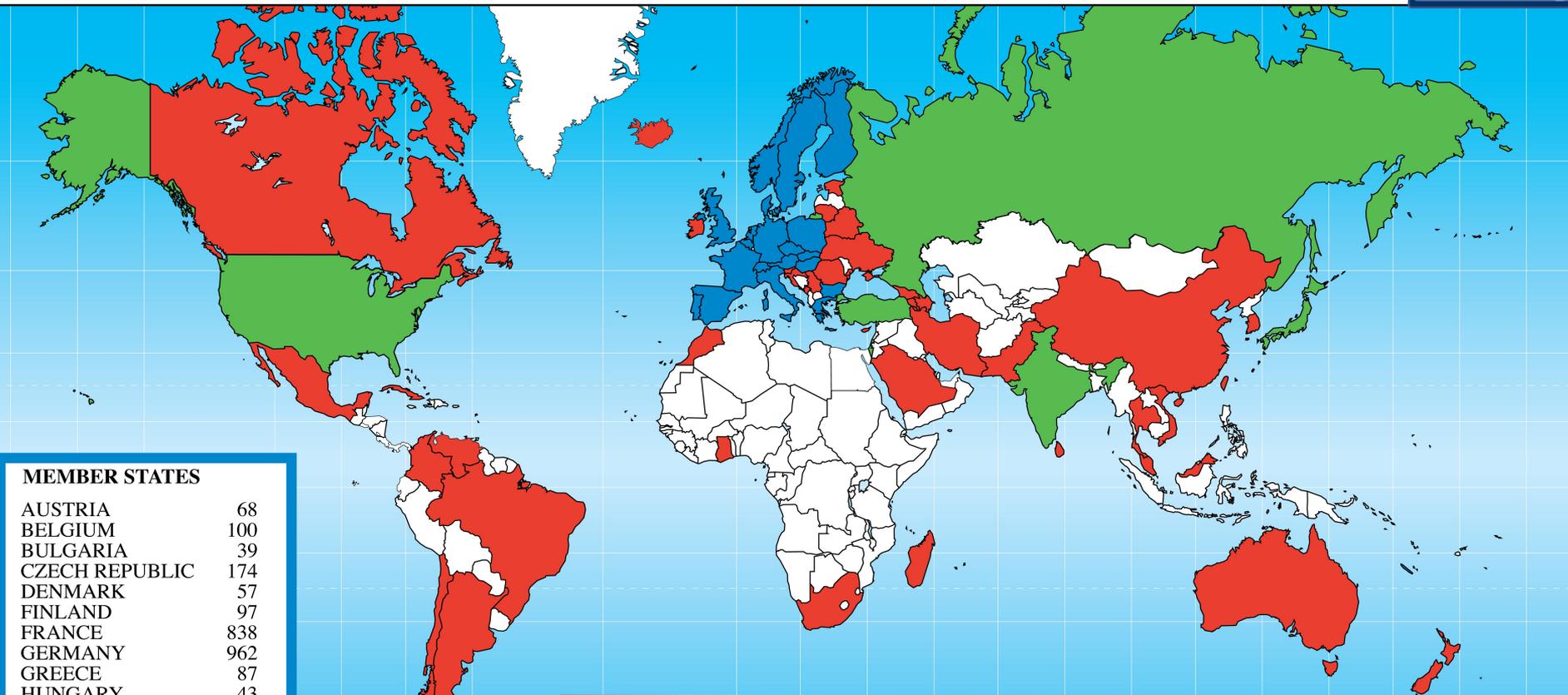
Gegründet 1954

eines von Europas ersten Gemeinschaftsprojekten

- Suche nach Antworten auf Fragen nach dem Mikrokosmos und dem frühen Univerum
- Technologische Grenzen verschieben
- Ausbildung der Wissenschaftler von morgen
- Nationen zusammenbringen durch Wissenschaft

CERN Nutzer nach Nationen der Institute

(Stand 15 Juli 2008)



MEMBER STATES

AUSTRIA	68
BELGIUM	100
BULGARIA	39
CZECH REPUBLIC	174
DENMARK	57
FINLAND	97
FRANCE	838
GERMANY	962
GREECE	87
HUNGARY	43
ITALY	1475
NETHERLANDS	171
NORWAY	74
POLAND	168
PORTUGAL	104
SLOVAKIA	46
SPAIN	278
SWEDEN	72
SWITZERLAND	341
UNITED KINGDOM	666

5860

OBSERVER STATES

INDIA	94
ISRAEL	57
JAPAN	192
RUSSIA	905
TURKEY	61
USA	1447

2756

OTHER STATES

ARGENTINA	10
ARMENIA	17
AUSTRALIA	15
AZERBAIJAN	4
BELARUS	18
BRAZIL	68
CANADA	127
CHILE	8
CHINA	68
COLOMBIA	12
CROATIA	22
CUBA	6
CYPRUS	7
ESTONIA	12
GEORGIA	11
GHANA	1
ICELAND	2
IRAN	13
IRELAND	10
KOREA	51
LITHUANIA	10
MADAGASCAR	1
MALAYSIA	1
MALTA	4
MEXICO	36
MONTENEGRO	1
MOROCCO	5
NEW ZEALAND	8
PAKISTAN	29
PALESTINIAN TERR.	1
ROMANIA	49
SAUDI ARABIA	2
SERBIA	15
SLOVENIA	17
SOUTH AFRICA	8
SRI LANKA	1
TAIWAN	46
THAILAND	1
UKRAINE	20
U.A.E.	4
VIETNAM	3

744

Die (Teilchen-)Physiker

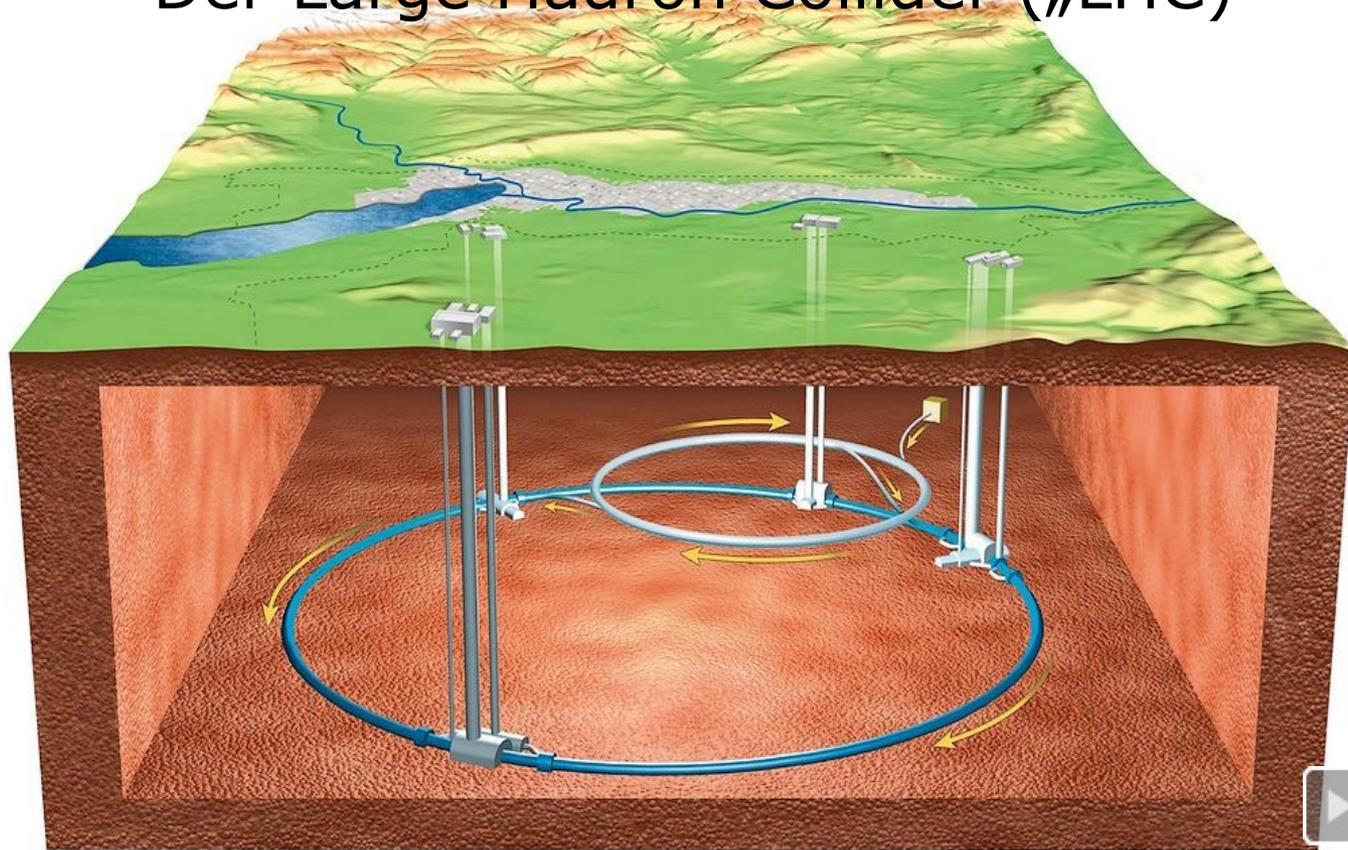
Teilchenphysik ist internationale Teamwork !



Am Cern beteiligt: 292 Institute aus Europa, ~ 5900 Nutzer

270 Institute von anderswo, ~ 3500 Nutzer

Der Large Hadron Collider („LHC“)

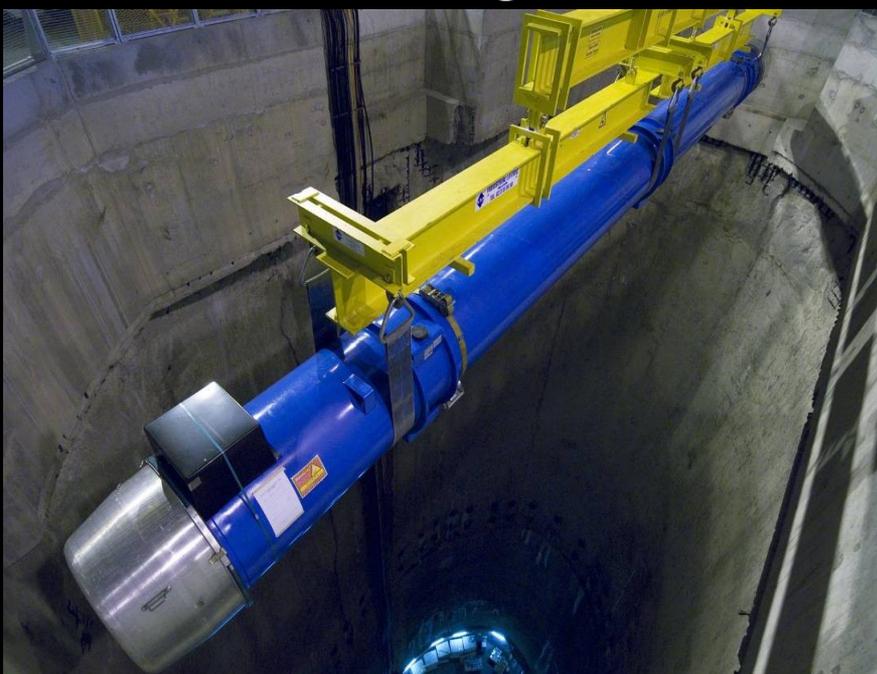


- Beschleunigt Protonen (=Wasserstoffkerne) auf bisher unerreichte Energie und bringt sie in zwei gegenläufigen Ringen zur Kollision
- Bei der Kollision entsteht neue Materie aus der Bewegungsenergie der Protonen
- Proton-Energie entspricht der typischen Teilchenenergie eine 100-Milliardstel-Sekunden nach dem Urknall
- Erwarten Antworten auf Grundfragen aus Teilchenphysik und Kosmologie
- Protonpakete kollidieren 40 Millionen Mal in der Sekunde

1232 Dipol-Magnete



Magnete auf dem Weg in den Tunnel



Insgesamt 30'000 km Transportweg
unter der Erde bei 2 km/h!

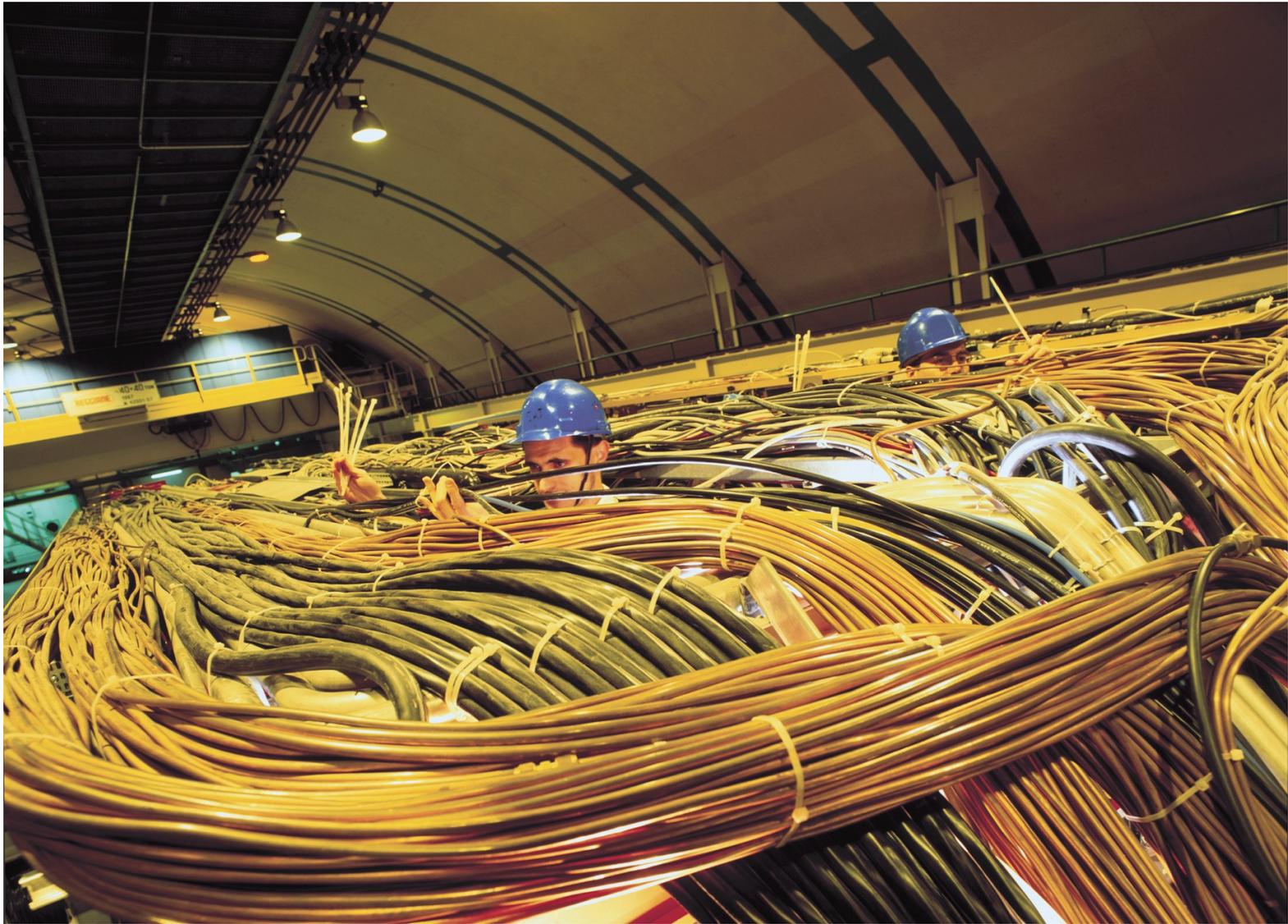
LHC-Magnete sind kalt: -271°C



- 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

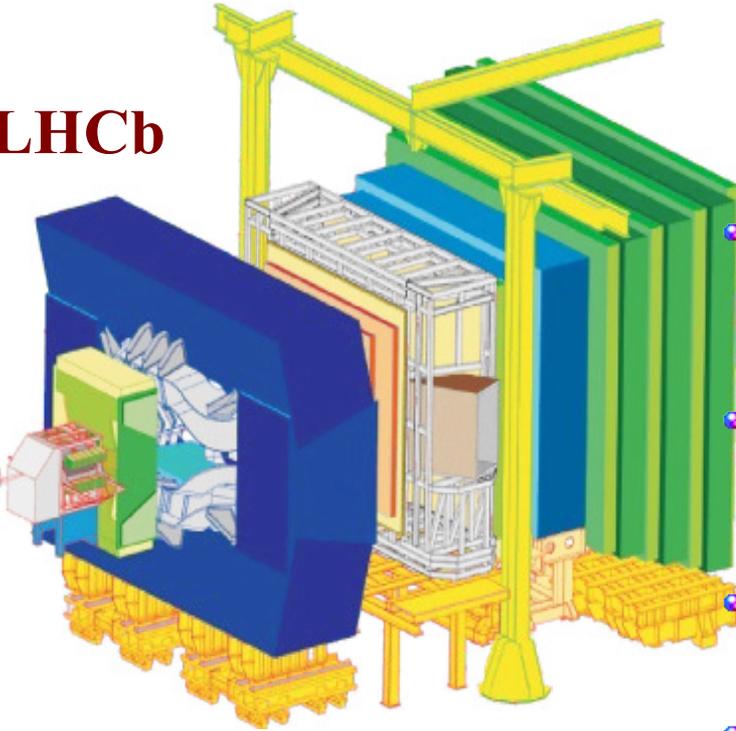
Der ~~kühlste~~ coolste Ring im Weltall !

