

Willkommen am CERN

Das europäische Forschungszentrum für Teilchenphysik
(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)



Einführung CERN

Der LHC Beschleuniger

CERN wurde 1954 gegründet: 12 europäische Länder “Wissenschaft für den Frieden”

Heute: 21 Mitgliedsländer (zuletzt: Israel, 6. Jan 2014)

~ 2500 Angestellte

~ 1000 weiteres Personal

> 11000 “Benutzer”

Budget (2013) ~1250 MSFr

Mitgliedsländer: Österreich, Belgien, Bulgarien, Tschechische Republik, Dänemark, Finnland, Frankreich, **Deutschland**, Griechenland, Ungarn, Israel, Italien, Niederlande, Norwegen, Polen, Portugal, Slowakei, Spanien, Schweden, Schweiz und Großbritannien

Beitrittskandidaten: Rumänien

Assoziierte Mitglieder in der Vorstufe zur Mitgliedschaft: Serbien

Staaten mit der Absicht auf (assoziierte) Mitgliedschaft:

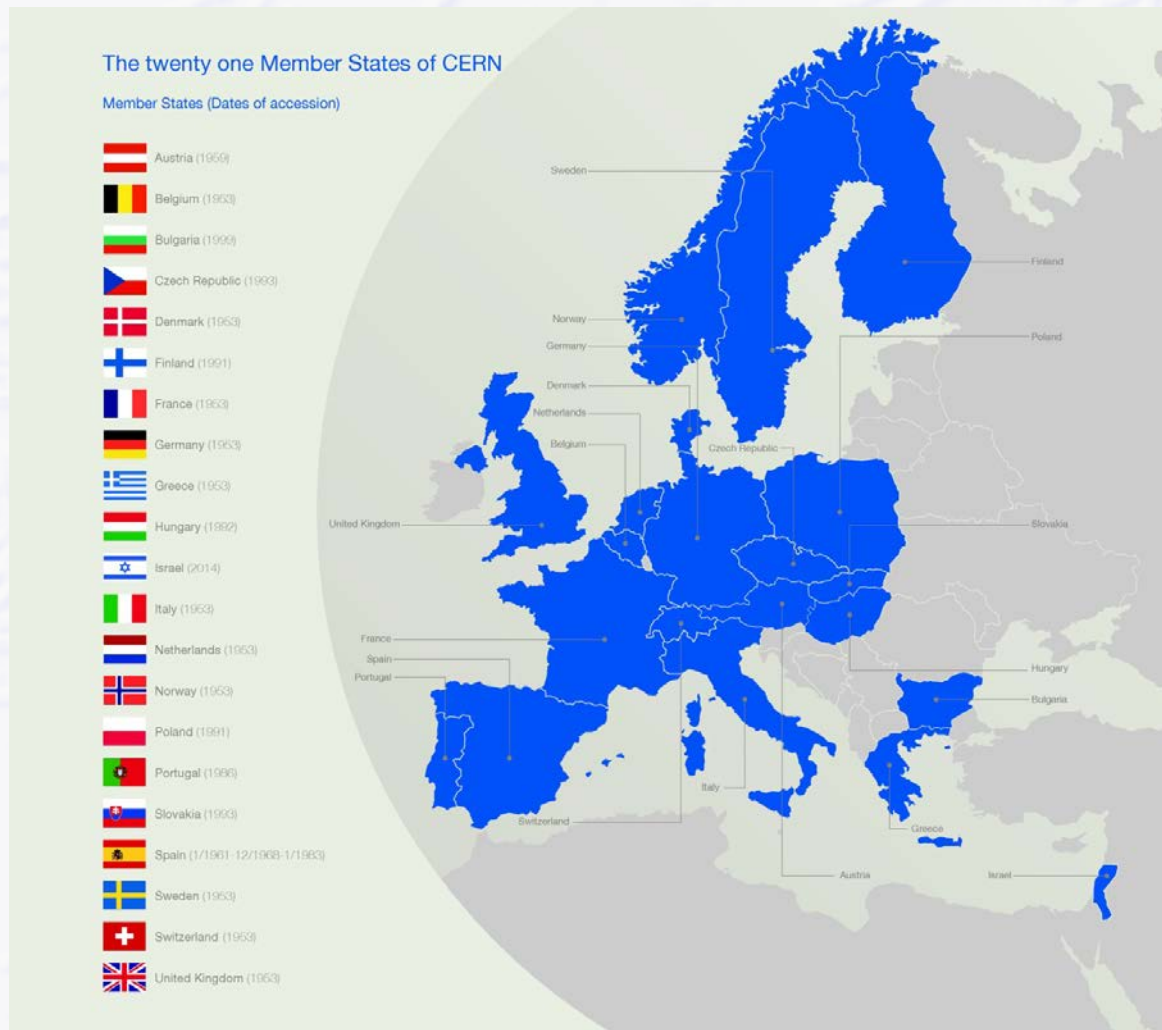
Brasilien, Zypern (vorbehaltlich Ratifizierung), Pakistan, Rußland, Slowenien, Türkei (vorbehaltlich Ratifizierung), Ukraine (vorbehaltlich Ratifizierung)

Beobachter: Indien, Japan, Rußland, Türkei, Vereinigte Staaten von Amerika; Europäische Kommission und UNESCO



CERN Budget 2013: 1246.5 MSFr

- Entspricht mittelgroßer Universität
- Anteilig nach Bruttosozialprodukt



Country	Contribution [%]
Austria	2.22
Belgium	2.77
Bulgaria	0.28
Czech Republic	1.07
Denmark	1.77
Finland	1.43
France	15.57
Germany	20.29
Greece	1.79
Hungary	0.68
Italy	11.78
Netherlands	4.61
Norway	2.50
Poland	2.72
Portugal	1.23
Slovak Republic	0.51
Spain	8.53
Sweden	2.55
Switzerland	3.19
United Kingdom	14.51

Deutschland und CERN

- (West-)Deutschland ist einer der ersten 12 CERN Gründerstaaten (1954)

→ Werner Heisenberg (Nobelpreisträger 1932) (unterzeichnete CERN Vertragsurkunde)