Millionen von Kabeln



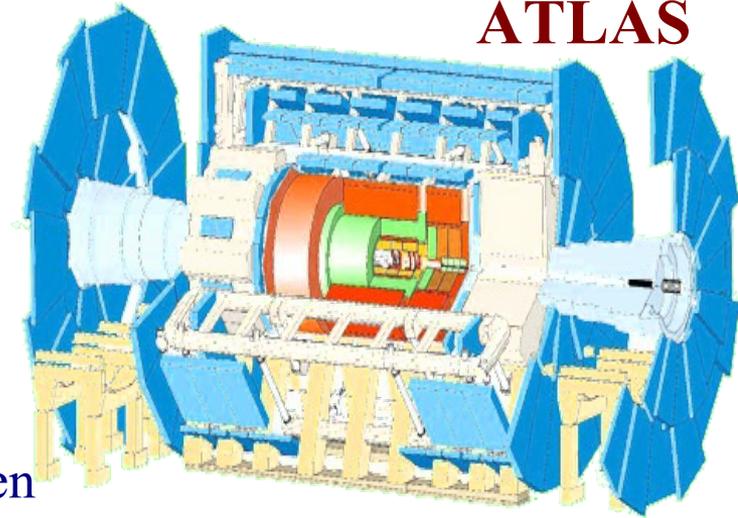
Die vier großen Experimente

LHCb



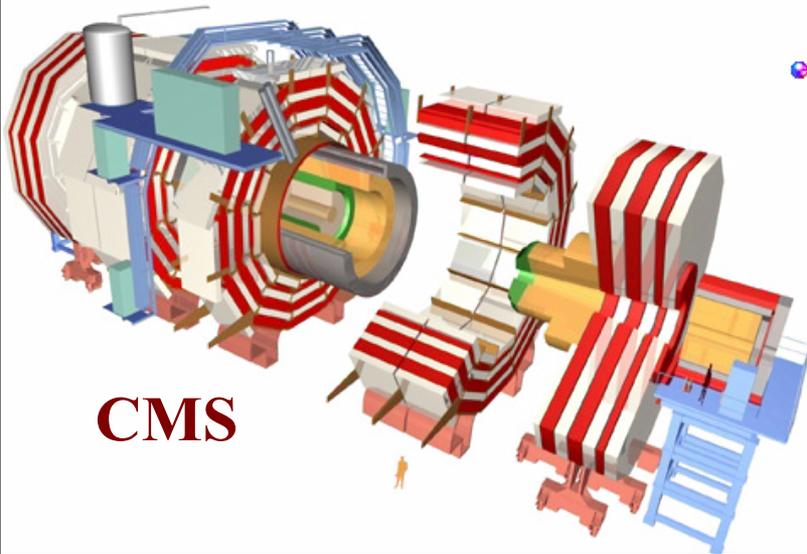
- Gebaut von Instituten in der ganzen Welt
- Jeder hat mehr als 100 Millionen Sensoren
- 40 Millionen Aufnahmen von Kollisionen pro Sekunde

ATLAS

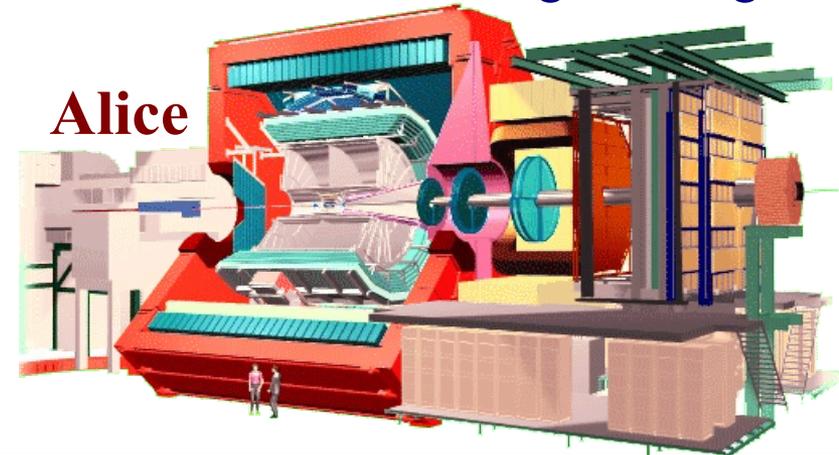


- Insgesamt etwa 10'000 Physiker aus ~70 Ländern
- Spezialisiert auf unterschiedliche Fragestellungen

CMS



Alice

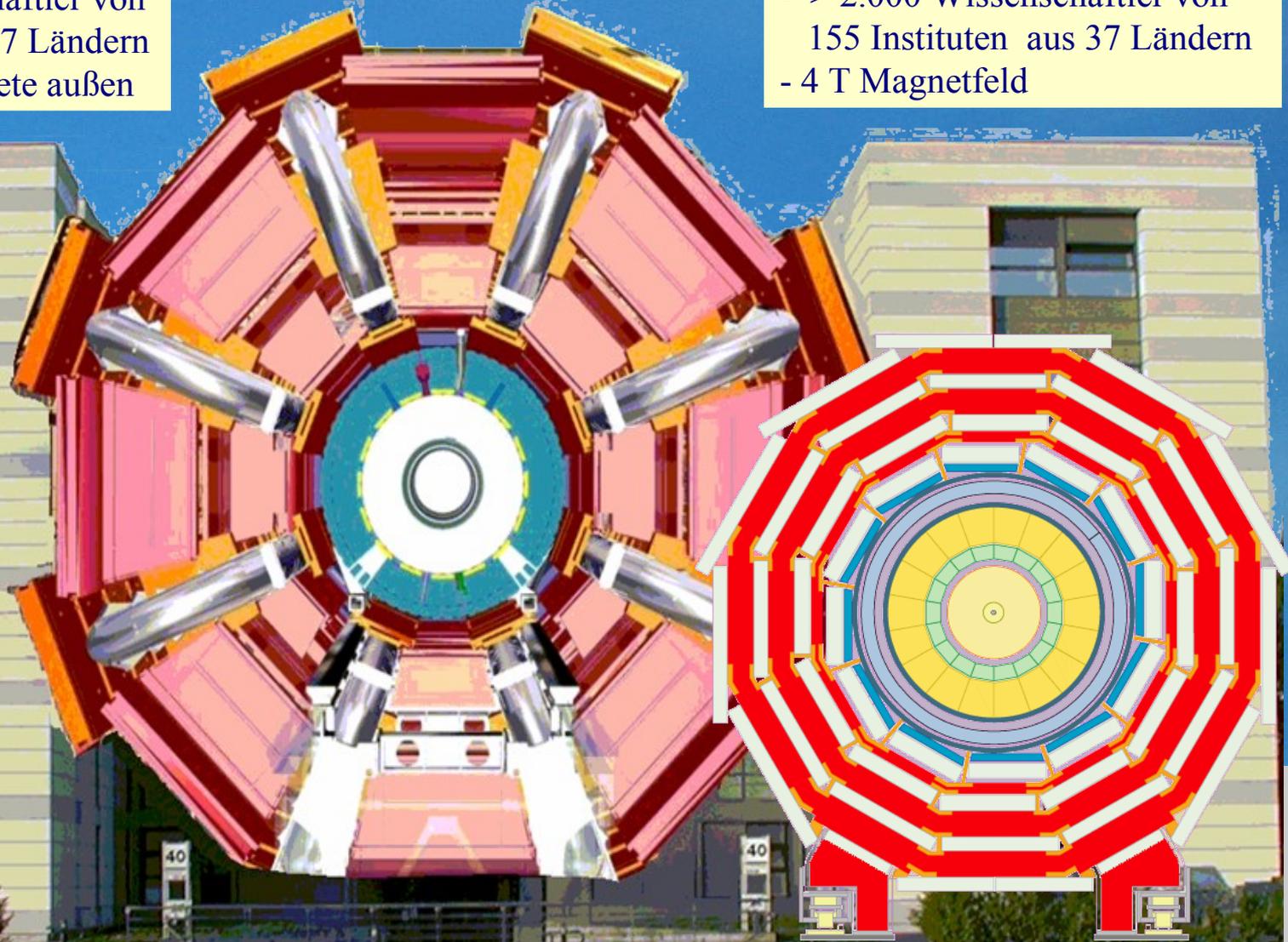


- 25 m hoch, 46 m lang
- 7.000 t schwer
- ca. 2.200 Wissenschaftler von 170 Instituten aus 37 Ländern
- große Toroid-Magnete außen

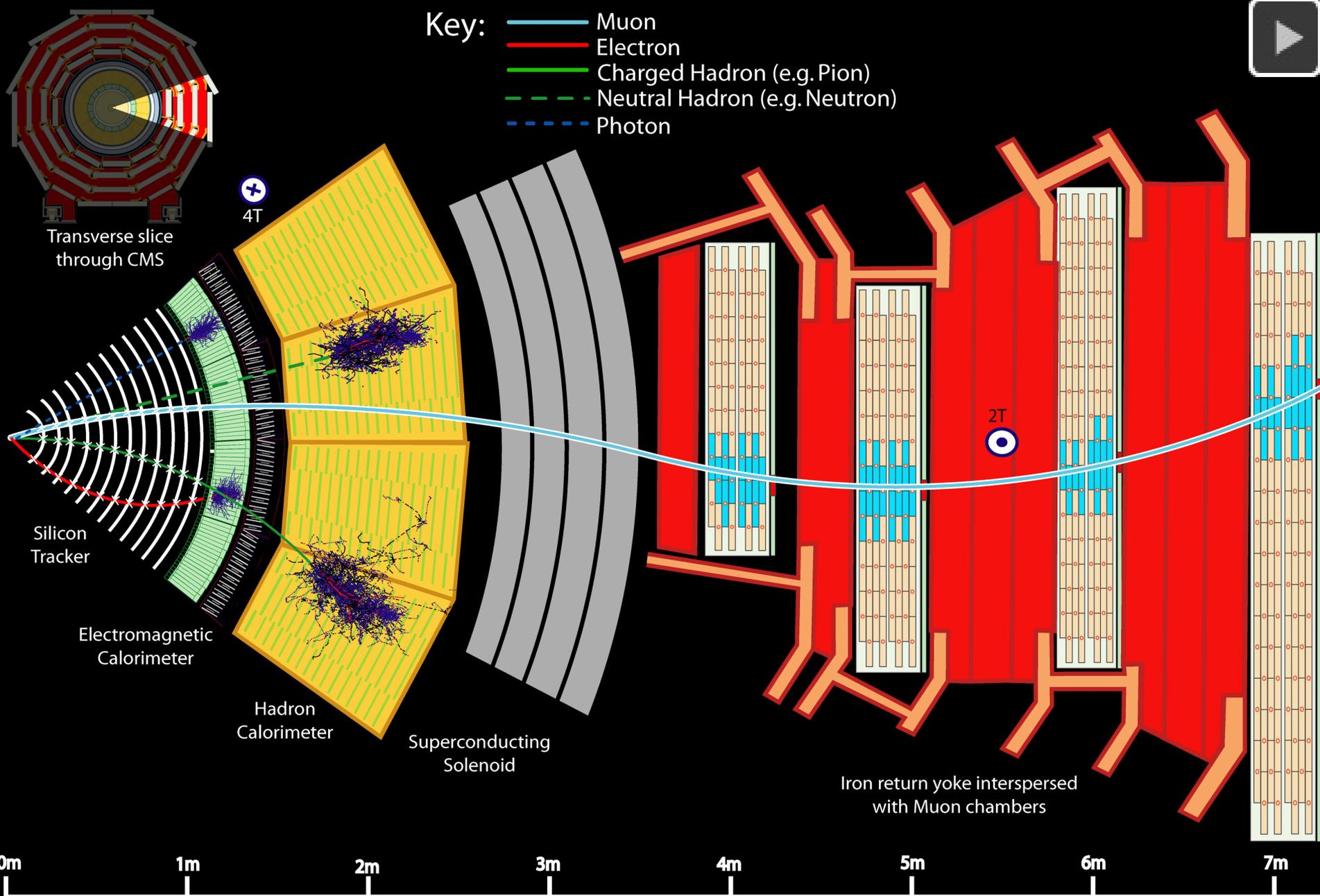
ATLAS & CMS

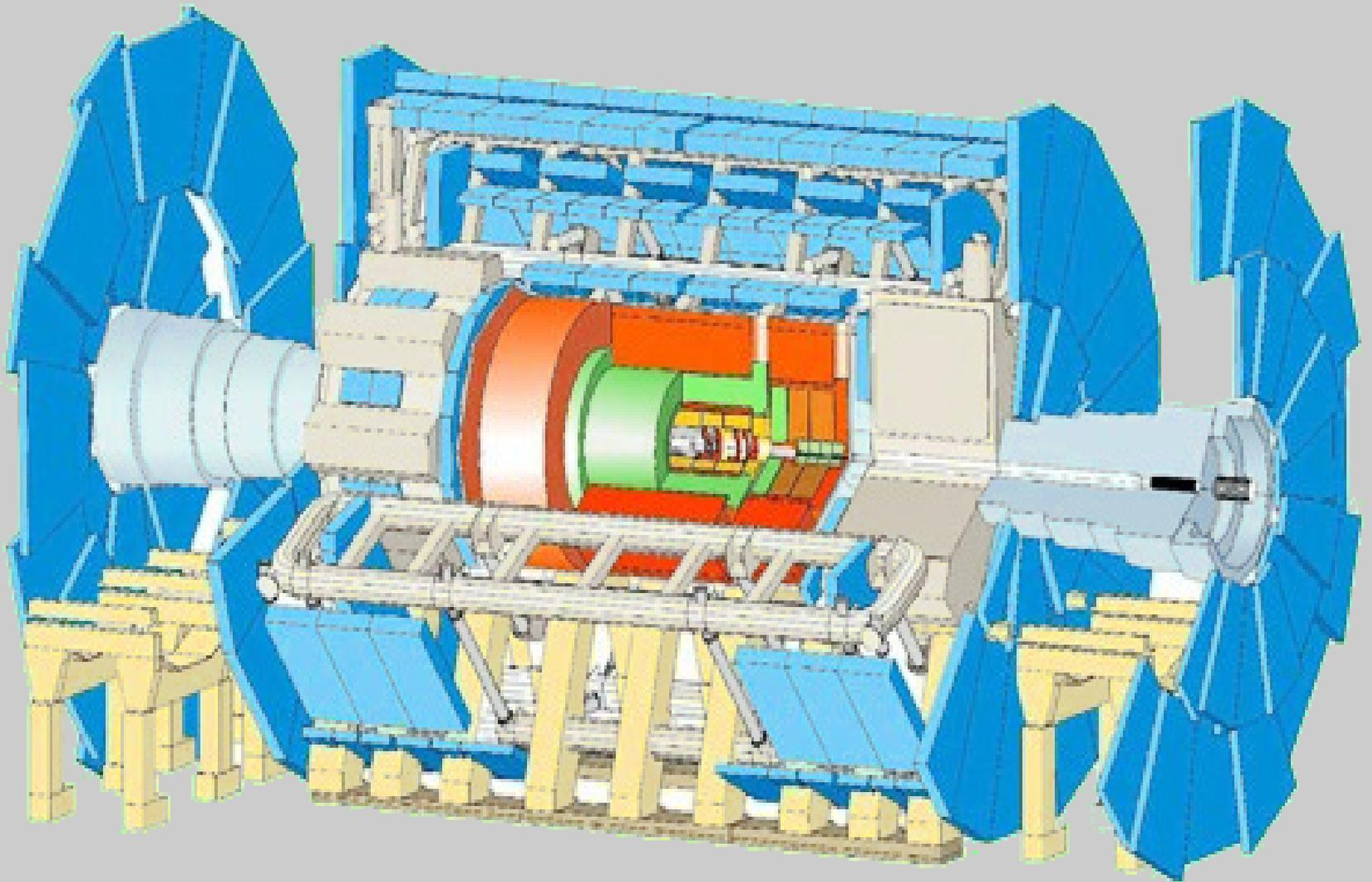
- die Universalisten

- 15 m hoch, 21 m lang
- 12.500 t schwer
- > 2.000 Wissenschaftler von 155 Instituten aus 37 Ländern
- 4 T Magnetfeld



Funktionsprinzip eines Detektors: Ausschnitt aus CMS

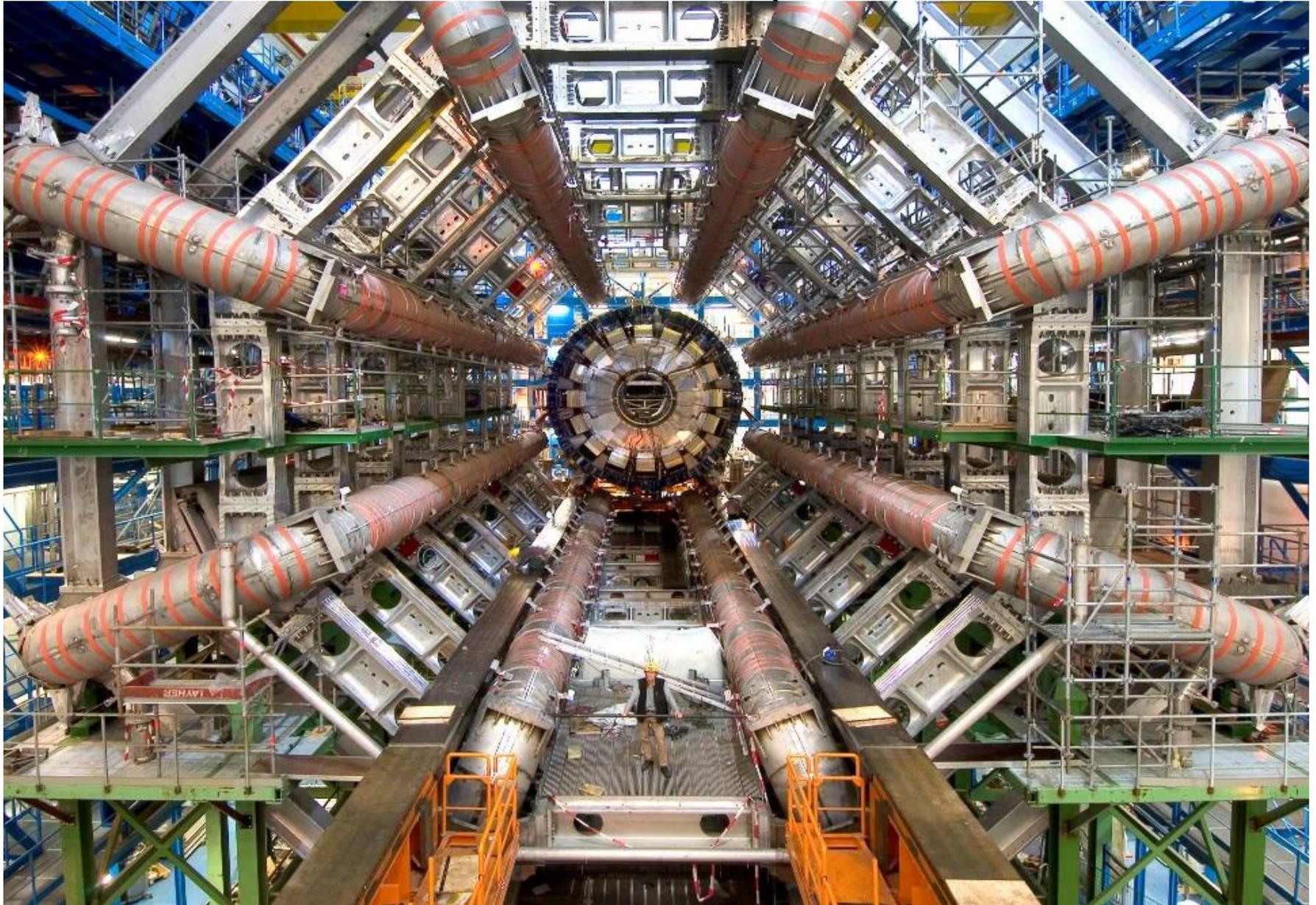




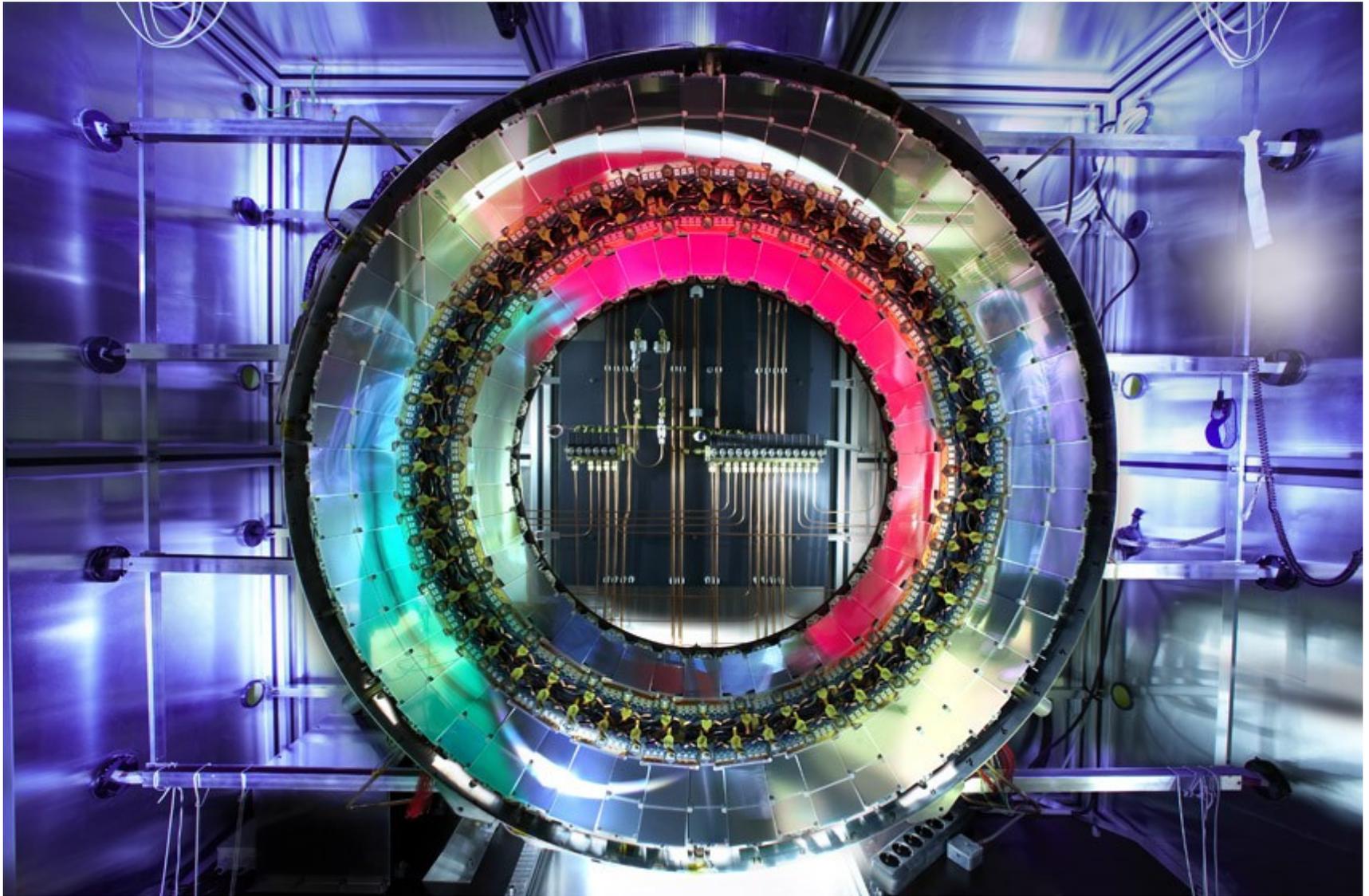
Noch leere, unterirdische Halle des ATLAS-Experiments