- Teilchenphysik hatte immer eine hohe Bedeutung in Deutschland

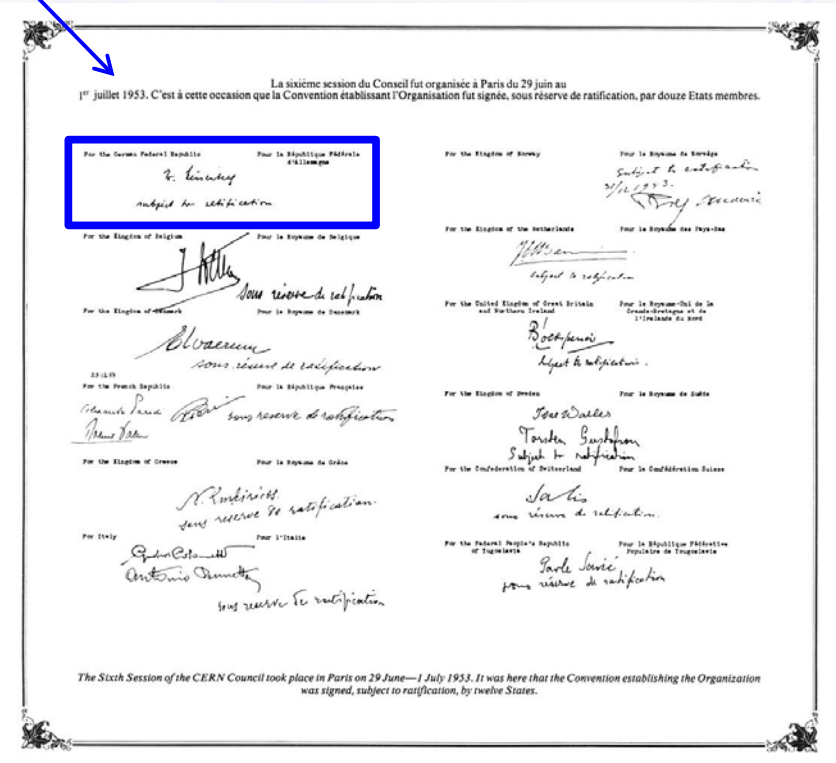
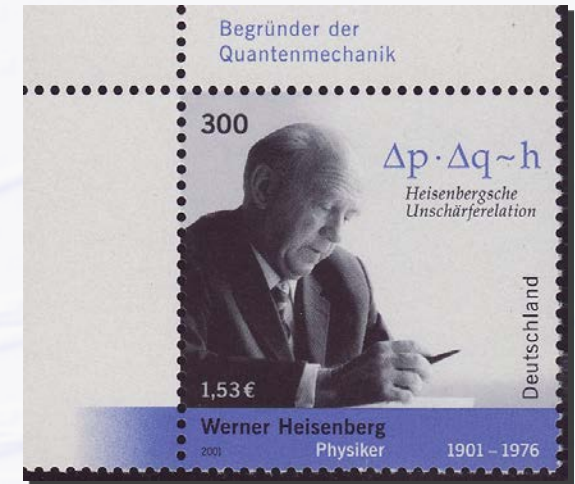
→ Nationales Labor: DESY (HH, Zeuthen)

→ Internationales Labor mit starker deutscher Beteiligung: CERN

- Zwei deutsche CERN General-Direktoren (beide vormals DESY)

→ **Herwig Schopper** (1981 – 1988)

→ **Rolf-Dieter Heuer** (2009 – 2015)



Teilchenphysik in Deutschland

Universitäten und Forschungszentren in Deutschland

- **Universitäten mit sowohl experimenteller und theoretischer Teilchenphysik: 14**
- **Universitäten mit entweder experimenteller oder theoretischer Teilchenphysik: 12**
- **Forschungszentren (Standorte) ausserhalb Universitäten: 6**

- gelb:** Universität (exp. und theo.)
- grau:** Universität (exp. oder theo. oder IT)
- rot:** Forschungszentrum (ausserhalb Universität)



Der Beginn von CERN

● 1946

- erste Ideen zur Gründung einer internationalen (europäischen) Wissenschaftsorganisation unmittelbar nach dem 2. Weltkrieg

● Dezember 1949

- erster konkreter Vorschlag bei der UNESCO Conference in Lausanne

● Dezember 1951 und Februar 1952

- Unterzeichnung eines Regierungsabkommen bei der UNESCO zur Gründung eines vorläufigen CERN Rates

● 4. Oktober 1952

- vorläufiger CERN Rat entscheidet sich für Genf als Standort (andere Vorschläge: Arnheim, Kopenhagen, Paris)

- Gebäude verfügbar, bereits internationale Gemeinschaft, Neutralität

● 29. September 1954

- Abkommen unterzeichnet von 9/12 Ländern, **offizieller CERN-Geburtstag**

Frühe Fotos

Sur le terrain du futur institut nucléaire

Begehung des zukünftigen Standorts in Meyrin (30. Oktober 1953)



Sous la conduite de M. A. Picot, les membres du Conseil européen pour la recherche nucléaire se sont rendus hier à Meyrin pour reconnaître le terrain où s'élèvera le Centre nucléaire (voir en Dernière heure)

(Photo Freddy Bertrand, Genève)

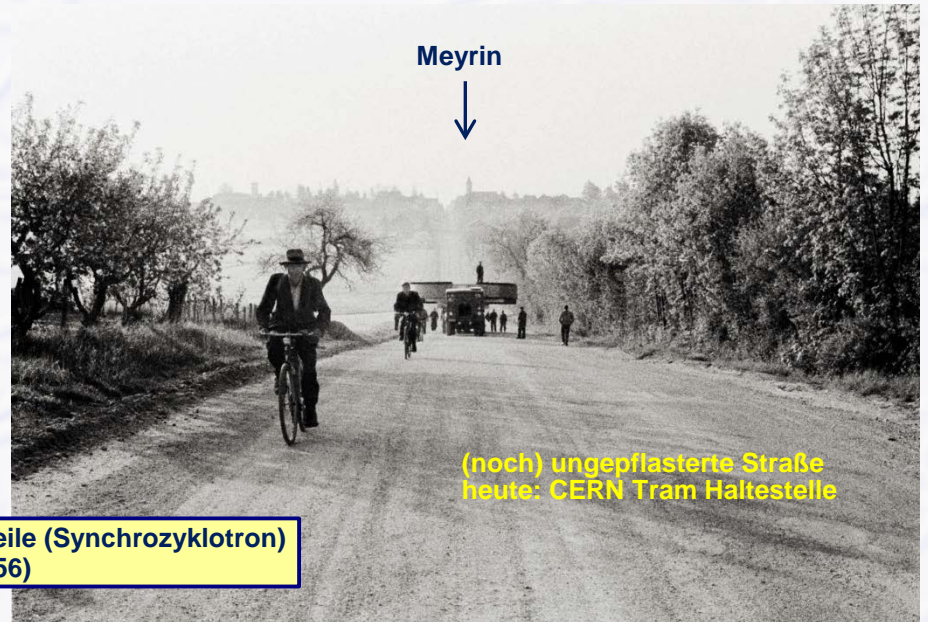
La Suisse du 30 octobre 1953



erste Bauarbeiten (17. Mai 1954)