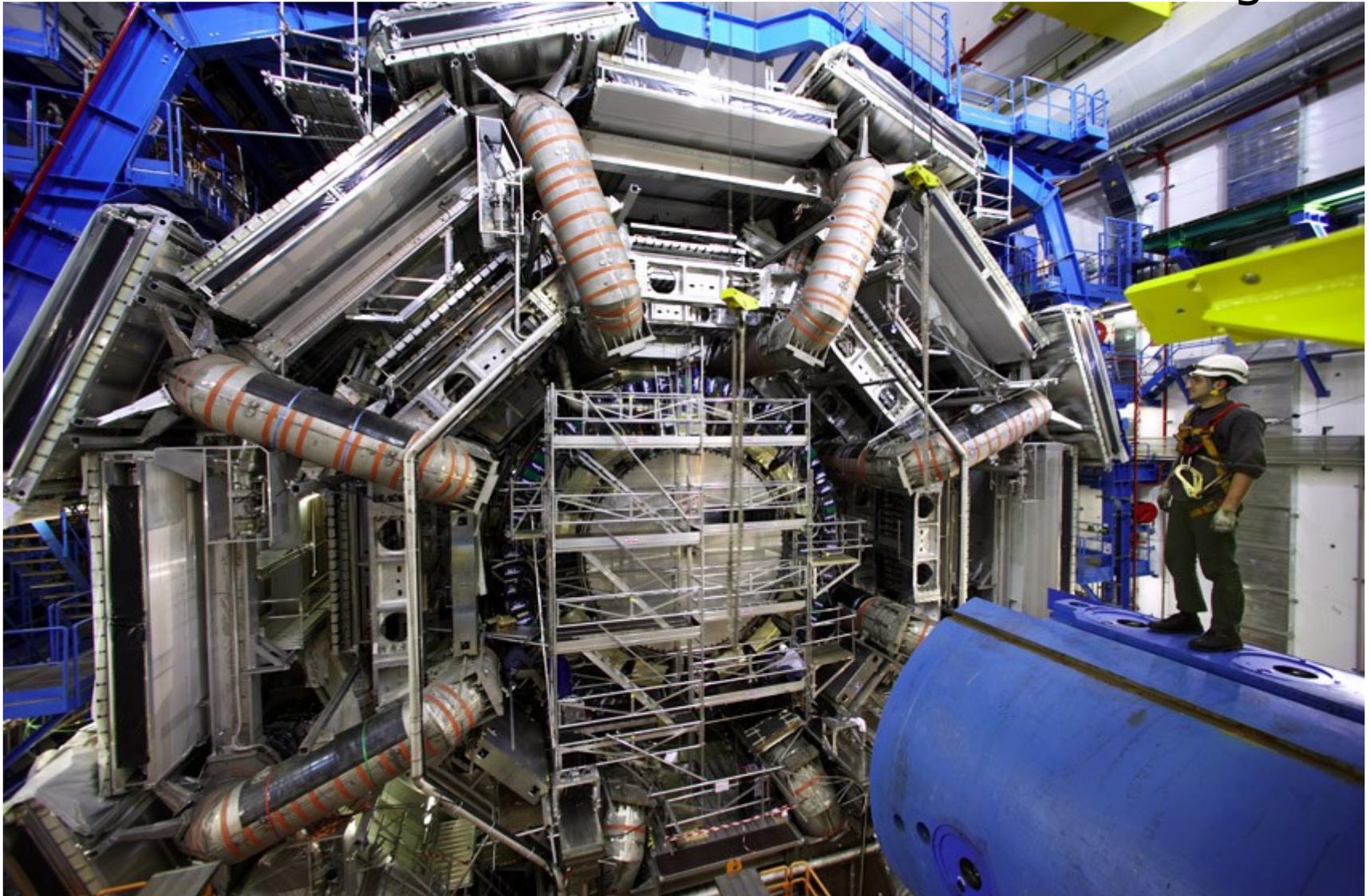
ATLAS Toroid-Spulen

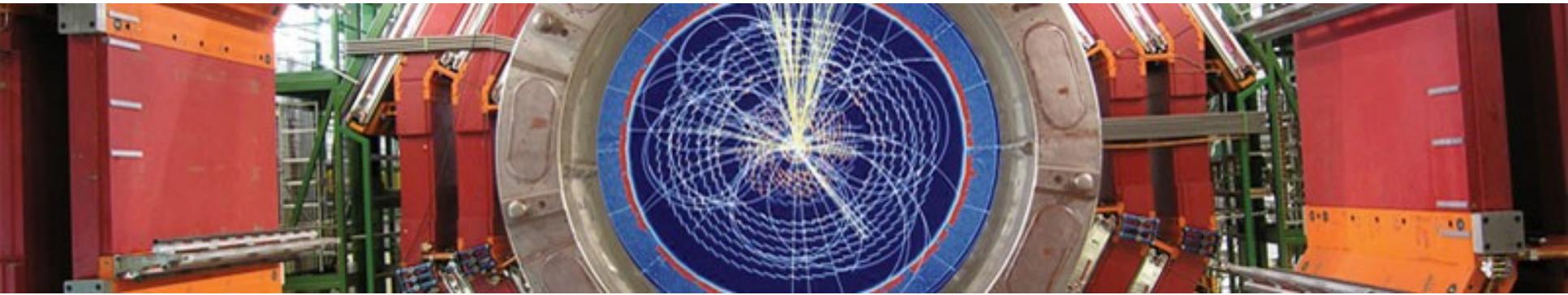


ATLAS Silizium-Detektor

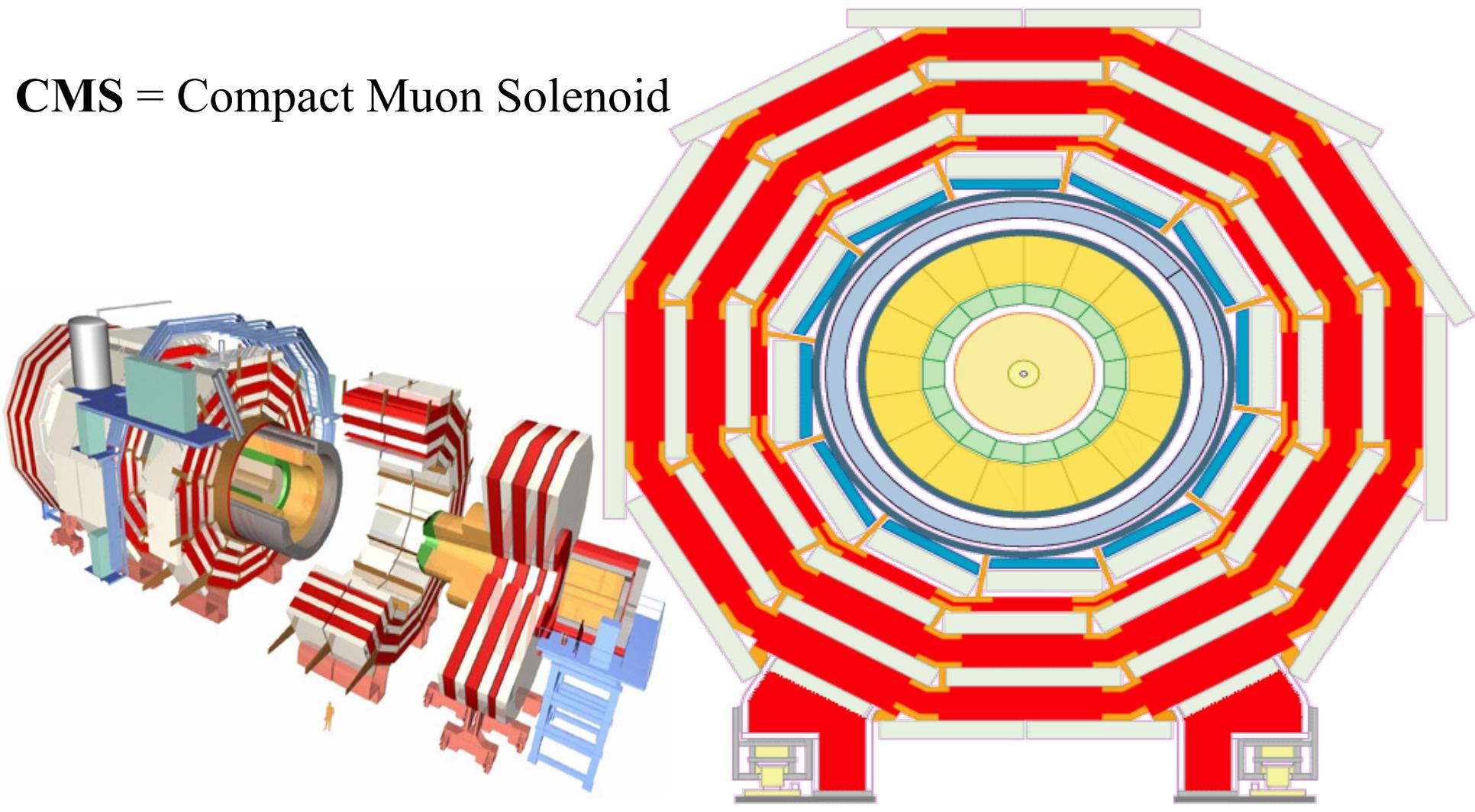


Der ATLAS-Detektor kurz vor der Vollendung





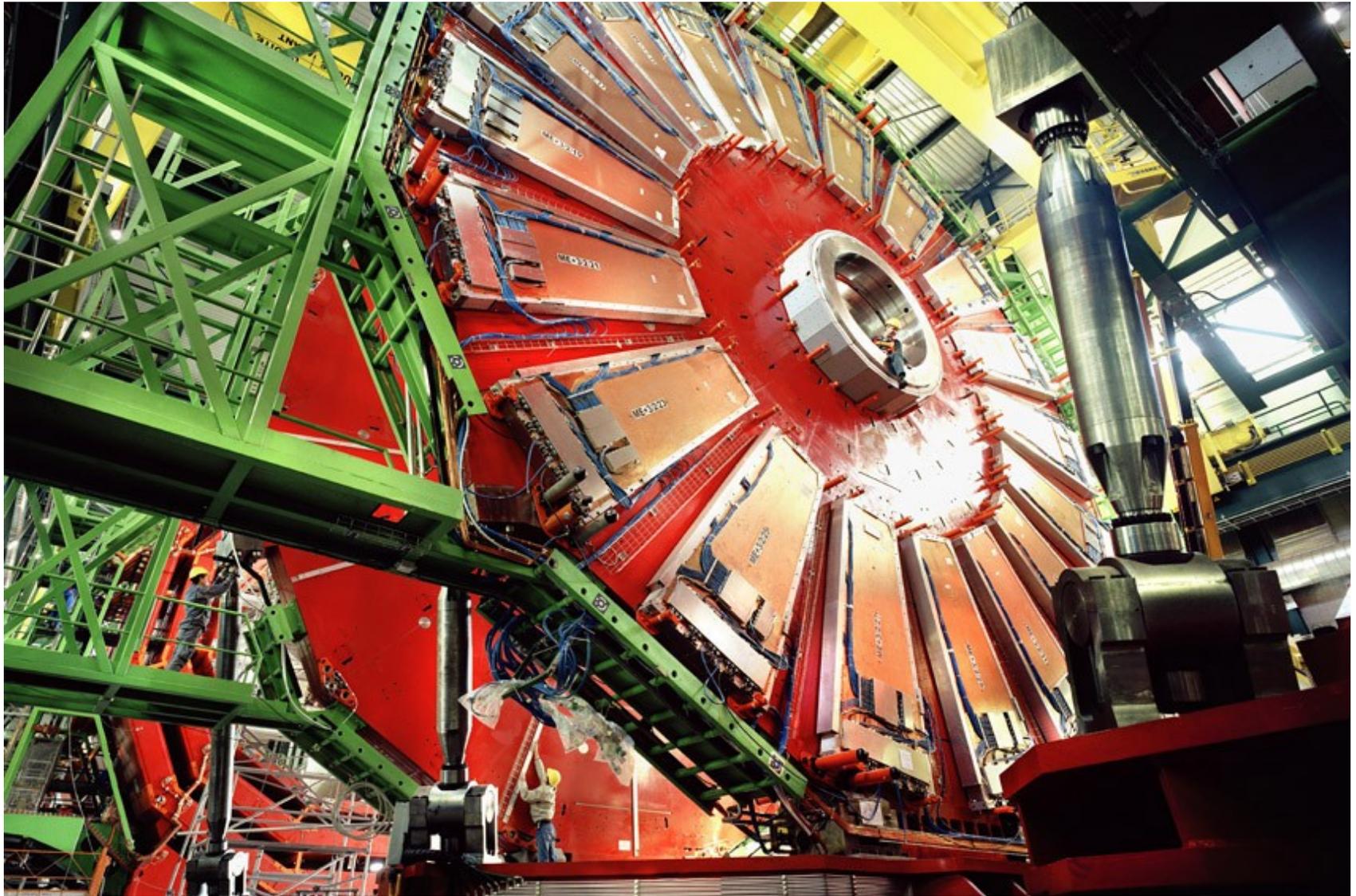
CMS = Compact Muon Solenoid



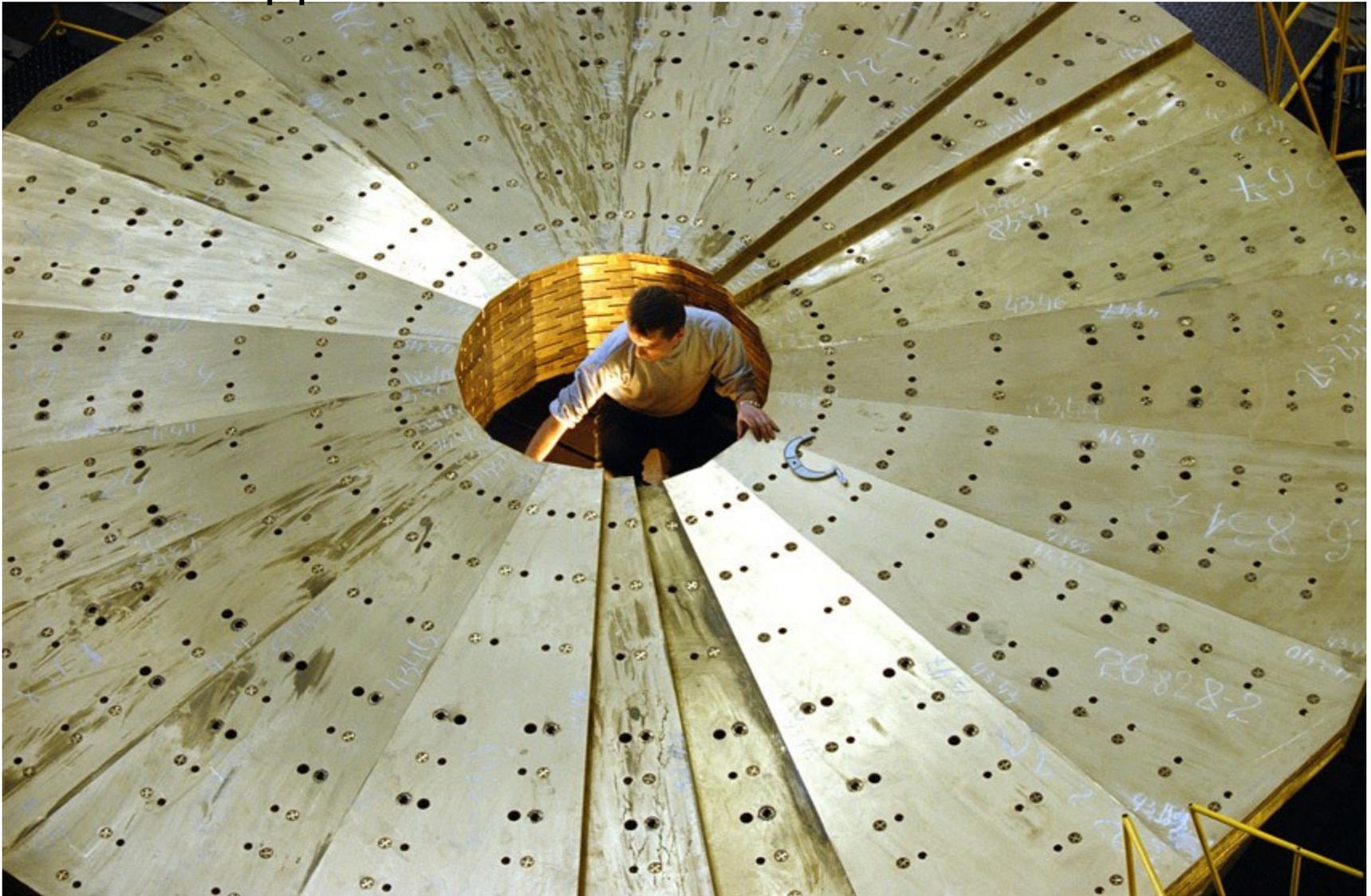
Einzelne Scheiben des CMS-Experiments



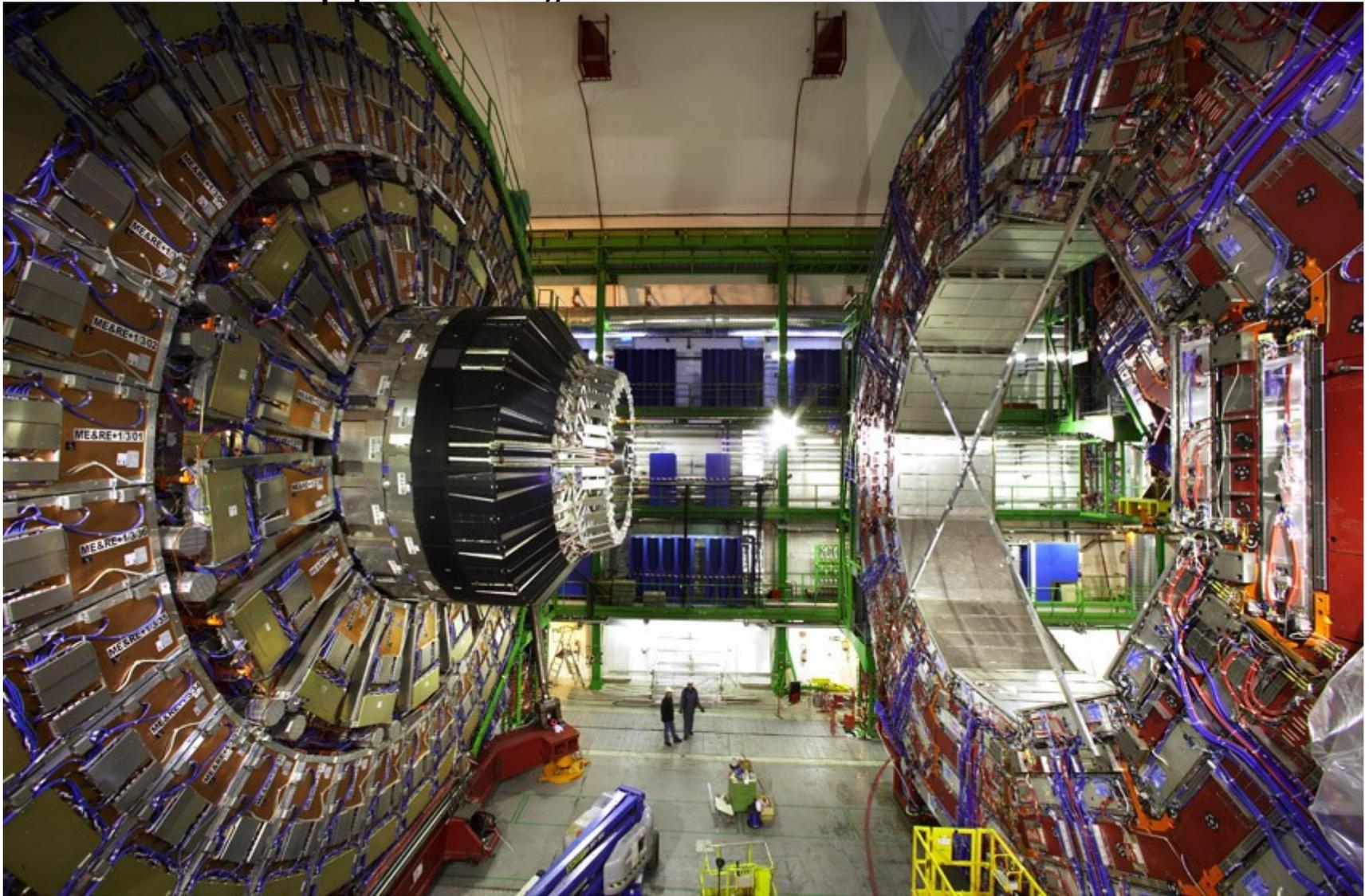
Arbeiten am CMS-Detektor



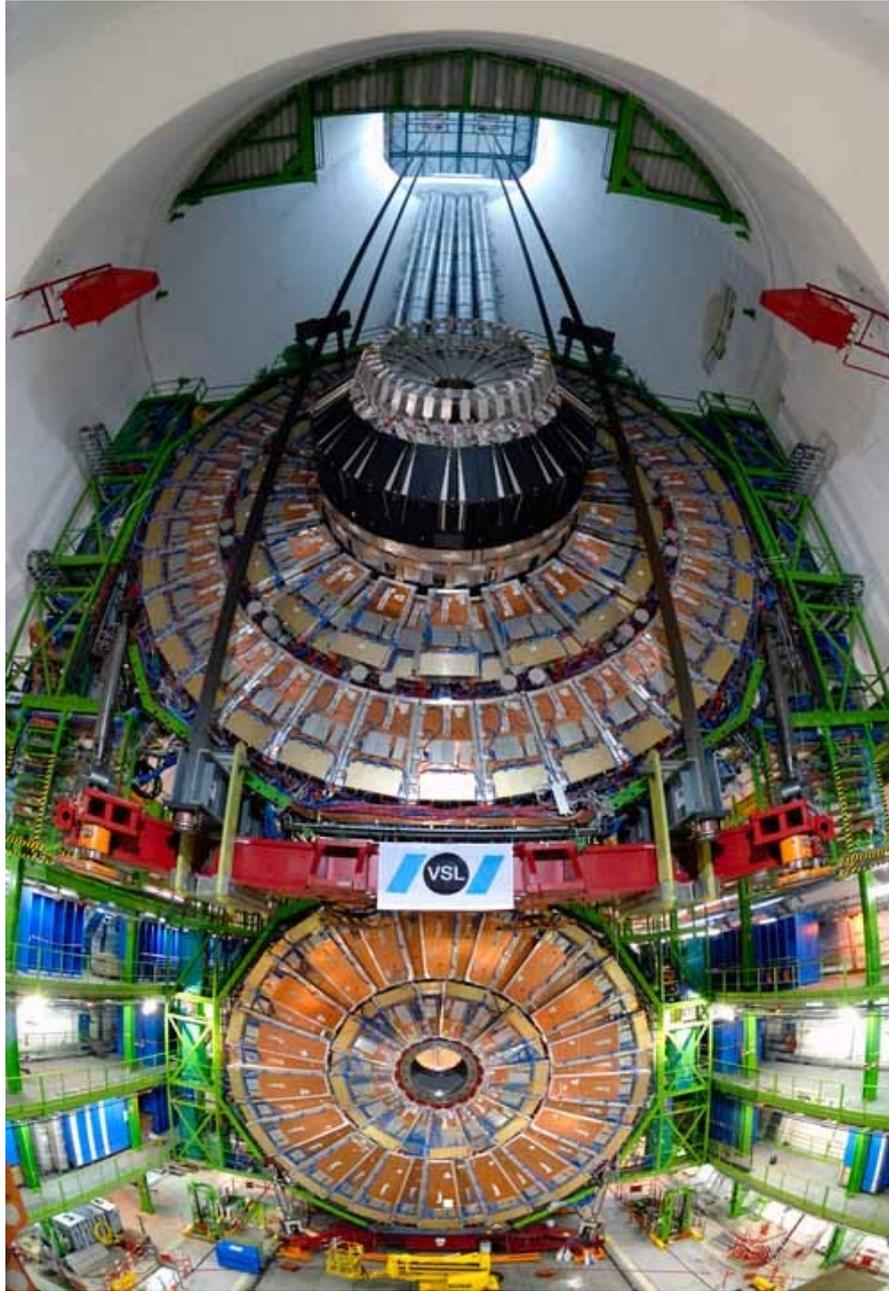
Endkappe des Hadron-Kalorimeters von CMS



Endkappe und „Rad“ des CMS-Detektors



Zusammenbau von CMS 100 m unter der Erde



Alice

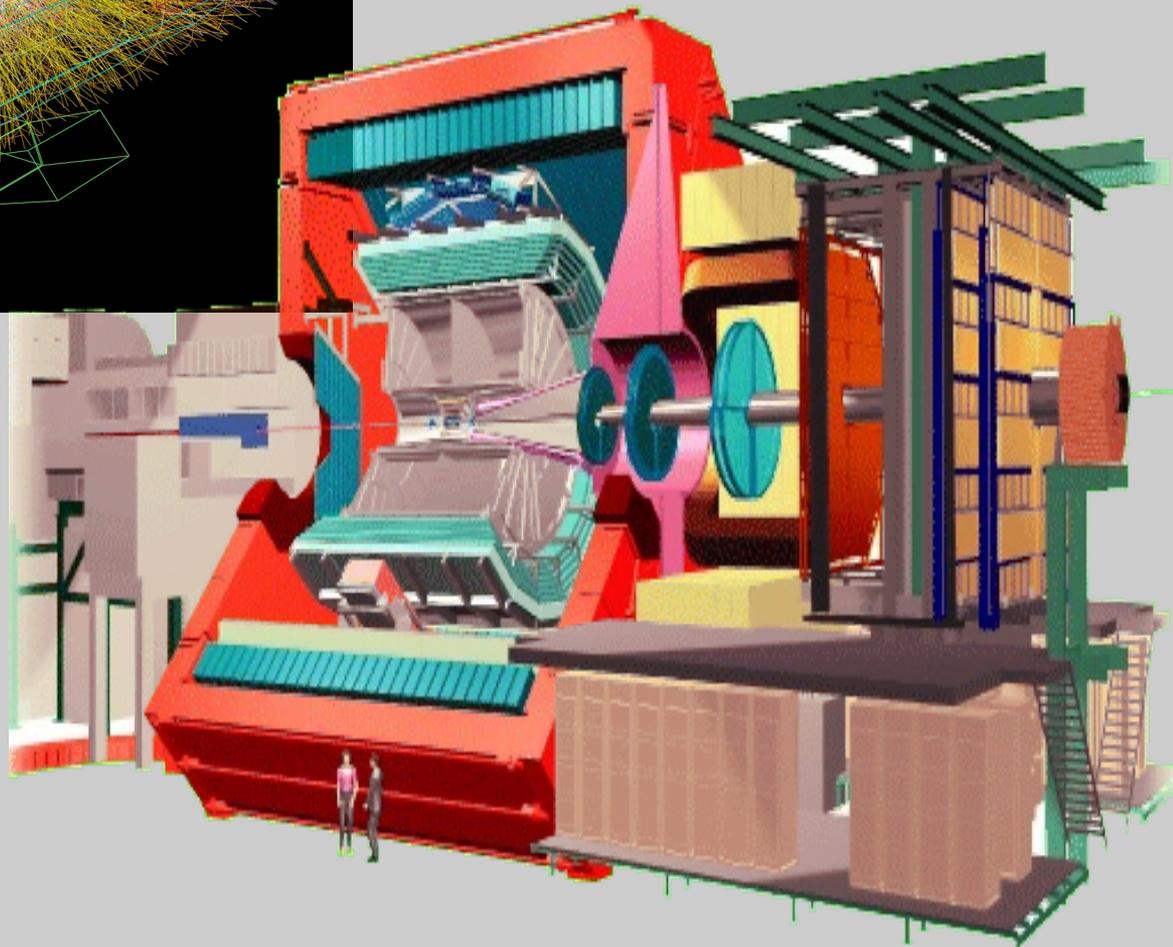
16 m hoch, 26 m lang

10.000 t schwer

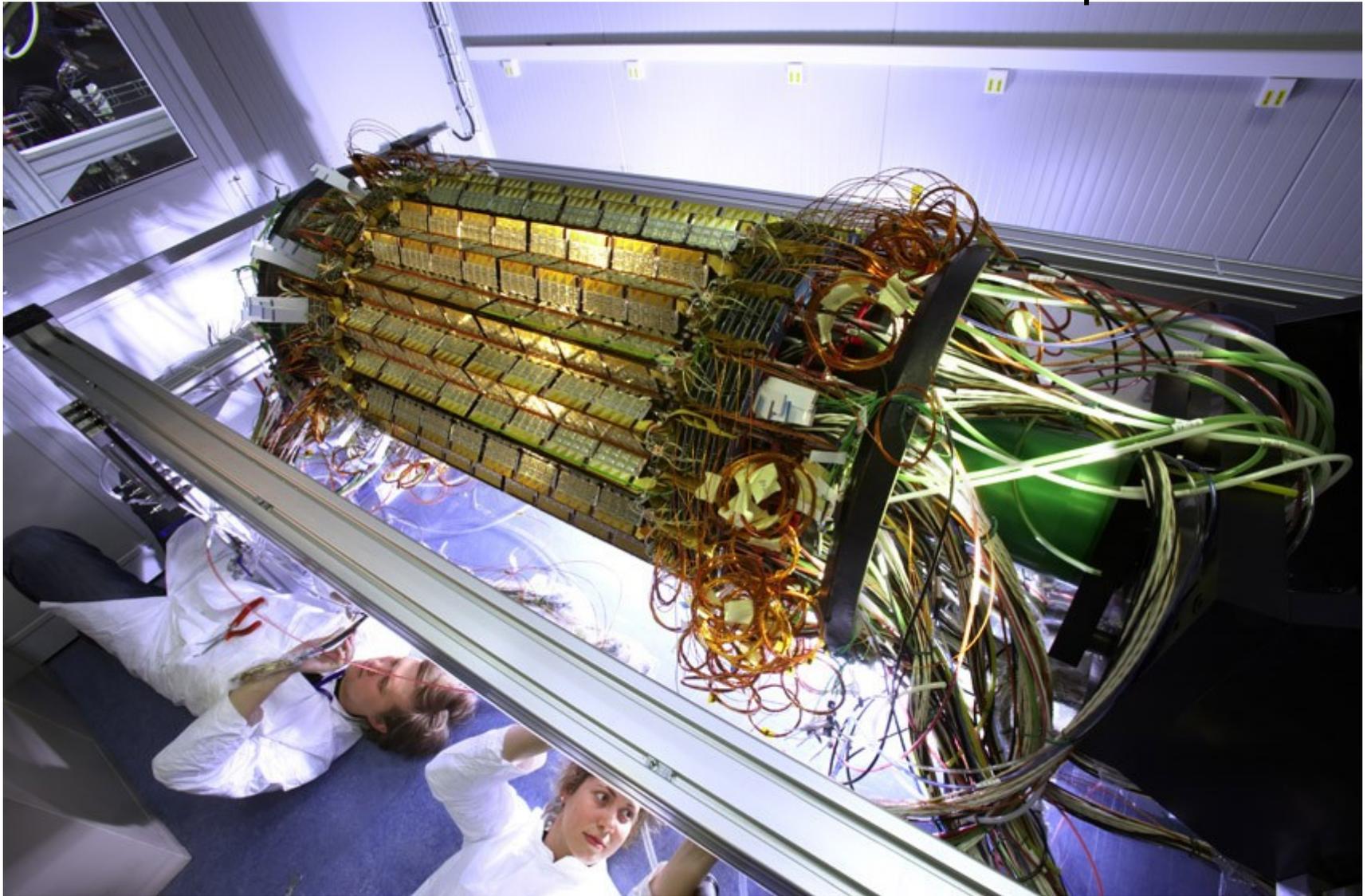
1.000 Mitarbeiter von 90

Instituten aus 27 Ländern

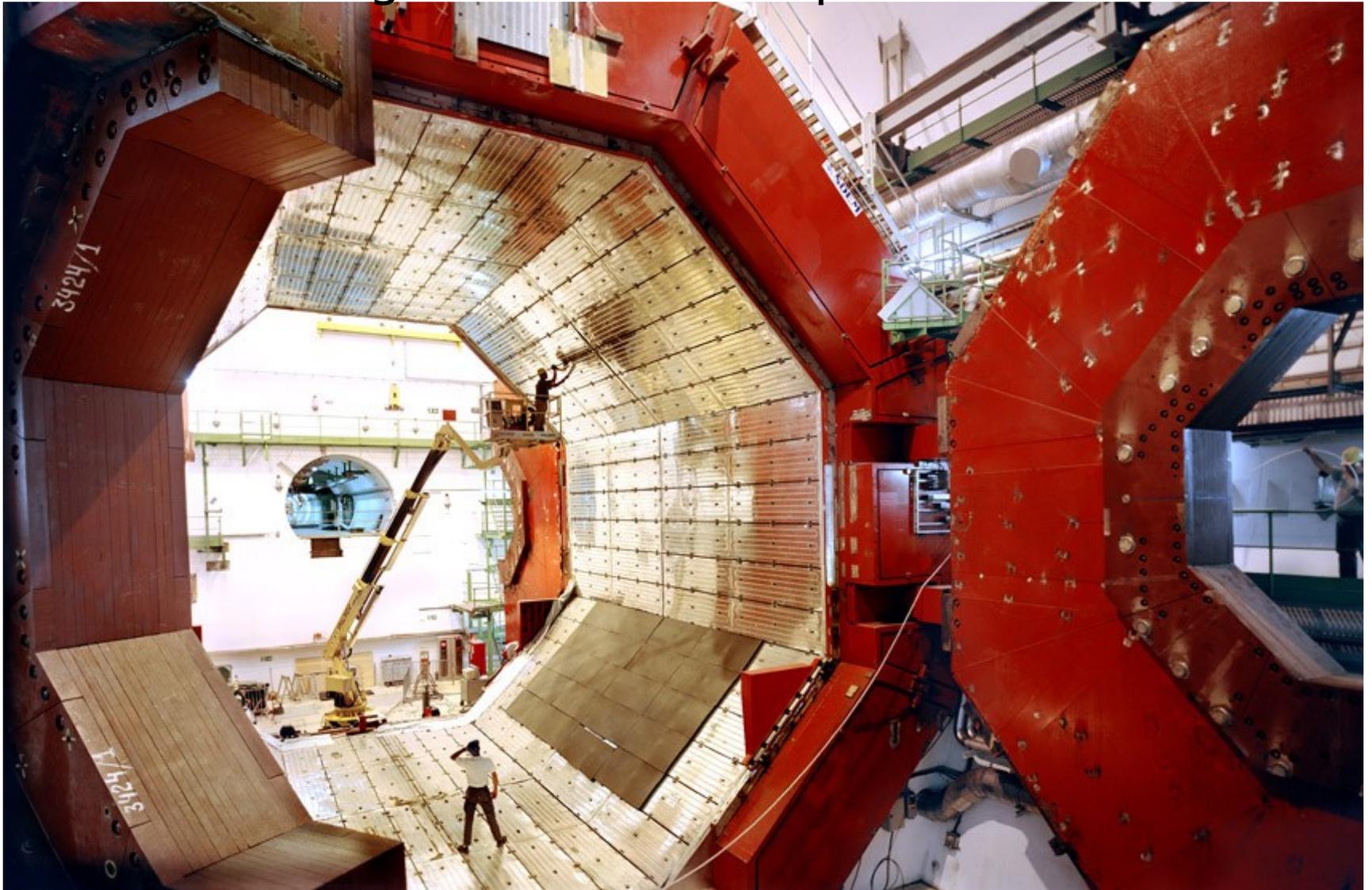
Spezialisiert auf die
Messung von Blei-Blei
Kollisionen
mit 10-Tausenden vom
Teilchenspuren



Arbeit am Silizium-Detektor des Alice-Experiments



Magnet des Alice-Experiments



Im Inneren des Alice-Magneten

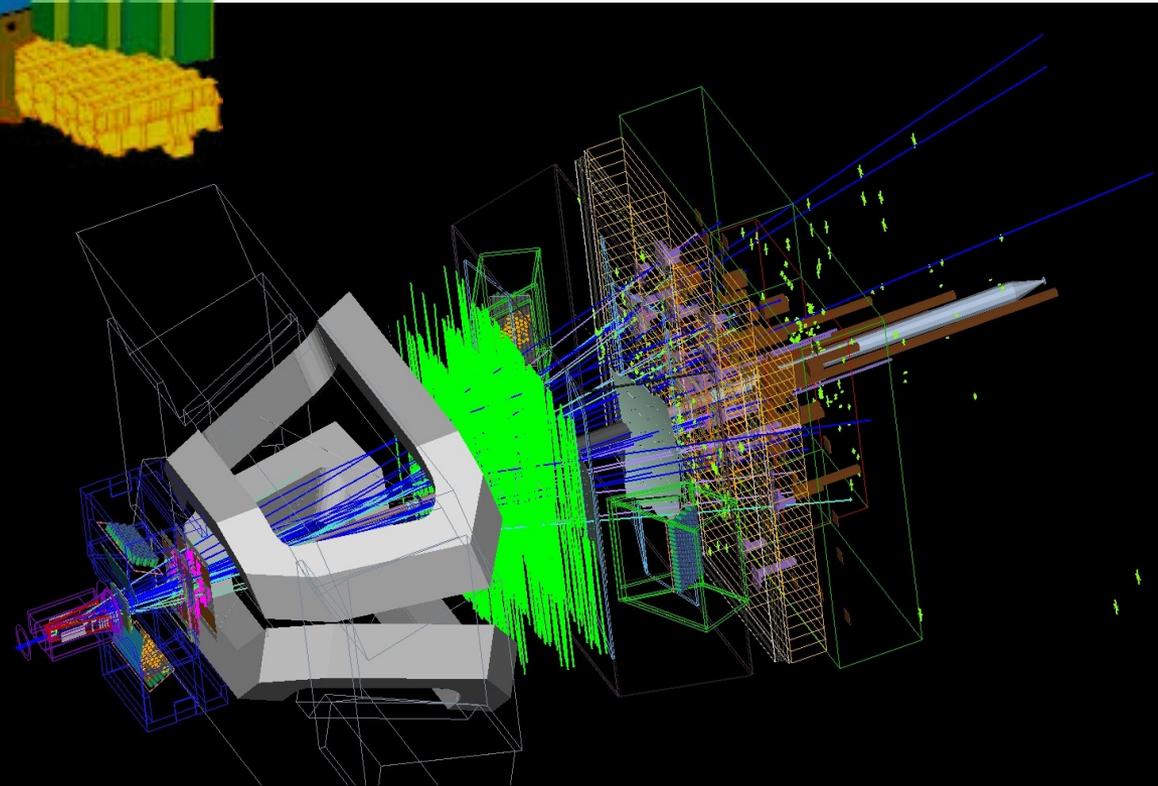
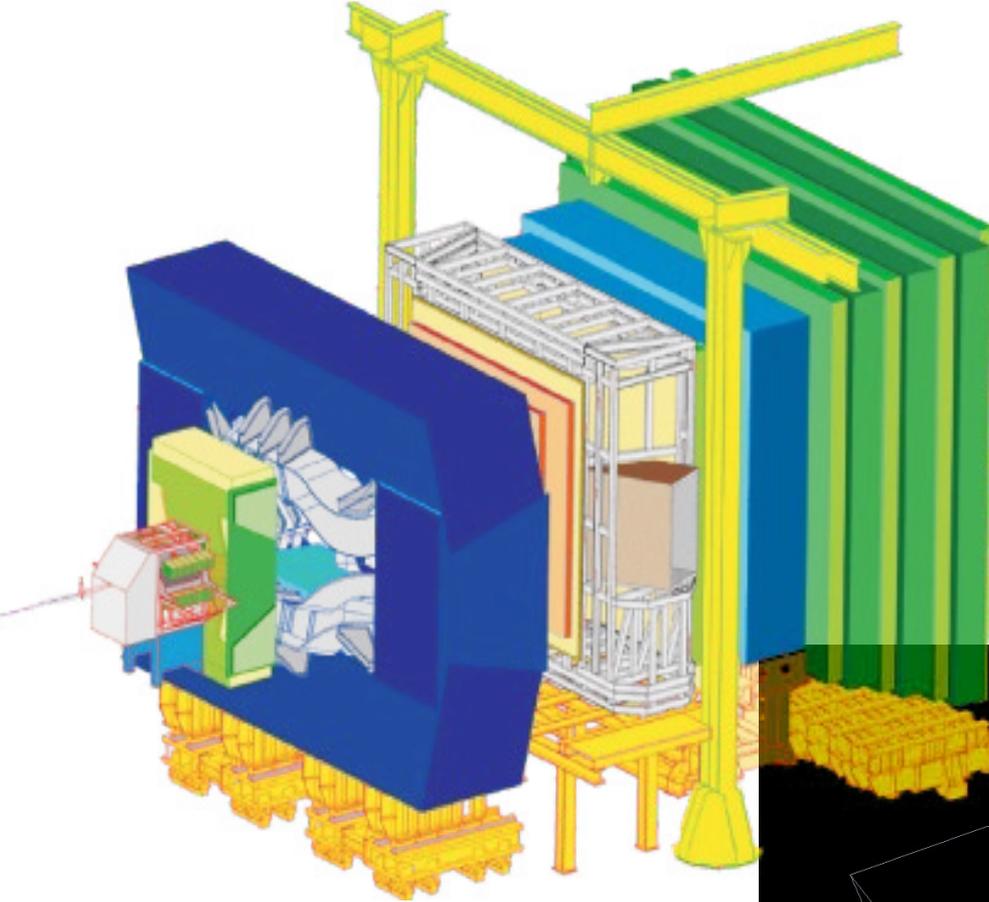


LHCb

- 10m hoch, 13 m breit, 21 m lang
- 5.600 t schwer
- Besonderheit: vorwärts gerichtetes Spektrometer mit ebenen Detektoren
- ~650 Wissenschaftler von 48 Instituten aus 13 Ländern

Spezialisiert auf Messung von Teilchen mit b-Quarks

insbesondere Verletzung der Symmetrie zwischen Materie u. Antimaterie in Zerfällen von b-Hadronen



Der Magnet des LHCb-Experiments



Offene Fragen

Woraus besteht das Universum ?

Was geschah bei (oder kurz nach) dem Urknall

Woraus besteht die „Dunkle Materie“

Woher kommt die Masse ?

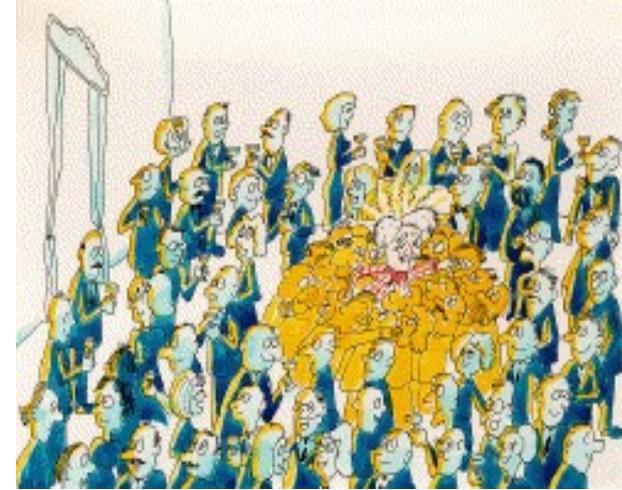
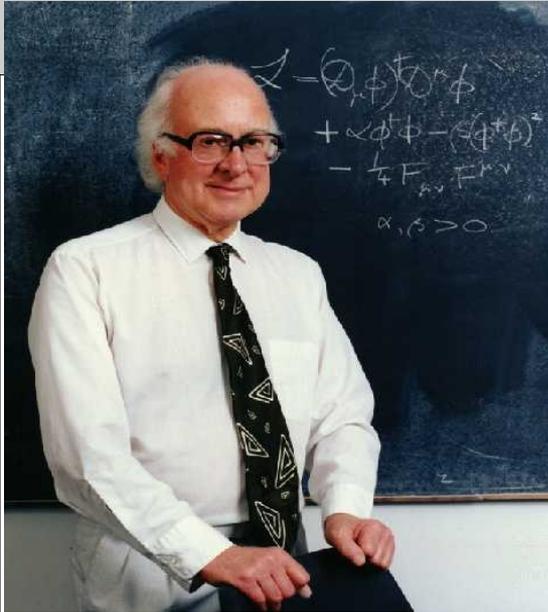
Gibt es Supersymmetrie?

Warum gibt es überhaupt (noch) Materie?

Woraus haben sich Protonen gebildet ?

Was ist „Dunkle Energie“

Ursprung der Masse ?



Gibt es den Higgs-Mechanismus, und wie funktioniert er ?