Transport der ersten Beschleunigerteile (Synchrozyklotron) durch Meyrin (1956)



Meyrin
↓

(noch) ungepflasterte Straße heute: CERN Tram Haltestelle

CERN heute

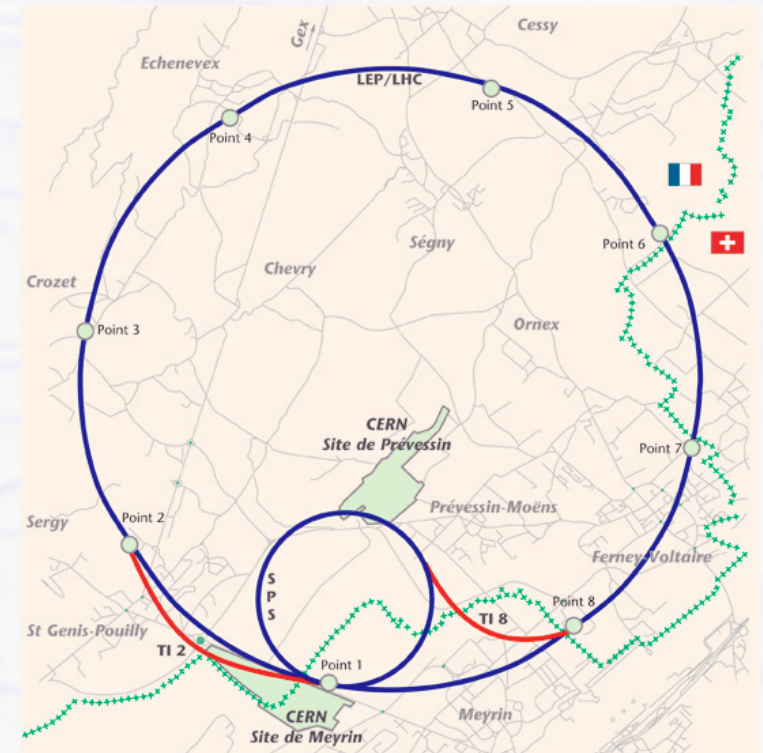
● 2 grosse Standorte

→ Meyrin (Schweiz, mit Erweiterung nach Frankreich Ende 1960er Jahre)

→ Preveessin (Frankreich, seit 1970er Jahre, zunächst eigenständig)

● 8 kleinere Standorte entlang des LHC Tunnels (in CH, F)

● weitere kleinere Standorte (SPS, LHC Magnethalle usw.)



CERN Organisation

CERN Council

Präsidentin: A. Zalewska

21 Mitgliedsstaaten
2 Delegierte
1 Beitrittskandidat
2 Delegierte
1 Assoziierter Mitgliedsstaat
2 Delegierte
Ex-Officio Mitglieder
Verschiedene Beobachter auf Einladung

Finance Committee

Vorsitzender: C. Jamieson

21 Mitgliedsstaaten
2 Delegierte
1 Beitrittskandidat
2 Delegierte
1 Assoziierter Mitgliedsstaat
2 Delegierte
Ex-Officio Mitglieder
Verschiedene Beobachter auf Einladung

Scientific Policy Committee

Vorsitzender: T. Nakada

16 individuelle Mitglieder
Ex-Officio Mitglieder
Vorsitzende der Experiment- und Beschleuniger-Komitees
mehrere ständig Eingeladene
z.B. Generaldirektor