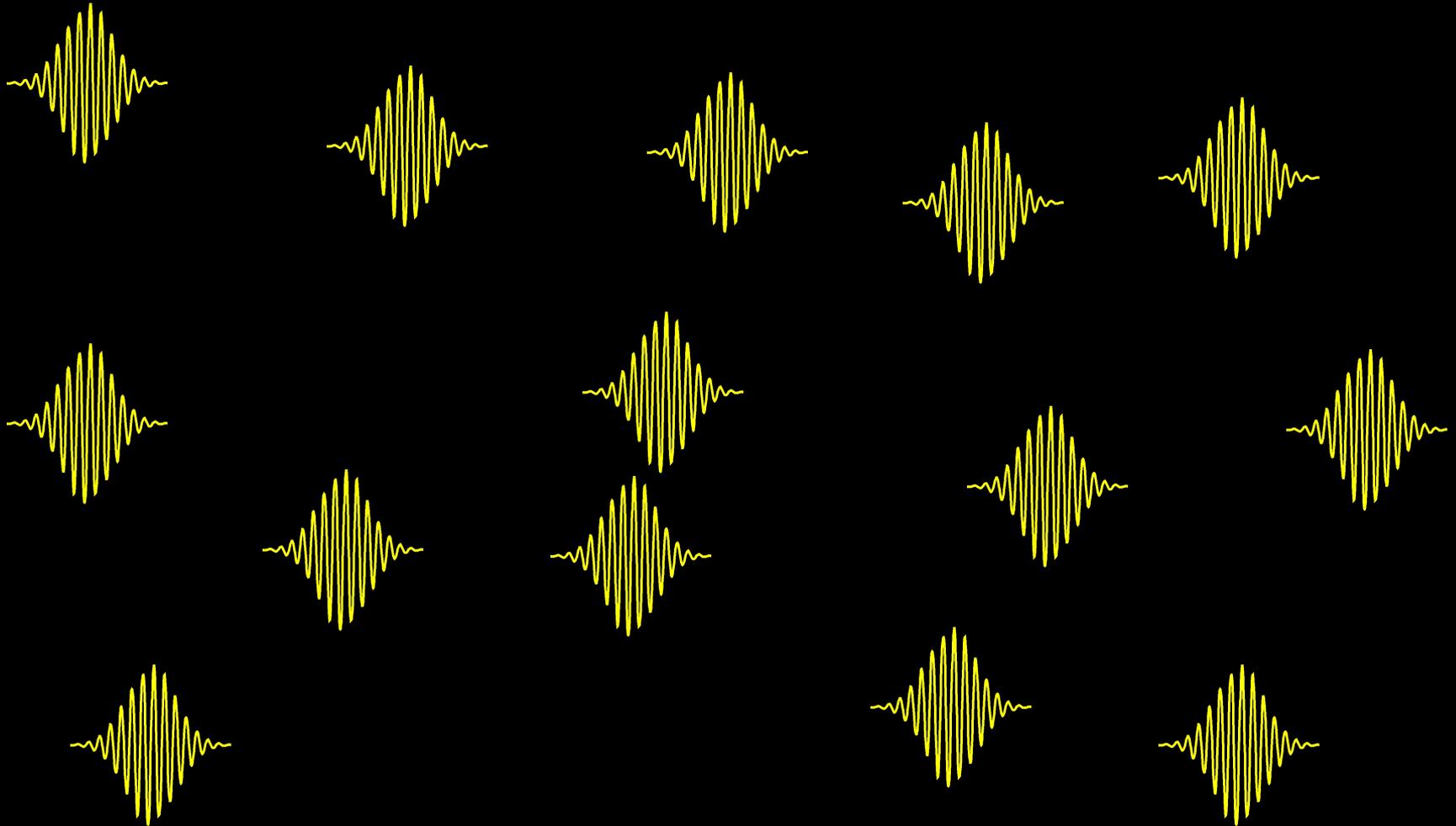
Materie und Anti-Materie

Was passiert,
wenn Materie



auf
Anti-Materie trifft ?

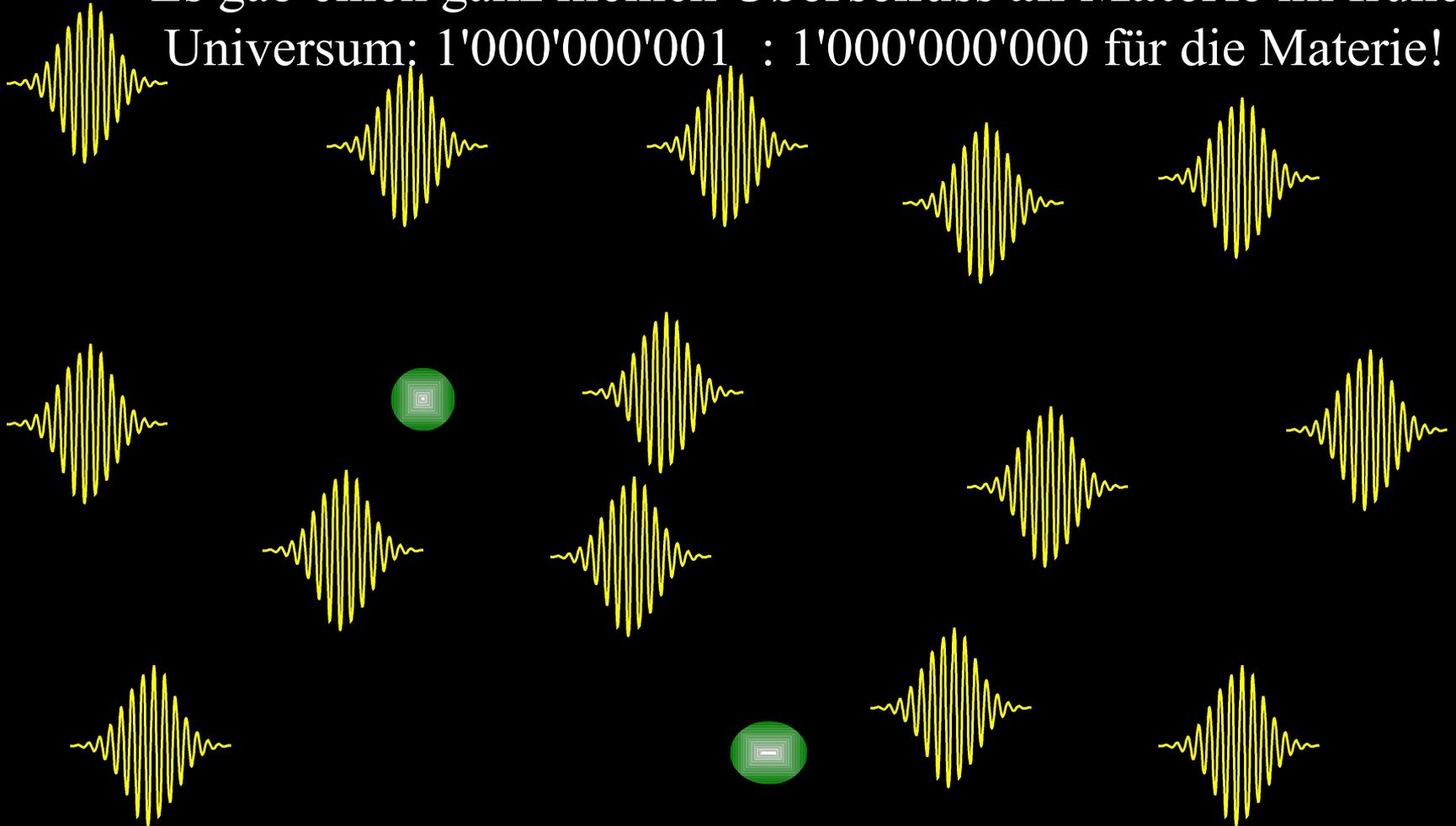
Warum gibt es überhaupt noch Materie ?



Wenn Materie und Anti-Materie genau gleich wären,
gäbe es im Universum nur noch Licht (=Photonen) !

Warum gibt es überhaupt noch Materie ?

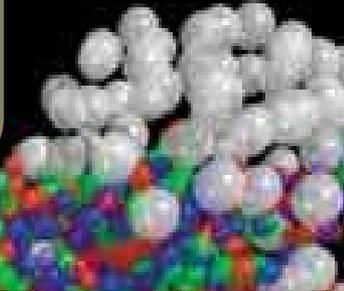
Es gab einen ganz kleinen **Überschuss an Materie** im frühen Universum: 1'000'000'001 : 1'000'000'000 für die Materie!



Etwas Materie hat überlebt, aus diesem Rest bestehen wir !!
Materie-Antimaterie-Asymmetrie ist Spezialität von LHCb

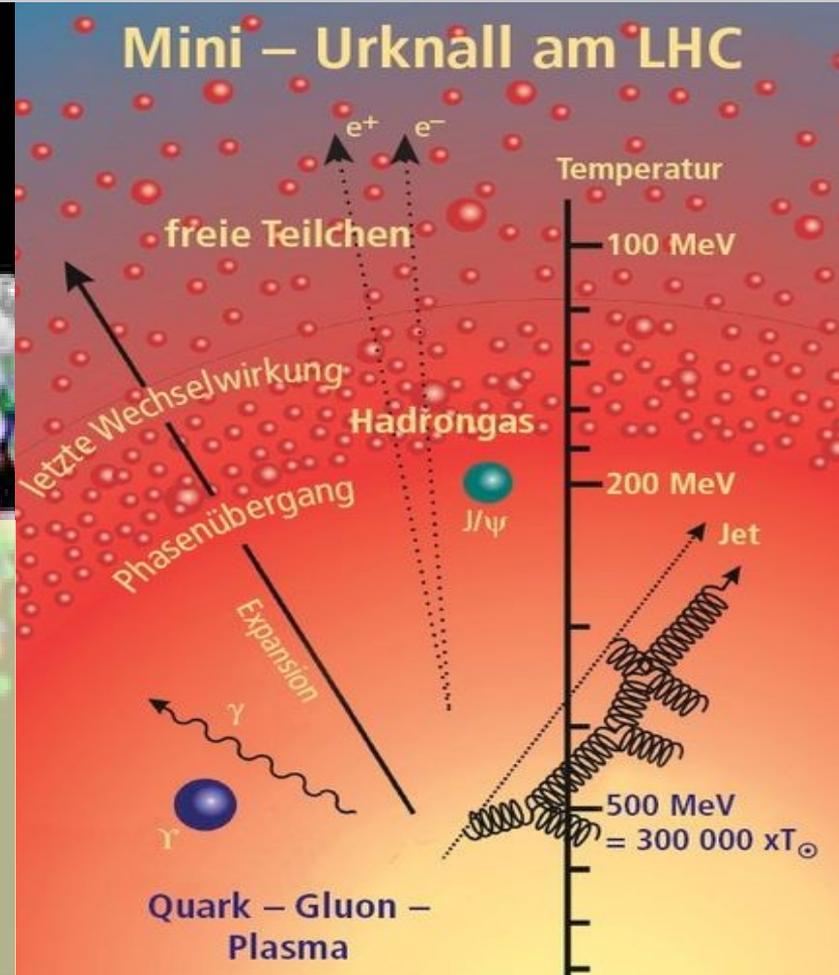
Woraus entstanden die ersten Protonen?

„Gewöhnliche Materie“
ausgefroren aus heißer
„Quark-Ursuppe“ im
frühen Universum, dem
Quark-Gluon Plasma

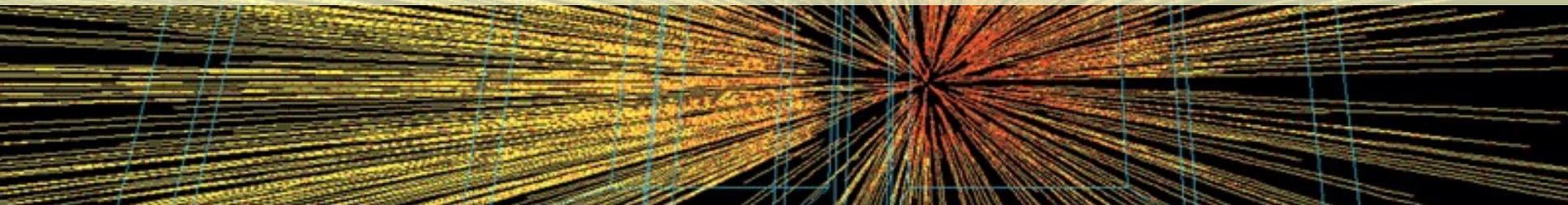


Könnte heute noch im **Inneren von Neutronensternen** existieren,
oder am LHC entstehen:

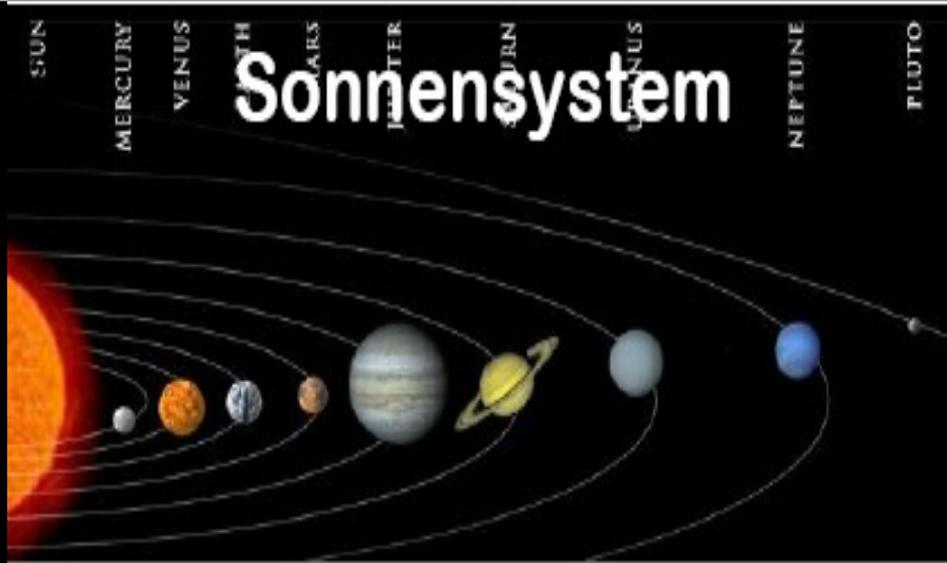
**Kollision von Blei-Kernen zur
Erzeugung hoher Teilchendichte
bei $T \approx 1$ Million Millionen $^{\circ}\text{C}$**



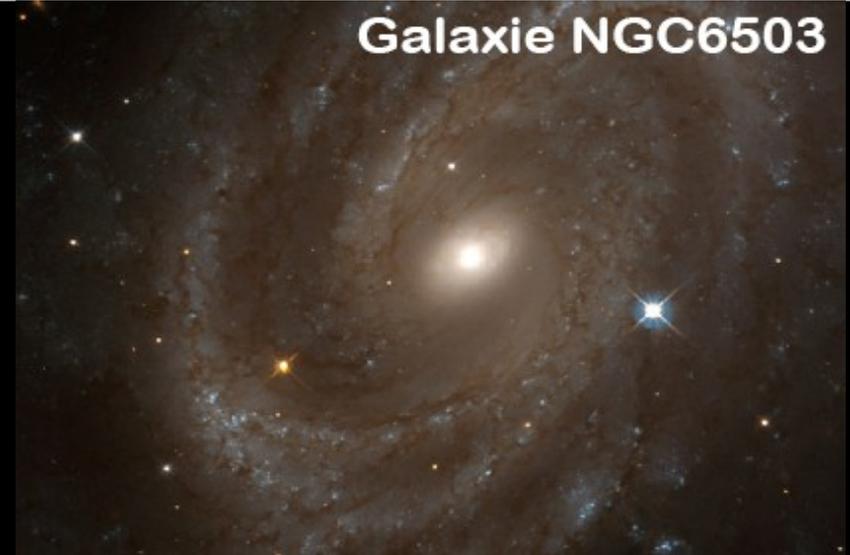
Simulierte Blei-Blei Kollision am LHC mit Tausenden von Teilchenspuren in **ALICE**



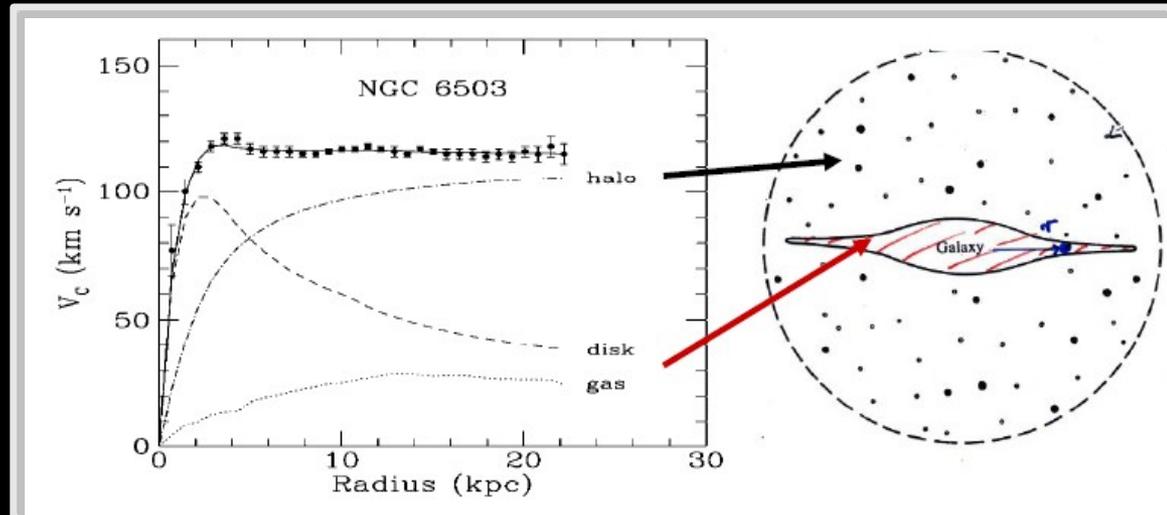
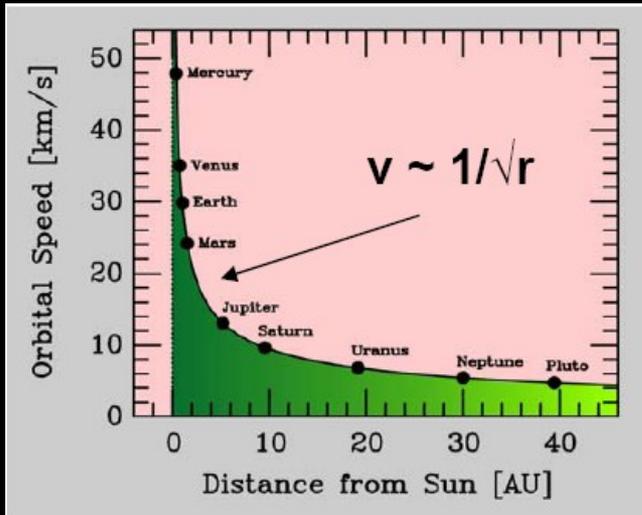
Unbekannte Form(en) von Materie !?