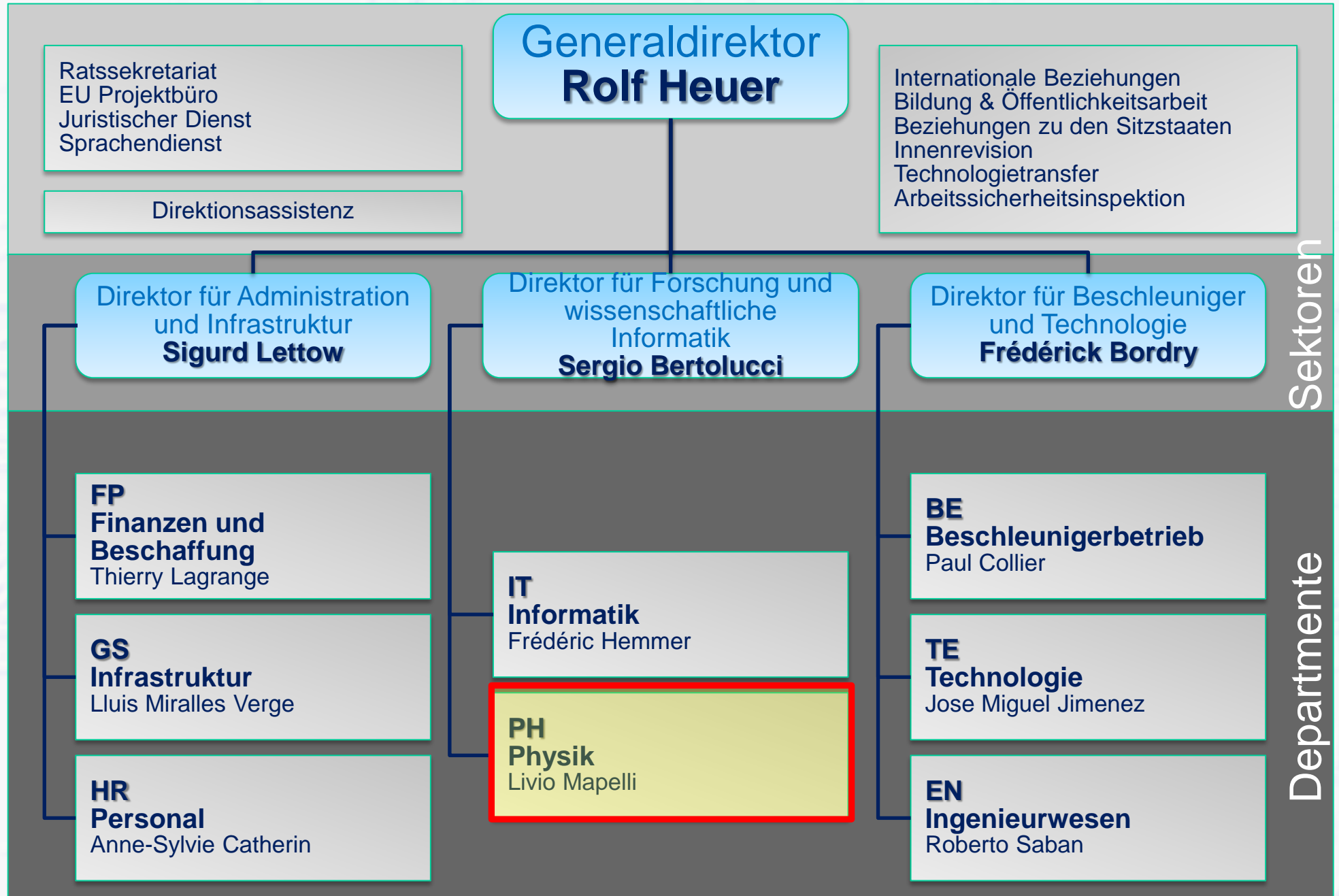
Tripartite Employment Forum

Vorsitzender: B. Dormy

Pension Fund Governing Board

Vorsitzender: T. Roth

CERN Management



Sektoren

Departmente

181 (V)VIP Visits 2013

Member States: 87

Austria 3
Belgium 5
Bulgaria 1
Czech Republic 3
Finland 1
France 9
Germany 8
Greece 4
Hungary 3
Italy 7
Netherlands 5
Norway 3
Poland 7
Portugal 1
Slovak Republic 2
Spain 3
Sweden 1
Switzerland 7
United Kingdom 14

Associate Member and Observers: 38

European Commission 3
India 4
Israel 7
Japan 6
Russian Federation 5
Turkey 6
UNESCO 1
United States of America 6



EU High Representative
Lady Ashton

International Organisations Special events: 19

- International Organisations 12
- DG's New Year Reception
- Inaugural Fundamental Physics Prize Ceremony
- Passeport Big-Bang
- ILC Handover event
- Visits for CERN Delegates 3

US Former Vice President Gore



UA Vice Prime Minister Gryschenko



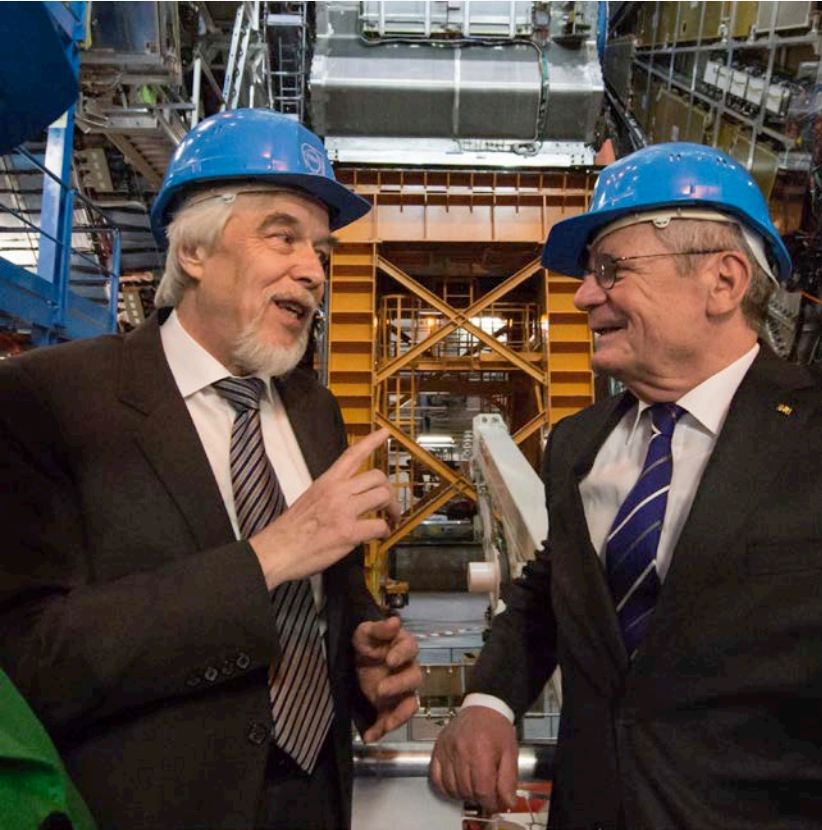
PL Deputy Minister Styczen, CZ Deputy Minister Braun and SK State Secretary Palko



NMS: 37

Australia 1
Bangladesh 1
Brazil 2
Burkina Faso 1
Canada 1
Chile 1
China 1
Chinese Taipei 2
Colombia 1
Cuba 1
Cyprus 1
Dominican Republic 1
Estonia 1
Georgia 1
Ireland 1
Jamaica 1
Korea 3
Lesotho 1
Lithuania 1
Mexico 2
Mongolia 2
Nigeria 1
New Zealand 2
Pakistan 2
Panama 1
Sri Lanka 1
Thailand 1
Ukraine 2

Deutsche Prominenz am CERN



**Bundespräsident Joachim Gauck,
April 2014**



**Bundeskanzlerin Angela Merkel,
April 2008**

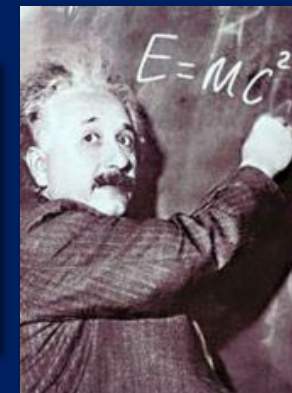
- **+ Ministerinnen für Bildung und Forschung (Johanna Wanka, vormals Annette Schavan, Edelgard Bulmahn), weitere Landesminister, Staatssekretäre, Uni-Rektoren...**



Die Aufgaben von CERN

□ **Vorantreiben** der Grenzen des Wissens

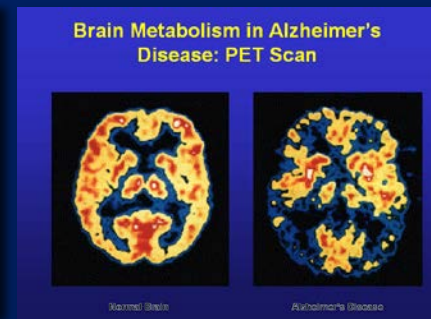
den Urknall erforschen ...wie und was war die Materie in den ersten Momenten nach dem Urknall?