Im Sonnensystem gilt
Keplers Gesetz

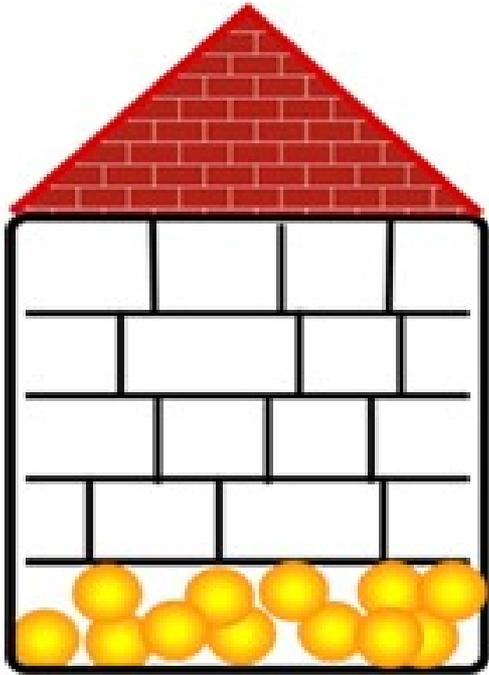


Rotationsgeschwindigkeit von Sternen in
Galaxien **nicht** durch „sichtbare“ Materie
erklärbar \Rightarrow **dunkle Materie !**



dunkle Materie = keine elektromagnetische oder starke Wechselwirkung

„Super - Symmetrie“ zwischen „Bosonen“ und „Fermionen“



Bosonen sind „sozial“,
alle eng zusammen

z.B. Laser-Licht

Zwei Teilchensorten:

Fermionen=

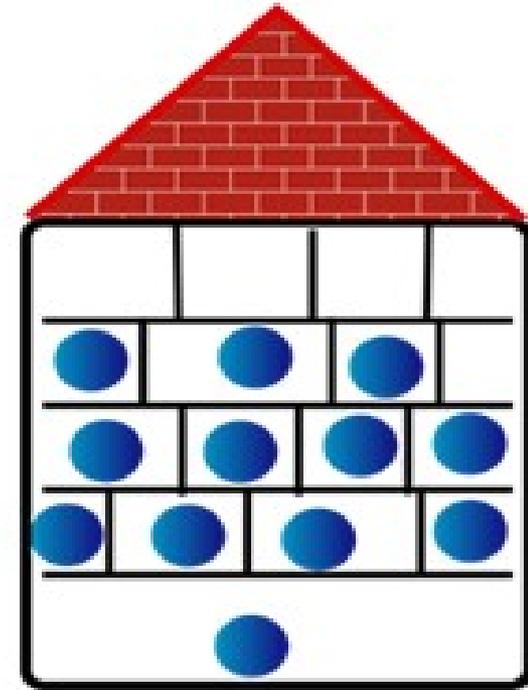
Materieteilchen

(Elektron, Proton, Neutron,
Myon, Neutrinos, ...)

Bosonen =

Kraftteilchen

(Photon, Gluon, W, Z,
[Graviton], [Higgs], ...)



Fermionen sind
„anti-sozial“,
nie zwei im
gleichen Raum



„Pauli-Prinzip“

? gibt es auch „soziale“ ?
? Materieteilchen, z.B. ?
? Elektron, das nicht ?
? dem Pauli-Prinzip ?
? gehorcht ? ?

Ist Supersymmetrie die Lösung ?

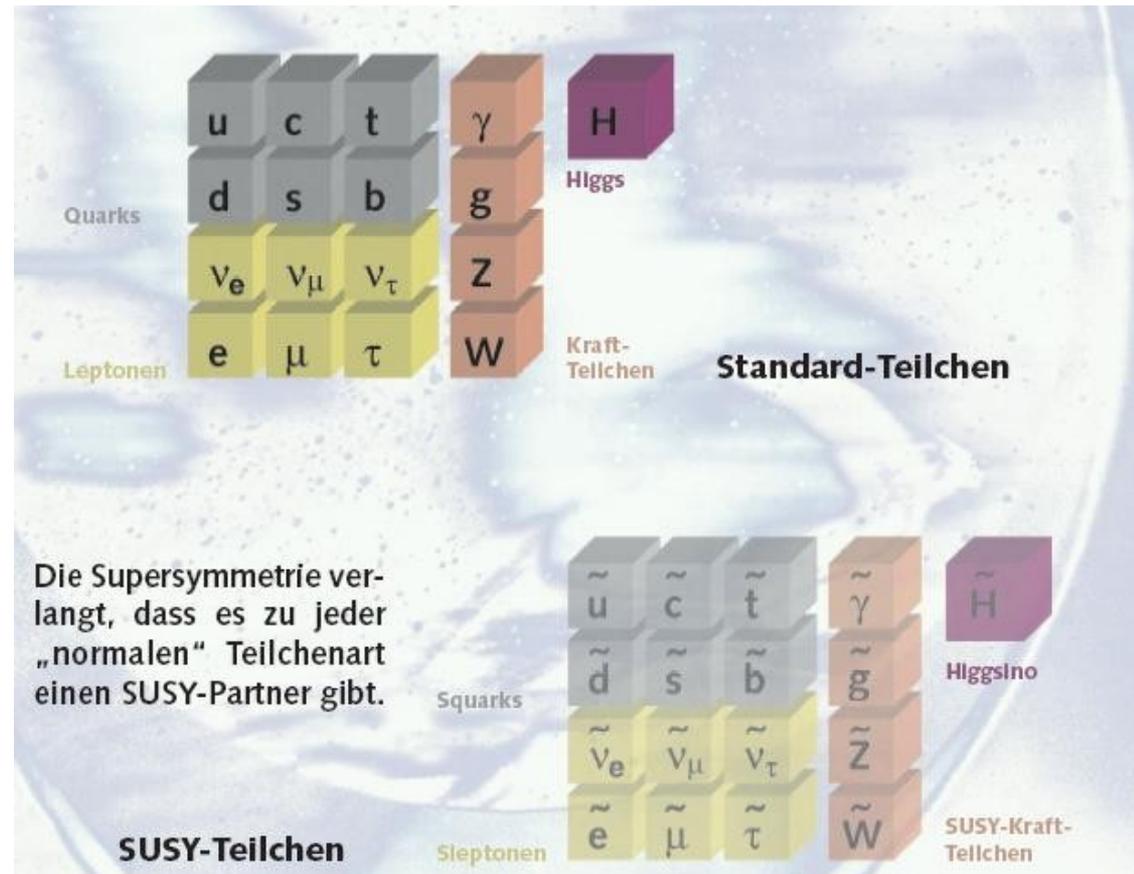
Supersymmetrie ordnet jedem Teilchen einen Partner zu:

Boson \leftrightarrow Fermion

Leichtestes supersymmetrisches Teilchen ist

- stabil
- elektrisch neutral
- nicht stark-wechselwirkend?

Ist das die dunkle Materie !?



SuSy kann weitere Probleme des Standardmodells lösen:

- Verbindung zur Gravitation
- Brücke zur „Urkraft“

Was ist „Dunkle Energie“

Unser Universum dehnt sich aus –
und zwar mit **zunehmendem Alter immer schneller !**

Hubble Ultra Deep Field Details

HST • ACS



Dunkle
Materie



Dunkle
Energie



NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and The HUDF Team

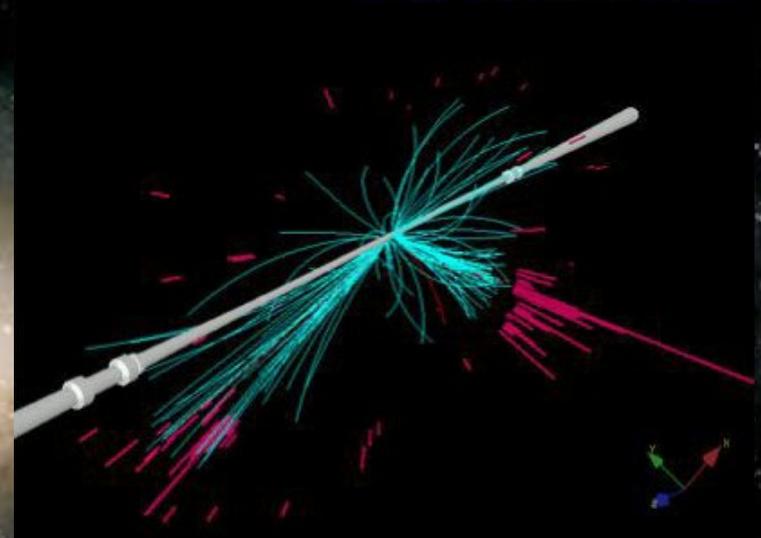
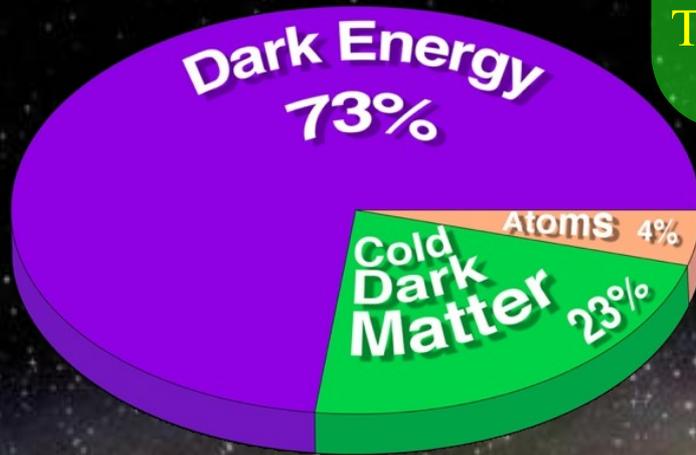
STScI-PRC04-07c

“Dunkle Energie(*)“ treibt es auseinander !

(*) dunkle Energie = die Konstante λ in Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie

Was steckt teilchenphysikalisch dahinter ?

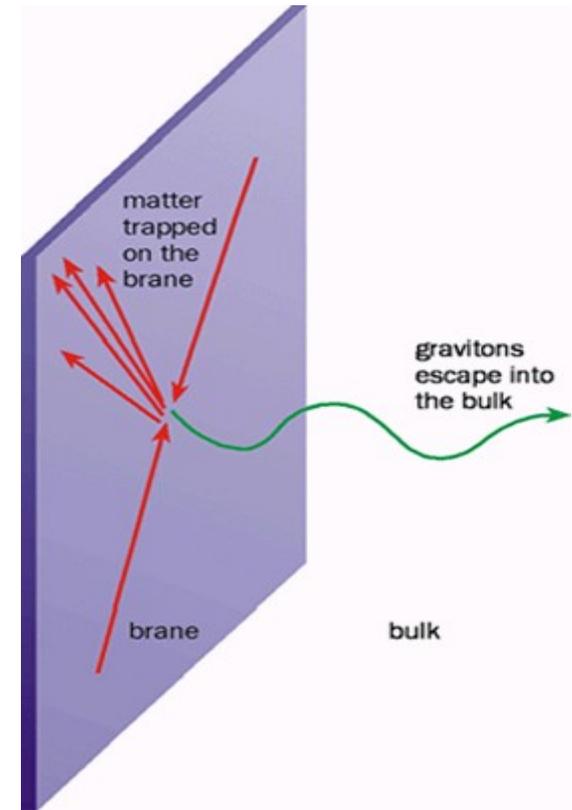
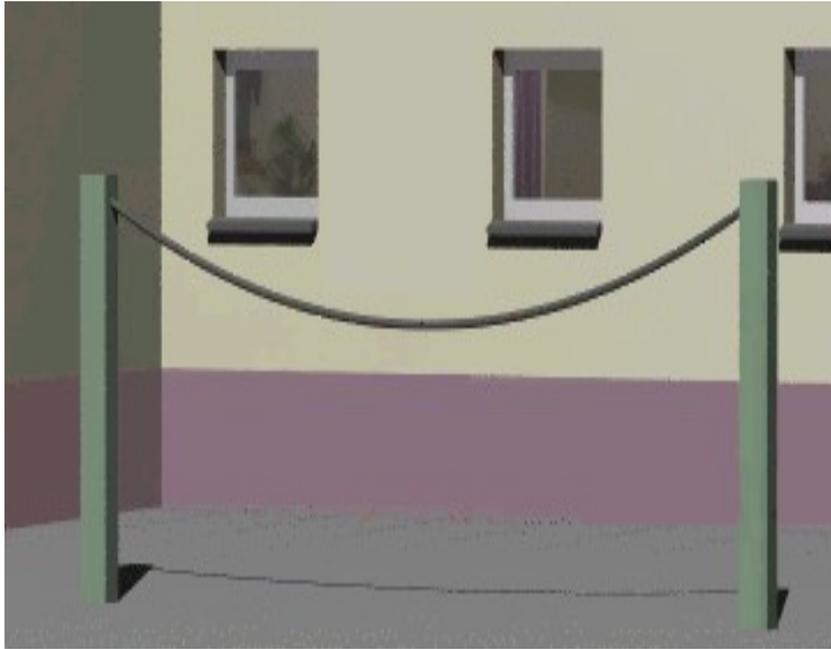
Astronomen und Astrophysiker werden mit neuen Teleskopen in den kommenden Jahrzehnten die Verteilung der dunklen Materie aufklären



Der LHC wird dunkle Materie vielleicht erzeugen und ihre Natur aufklären.
Steckt auch hinter der „dunklen Energie“ ein Elementarteilchen ?



Verborgene Raumdimensionen ?



- Aus der Ferne: Seil ist 1-dim Objekt
- Ameise nimmt es als Oberfläche wahr – 2. Dimension ist „aufgerollt“
- Struktur bei hoher Vergrößerung deutet auf dritte Dimension hin

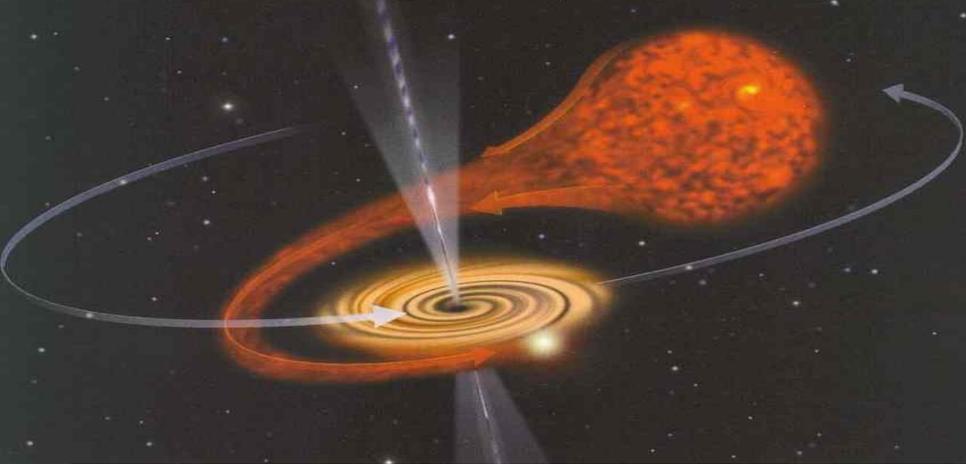
Unser dreidimensionaler Raum eingebettet in höherdimensionalen Raum ?

Brane-Modell: Gravitation breitet sich in allen Dimensionen aus - wird bei kleinen Abständen schnell stärker ($\sim r^{1-n}$)

**Ist unser Raum auch bei Abständen von 10^{-19} m noch dreidimensional?
Werden wir „starke“ Gravitation (=Graviton-Produktion) sehen ? ...**

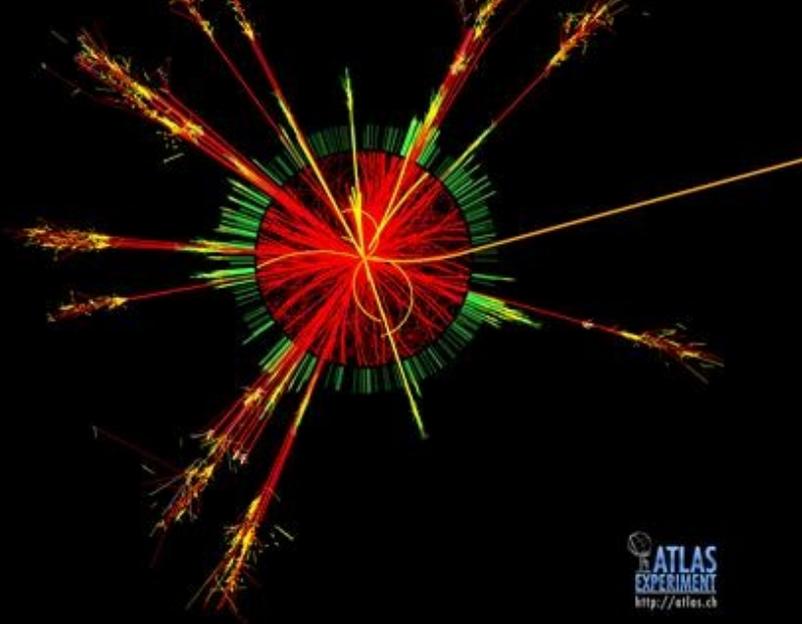
Schwarze Löcher am LHC ?

... oder noch Spektakulärereres ?



Schematische Darstellung eines schwarzen Lochs mit Milliarden Sonnenmassen, das einen Stern verschluckt.

Simulierter Zerfall eines schwarzen Lochs im ATLAS-Detektor



Am LHC höchstens

„mikroskopische“ Schwarze Löcher“

Erzeugung nur mittels „neuer Physik“, z.B. bei Existenz zusätzlicher Raumdimensionen

- sie sind instabil („Hawking-Strahlung“)
- Prozesse wie am LHC auf Grund der kosmischen Strahlung seit Milliarden Jahren, ohne Gefahr für die Erde
- Gefahr durch stabile, mikroskopische schwarze Löcher durch kosmische Beobachtungen ausgeschlossen: würden z.B. in Sternen gestoppt !

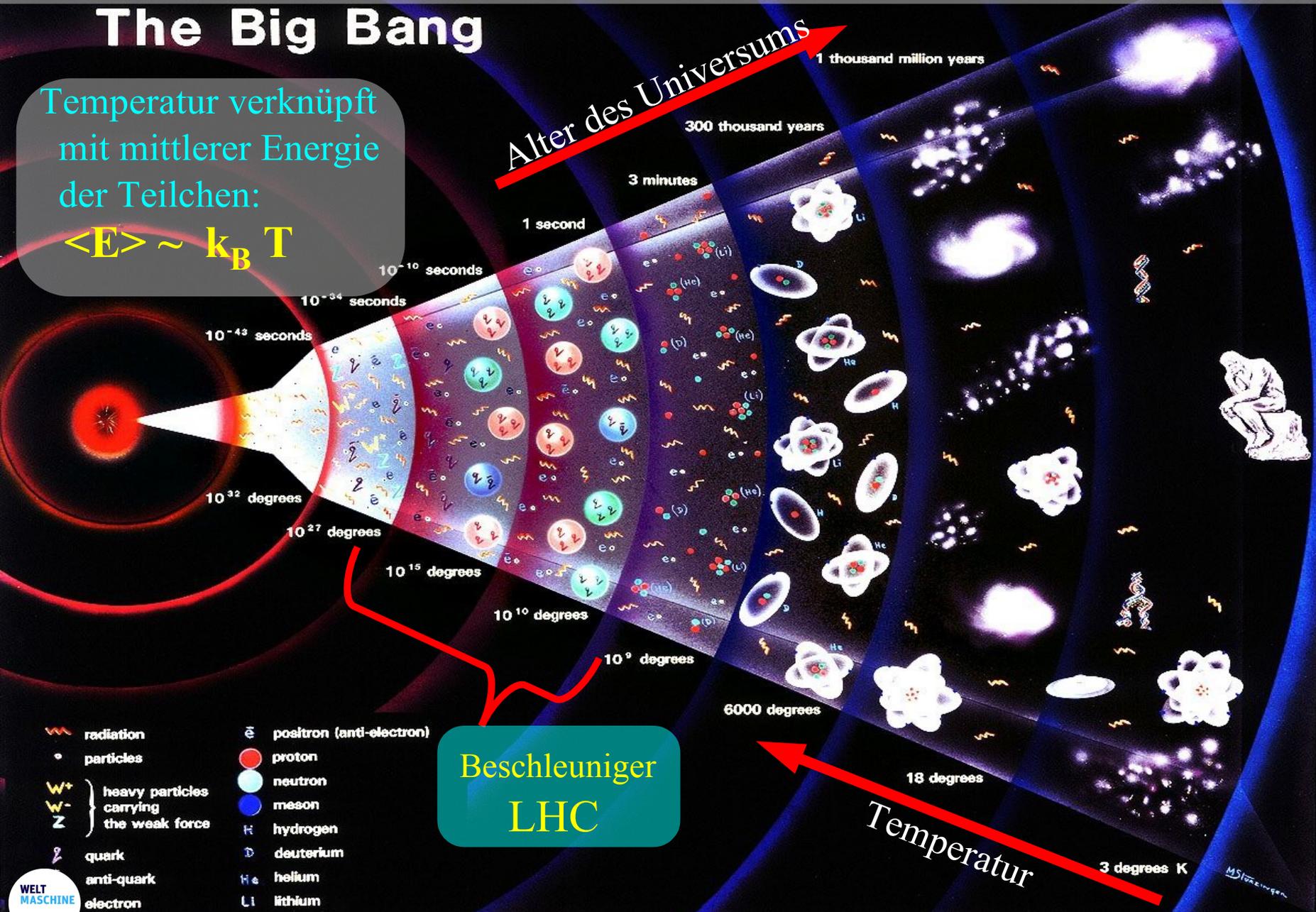
Keine Materie-fressenden Monster am LHC möglich!

15 thousand million years

The Big Bang

Temperatur verknüpft mit mittlerer Energie der Teilchen:

$$\langle E \rangle \sim k_B T$$

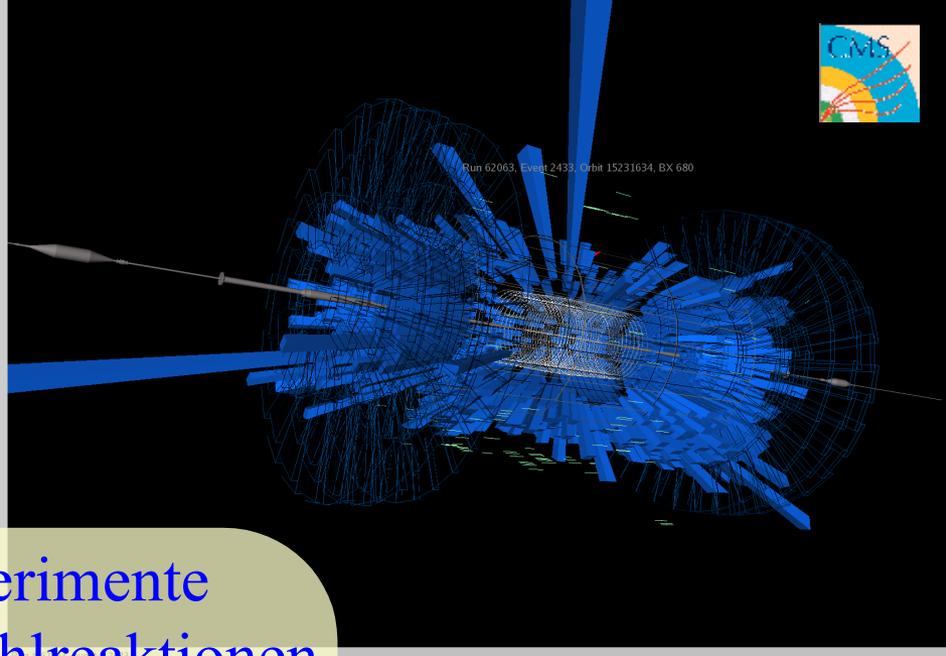
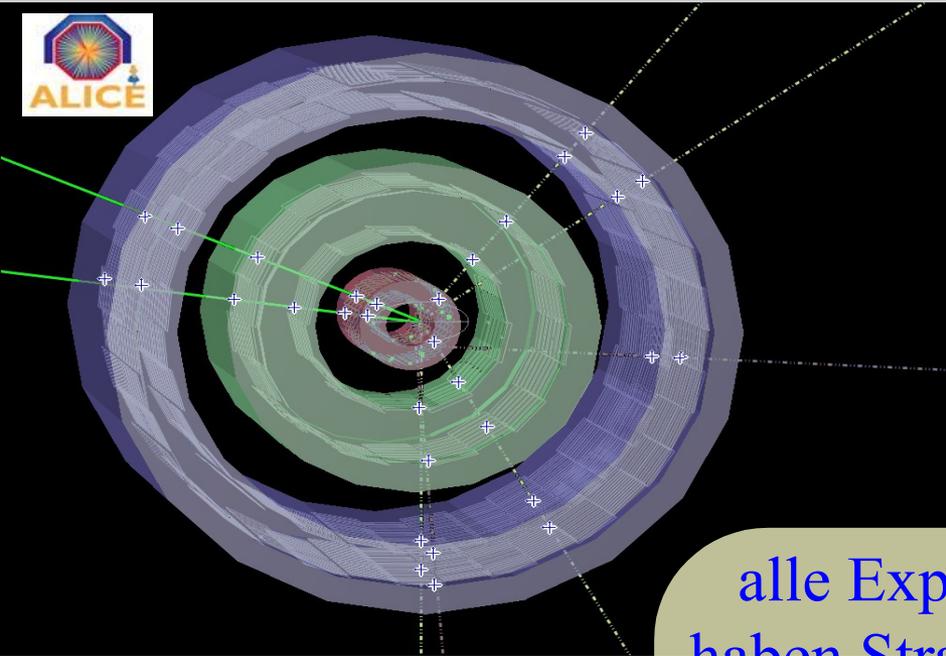


Beschleuniger
LHC

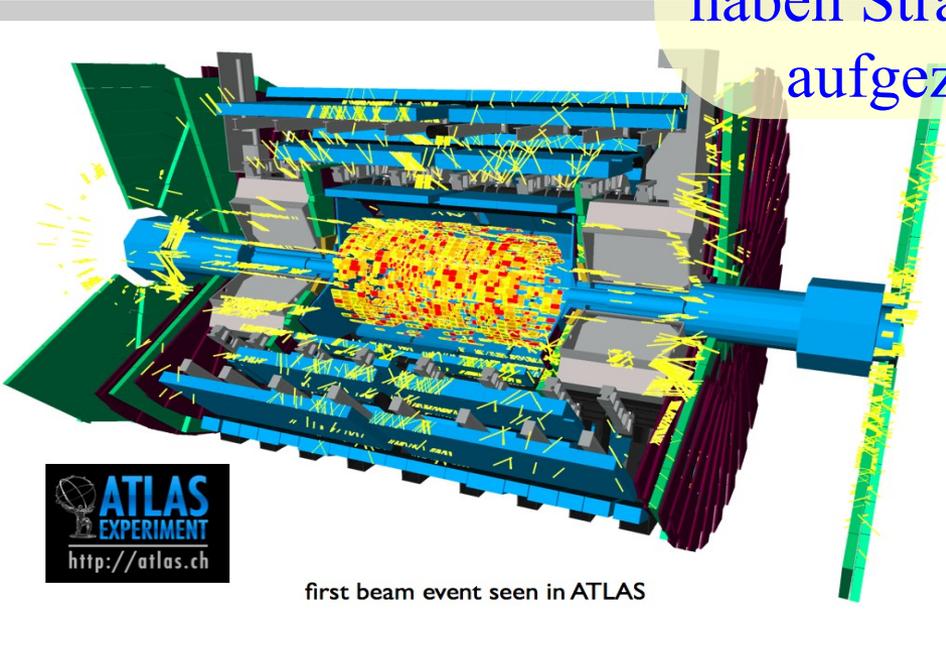
- radiation
- particles
- W^+ } heavy particles carrying the weak force
- W^- }
- Z }
- quark
- anti-quark
- electron
- \bar{e} positron (anti-electron)
- proton
- neutron
- meson
- H hydrogen
- D deuterium
- He helium
- Li lithium

WELT MASCHINE

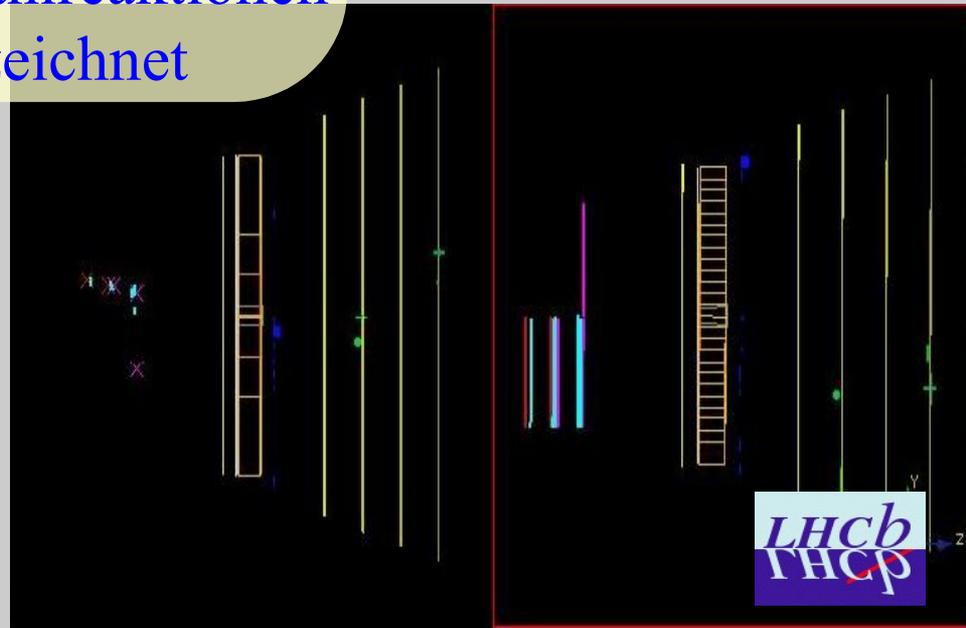
LHC-Start: Erster Strahl im LHC am 10. Sept. 2008



alle Experimente
haben Strahlreaktionen
aufgezeichnet



first beam event seen in ATLAS



Film:

LHC Start



Was werden wir finden?

- Das Higgs-Boson ? **wahrscheinlich**
- SuperSymmetrie, ein Erklärung für die dunkle Materie ? **möglich**
- Quantengravitation, schwarze Löcher ? **spekulativ**
- „krumme“ Raumzeit bei kleinen Abständen von 10^{-19} m ?
- „Exotica“ ???

Es wird also spannend,
bleiben Sie online !



Vielen Dank
für Ihr Interesse

WELT MASCHINE

DIE KLEINSTEN TEILCHEN UND GRÖSSTEN RÄTSEL
DES UNIVERSUMS
AUSSTELLUNG IM U-BAHNHOF BUNDESTAG, BERLIN

15.10. – 16.11.2008 • MO – SO 10 – 19 UHR • DO 10 – 22 UHR • WWW.DIEWELTMASCHINE.DE



Mehr gibt es in Berlin,
15.10. - 16.11 2008,
U-Bahnhof Bundestag

<http://www.weltmaschine.de>

Begleitprogramm zur Ausstellung

Die Suche nach dem Ursprung der Welt (Themenabend)

22. Oktober 2008, 20 Uhr

Mit: Prof. Dr. M. von Brück, Professor für Religionswissenschaft, München, Dr. R. Landua, CERN, Genf und Dr. H.-J. Simm, Programmleiter edition unseld, Frankfurt a. M.

Berlin trifft CERN (Vortragsabend)

28. Oktober 2008, 19 Uhr

Mit: Prof. Dr. G. Quast, Karlsruher Institut für Technologie, Dr. R. Schmidt, CERN, R. Lublow, Babcock-Noell GmbH, Dr. S. Zimmermann, Universität Freiburg und O. Ehrmann, Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration Berlin
Moderation: F. Grotelüschen, Wissenschaftsjournalist, Hamburg

Begleitprogramm zur Ausstellung

Teilchenphysikshow

14. bis 16. November 2008

Die Physikshow der Universität Bonn gibt mit spannenden Live-Experimenten einen unterhaltsamen Einblick in die Teilchenphysik.

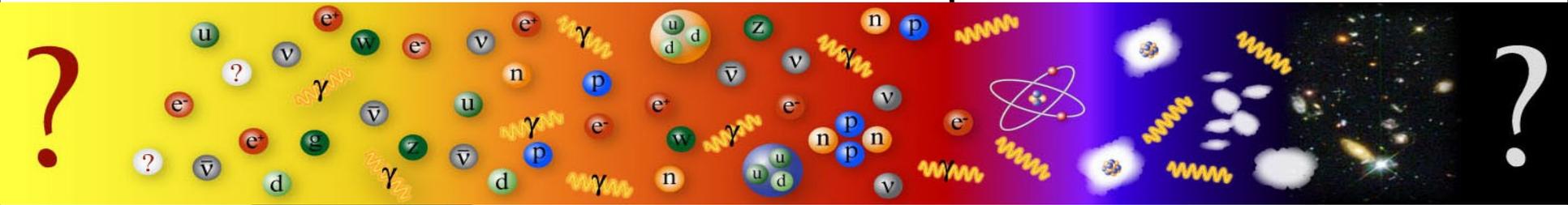
Vorstellungen

14. November: 16 Uhr

15. November: 11 und 16 Uhr

16. November: 12 Uhr

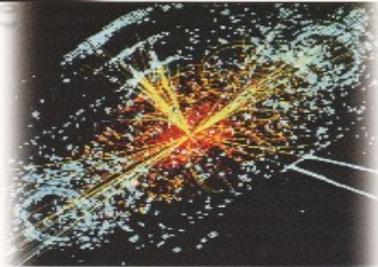
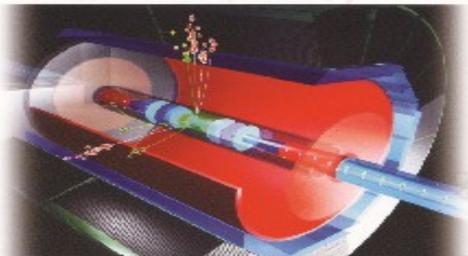
Weitere Informationsquellen:



Komitee für
Elementarteilchenphysik
KET

Teilchenphysik in Deutschland

Status und Perspektiven



- www.teilchenphysik.de
- www.welt-der-physik.de
- cern.ch/PhysicsTeaching
- www.cern.ch (englisch)
- „Physik am Samstag“ bzw. Sondervorlesungen an verschiedenen Universitäten

www.ketWeb.de/ketStudie/ketStudie.html