□ **Entwicklung** neuer Techniken für Beschleuniger und Detektoren

Informationstechnologie - das Web

Medizin - Diagnose und Therapie



Research

□ **Ausbildung** von Wissenschaftlern und Ingenieuren von morgen



□ **Zusammenführen** von Menschen aus verschiedenen Ländern und Kulturen

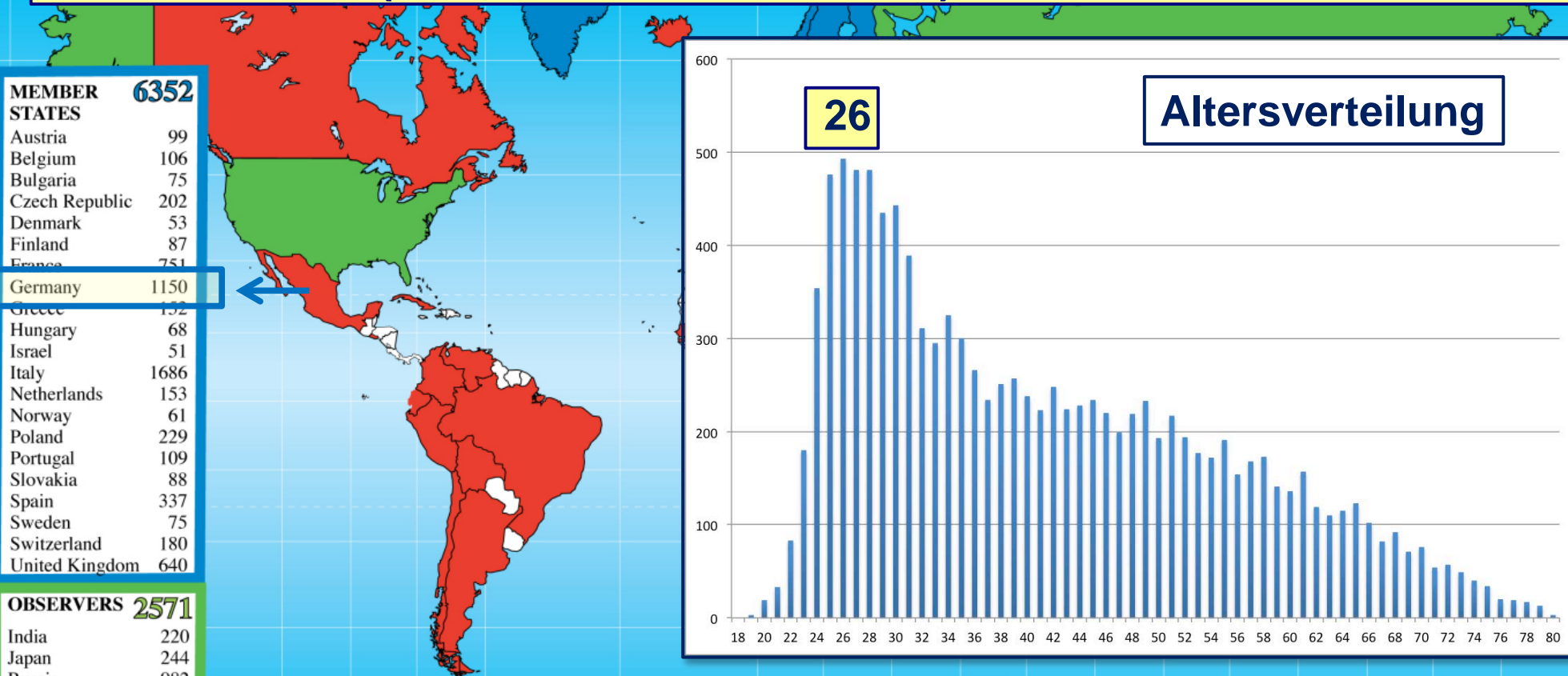


Aufgabenteilung im CERN

- Hauptanteil der CERN Angestellten: **Ingenieure und Techniker**
 - nur 13% Physiker
- CERN ist beides:
Technologielabor + wissenschaftliches Zentrum
 - CERN Angestellte: **Technologie** (hauptsächlich)
 - Design, Bau und Betrieb grosser Beschleunigeranlagen (Infrastruktur “provider”)
 - CERN “Benutzer” aus Universitäten und anderen Forschungszentren: **Wissenschaft** (hauptsächlich)
 - Design, Bau, Betrieb der Teilchendetektoren und Physikdatenanalyse
- Teilchenkollisionen sind Schnittstelle zwischen CERN Angestellten und Gastwissenschaftlern
 - Erzeugung der Kollisionen: CERN Angestellte
 - Analyse der Kollisionsprodukte: Gastwissenschaftler

Distribution of All CERN Users by Nationality on 14 January 2014

~11'000 CERN "Benutzer" (Gastwissenschaftler) aus Instituten in 62 Ländern (~11.3% aus Deutschland) und mit 100 Nationalitäten



MEMBER STATES 6352

Austria	99
Belgium	106
Bulgaria	75
Czech Republic	202
Denmark	53
Finland	87
France	751
Germany	1150
Greece	152
Hungary	68
Israel	51
Italy	1686
Netherlands	153
Norway	61
Poland	229
Portugal	109
Slovakia	88
Spain	337
Sweden	75
Switzerland	180
United Kingdom	640

OBSERVERS 2571

India	220
Japan	244
Russia	982
Turkey	146
USA	979

CANDIDATE FOR ACCESSION 118

Romania	118
---------	-----

ASSOCIATE MEMBERS IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP 41

Serbia	41
--------	----

OTHERS

Afghanistan	1	Bolivia	3	Cuba	7	Iran	28	Madagascar	4	Philippines	1	Tunisia	6
Albania	2	Bosnia & Herzegovina	1	Cyprus	16	Ireland	22	Malaysia	15	Saudi Arabia	3	Ukraine	55
Algeria	8	Brazil	108	Ecuador	3	Jordan	2	Mauritius	1	Senegal	1	Uzbekistan	4
Argentina	11	Cameroon	1	Egypt	19	Kazakhstan	1	Mexico	64	Singapore	2	Venezuela	9
Armenia	25	Canada	134	El Salvador	1	Kenya	1	Montenegro	3	Sint Maarten	2	Viet Nam	9
Australia	25	Cape Verde	1	Estonia	16	Korea, D.P.R.	1	Morocco	12	Slovenia	27	Zimbabwe	2
Azerbaijan	8	Chile	12	Georgia	36	Korea Rep.	117	Nepal	5	South Africa	16		
Bangladesh	4	China	280	Gibraltar	1	Kuwait	1	New Zealand	7	Sri Lanka	5		
Belarus	47	China (Taipei)	45	Hong Kong	1	Lebanon	12	Pakistan	41	Syria	2		
		Colombia	30	Iceland	4	Lithuania	19	Palestine (O.T.)	4	Thailand	12		
		Croatia	35	Indonesia	1	Luxembourg	4	Peru	8	T.F.Y.R.O.M.	1		

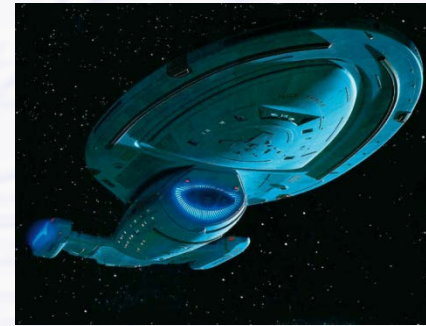
1415

CERN's wissenschaftliche Aufgaben

- **Grundlagenforschung** mit Elementarteilchen bei höchsten Energien (Hochenergiephysik)
 - Bau und Betrieb des weltweit grössten Teilchenbeschleunigers **LHC (Large Hadron Collider)** seit 2009
 - 27km Tunnel, **4 (riesige) Teilchendetektoren** in unterirdischen Kavernen
 - **Wissenschaftliche Ziele**
 - Suche nach dem **Higgs Teilchen (GEFUNDEN!)** + präzise Vermessung der Eigenschaften
 - Suche nach **neuen Teilchen** (z.B. dunkle Materie Teilchen)
- **Weitere Forschungsgebiete (Auswahl):**
 - **Antimaterie** (5 Experimente am Antiprotonen “Entschleuniger” AD)
 - Unterschiede zu Materie, Spektroskopie, Anziehung im Schwerfeld
 - **Neutrinooszillationen** (Neutrinostrahl nach Italien, **OPERA + ICARUS**)
 - Umwandlung von Muon-Neutrinos in Tau-Neutrinos
 - **Proton-Struktur (COMPASS Experiment)**

Antimaterie

- Sehr populär seit Star Trek (Raumschiff Enterprise) und Illuminati
- Antiteilchen** verhalten sich wie normale Teilchen mit gleicher Masse aber mit umgekehrter Ladung



Name	Elektrische Ladung [e]	Masse [GeV/c ²]	Elektrische Ladung [e]	(Anti-) Name
Elektron	- 1	0.0005	+ 1	Positron
Proton	+ 1	0.938	- 1	Antiproton
Neutron	0	0.941	0	Antineutron

Neutron: Ladungen der Quarks im Neutron kehren sich um

Wasserstoff

Anti-Wasserstoff

Wissenschaftliche Vielfalt am CERN

● ISOLDE Radioaktive Ionenstrahlen

- Grundlagenforschung an radioaktiven Isotopen
- neu: MEDICIS (radioaktive Isotope für die Medizinforschung)

● nTOF (neutron Time-of-Flight Facility)

- nukleare Astrophysik + Kernphysik, Dosimetrie + Strahlungsschäden

● CLOUD Experiment

- Einfluß von kosmischer Strahlung auf die Wolkenbildung

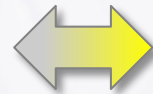
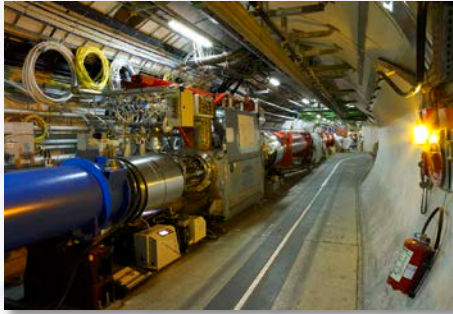


● AMS (Alpha Magnetic Spectrometer)

- Suche nach Antimaterie in kosmischer Strahlung
- Auf der International Space Station mit vorletztem Space Shuttle Flug STS-134 im Mai 2011
- AMS Kontrollzentrum am CERN

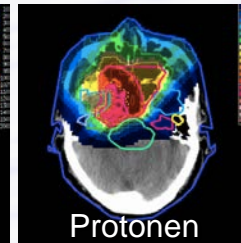
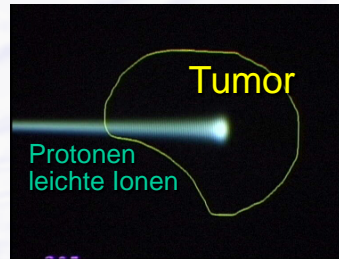


“Spin-offs” der Teilchenphysik: medizinische Anwendungen



Hadronentherapie

Beschleunigte Teilchenstrahlen
~30'000 Beschleuniger weltweit
davon ~17'000 für medizinische Zwecke



Europa und Japan
sind führend in
Ionenstrahltherapie

>70'000 Patienten weltweit behandelt (30 Anlagen)
davon >21'000 Patienten in Europa (9 Anlagen)

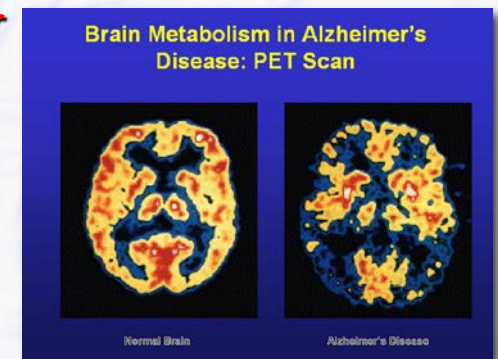
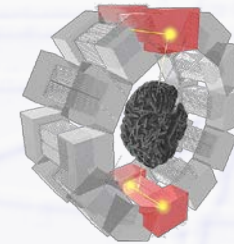


Nachweis von
Teilchen



Bildgebung PET Scanner

Klinischer Test in
Portugal eines neuen
Brustdarstellungs-
Systems (ClearPEM)



PET = Positron Electron Tomography
(Positronen = Antimaterie)

CERN: "Where the Web was born..."

Die Idee von Tim Berners-Lee
(März 1989):

Kommentar des Chefs:
"Vague but exciting..."



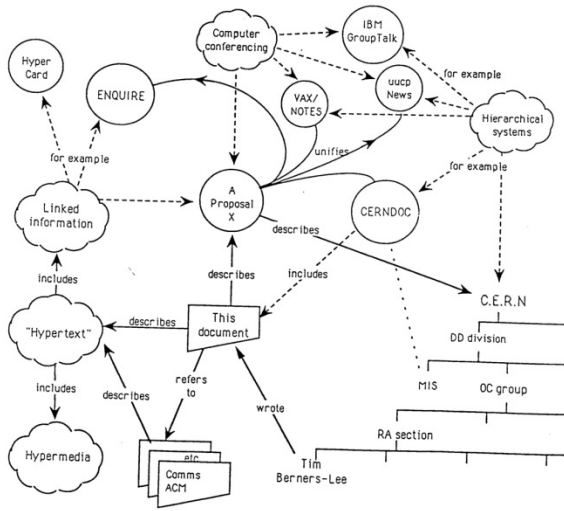
CERN DD/OC
Information Management: A Proposal
Tim Berners-Lee, CERN/DD
March 1989

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.

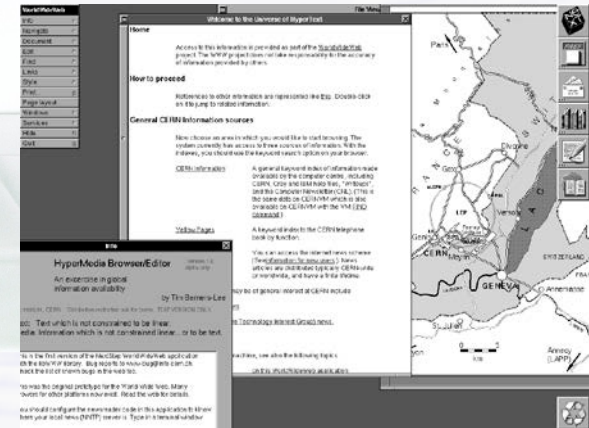
Keywords: Hypertext, Computer conferencing, Document retrieval, Information management, Project control



Der erste Web Server: ein NEXT computer
(Januar 1990)



Screenshot



2 Jahre später im Büro
(Februar 1991)

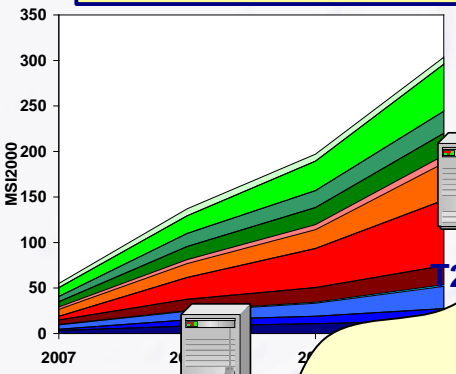


20. Jahrestag
(März 2009)

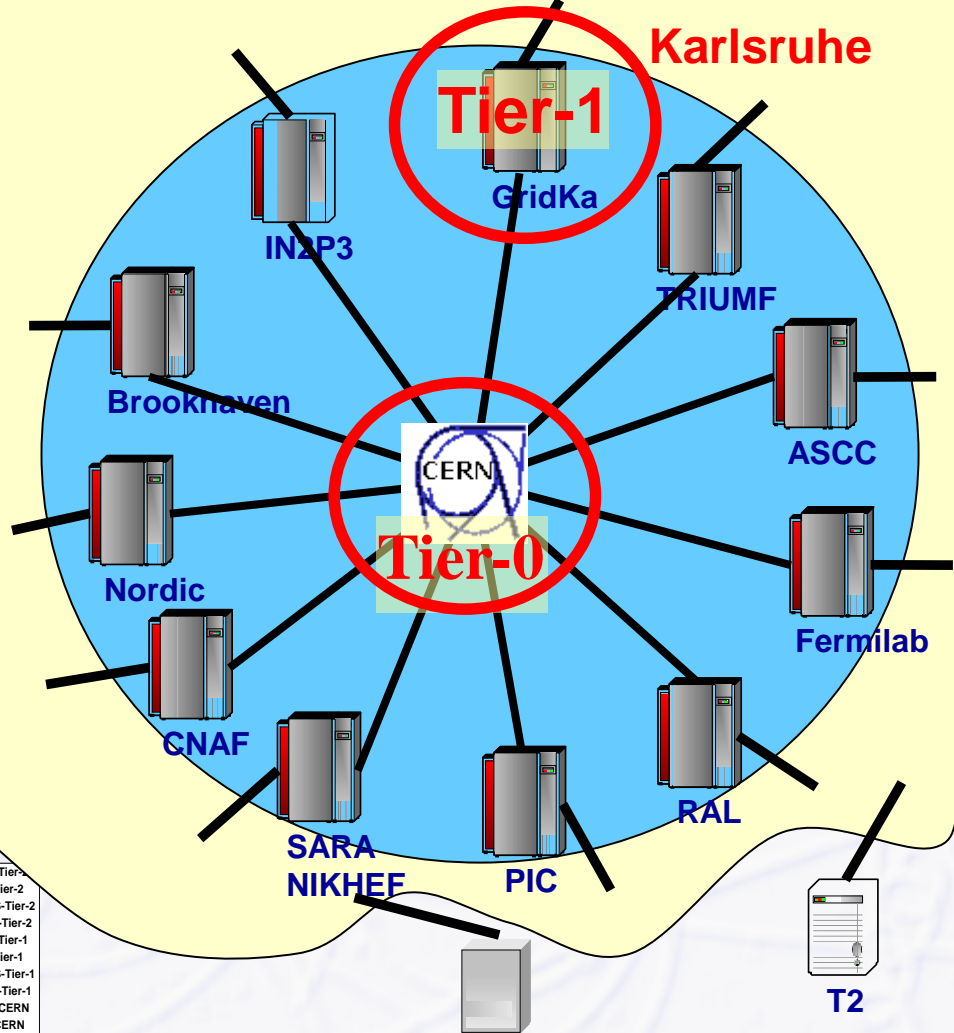
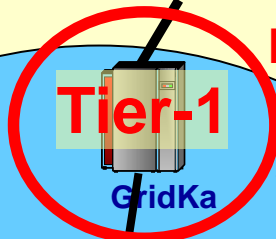
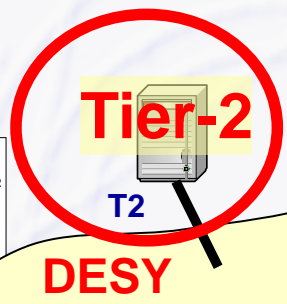
Anstieg ~100 MSI2k/year
~10'000 Intel Core 2 Duo / Jahr

1 Tier-0
10 Tier-1
~100 Tier-2

Das Grid



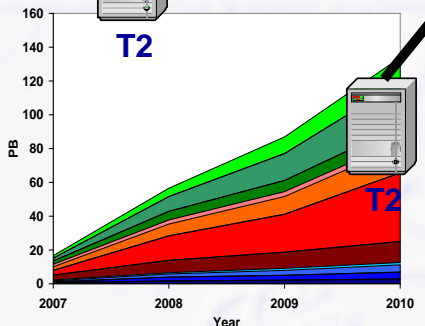
- LHCb-Tier-2
- CMS-Tier-2
- ATLAS-Tier-2
- ALICE-Tier-2
- LHCb-Tier-1
- CMS-Tier-1
- ATLAS-Tier-1
- LHCb-CERN
- CMS-CERN
- ATLAS-CERN
- ALICE-CERN



CPU

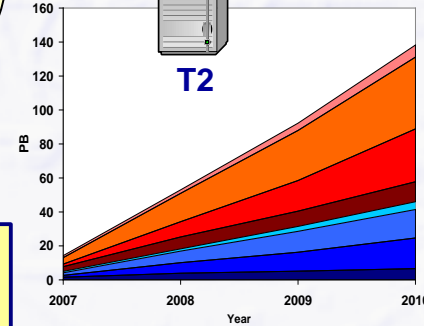
Disk

Tape



- LHCb-Tier-2
- CMS-Tier-2
- ATLAS-Tier-2
- ALICE-Tier-2
- LHCb-Tier-1
- CMS-Tier-1
- ATLAS-Tier-1
- ALICE-Tier-1
- LHCb-CERN
- CMS-CERN
- ATLAS-CERN
- ALICE-CERN

LHC Datenmenge 2010-12: 75 PB
(17'000 disks + 52'000 tapes am CERN)



- LHCb-Tier-1
- CMS-Tier-1
- ATLAS-Tier-1
- ALICE-Tier-1
- LHCb-CERN
- CMS-CERN
- ATLAS-CERN
- ALICE-CERN

Ausbildungsprogramme am CERN

- **Summer Students (2 – 3 Monate, ~250 Studenten/Jahr)**
 - Studierende nach dem 3. Studienjahr, hauptsächlich Physik, auch Informatik und Ingenieurwissenschaften
 - Vorlesungen + Arbeit in einer CERN Gruppe (kleines Projekt)
- **Technical Students (6 – 12 Monate, ~160 Studenten)**
 - Diplom und Masterstudenten in technischen Bereichen
- **Doctoral Students (2 – 3 Jahre, ~180 Studenten)**
 - technische Themen (keine Auswertung von Physikdaten, z.B. LHC-Daten, keine theoretische Physik)
- **Fellows (2 – 3 Jahre, ~600 Fellows)**
 - Junior-Fellowships: technischer Abschluß erforderlich, keine Promotion
 - Senior-Fellowships (Post-Doc): Promotion erforderlich

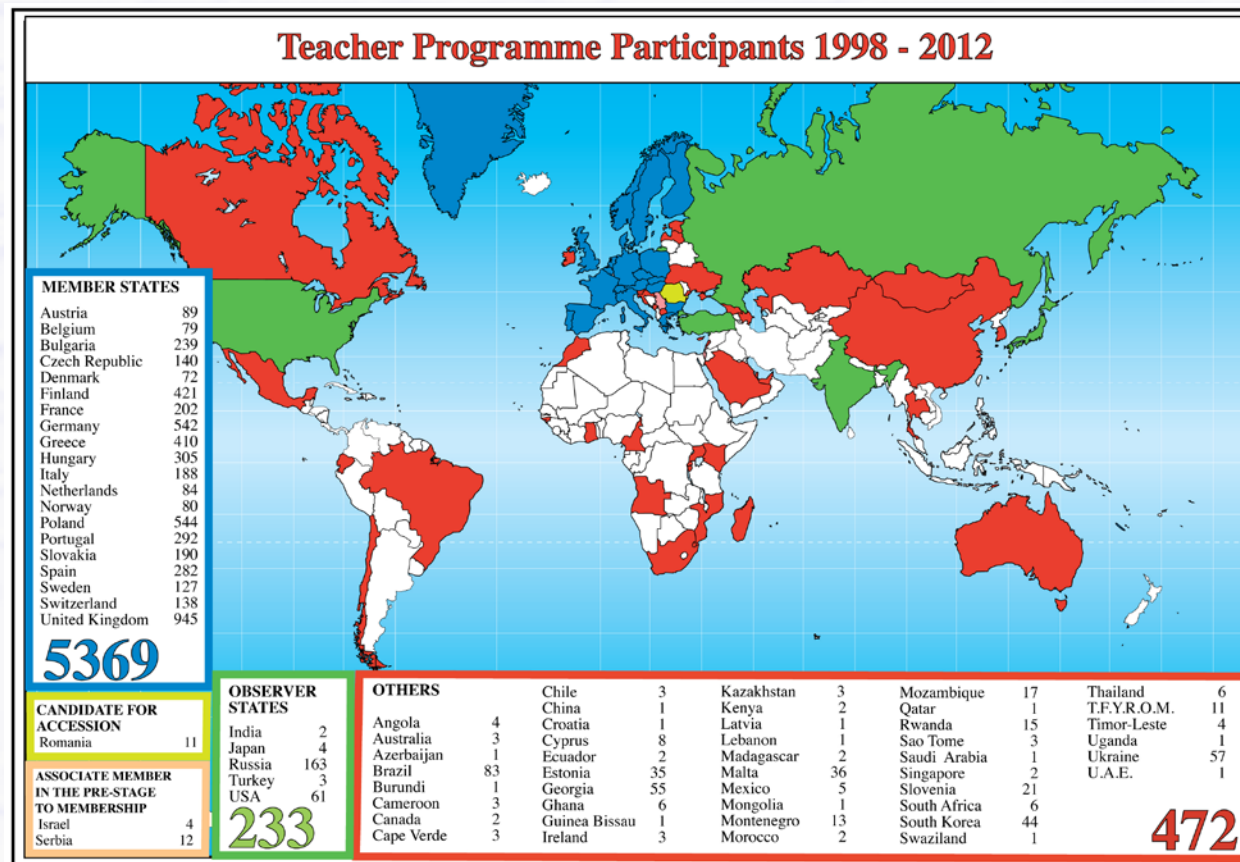
Lehrerausbildung

High School Teachers Programme (HST)

→ 3 Wochen im Sommer, ~40-50 Teilnehmer/Jahr, auf Englisch

National Teacher Programmes (1 week)

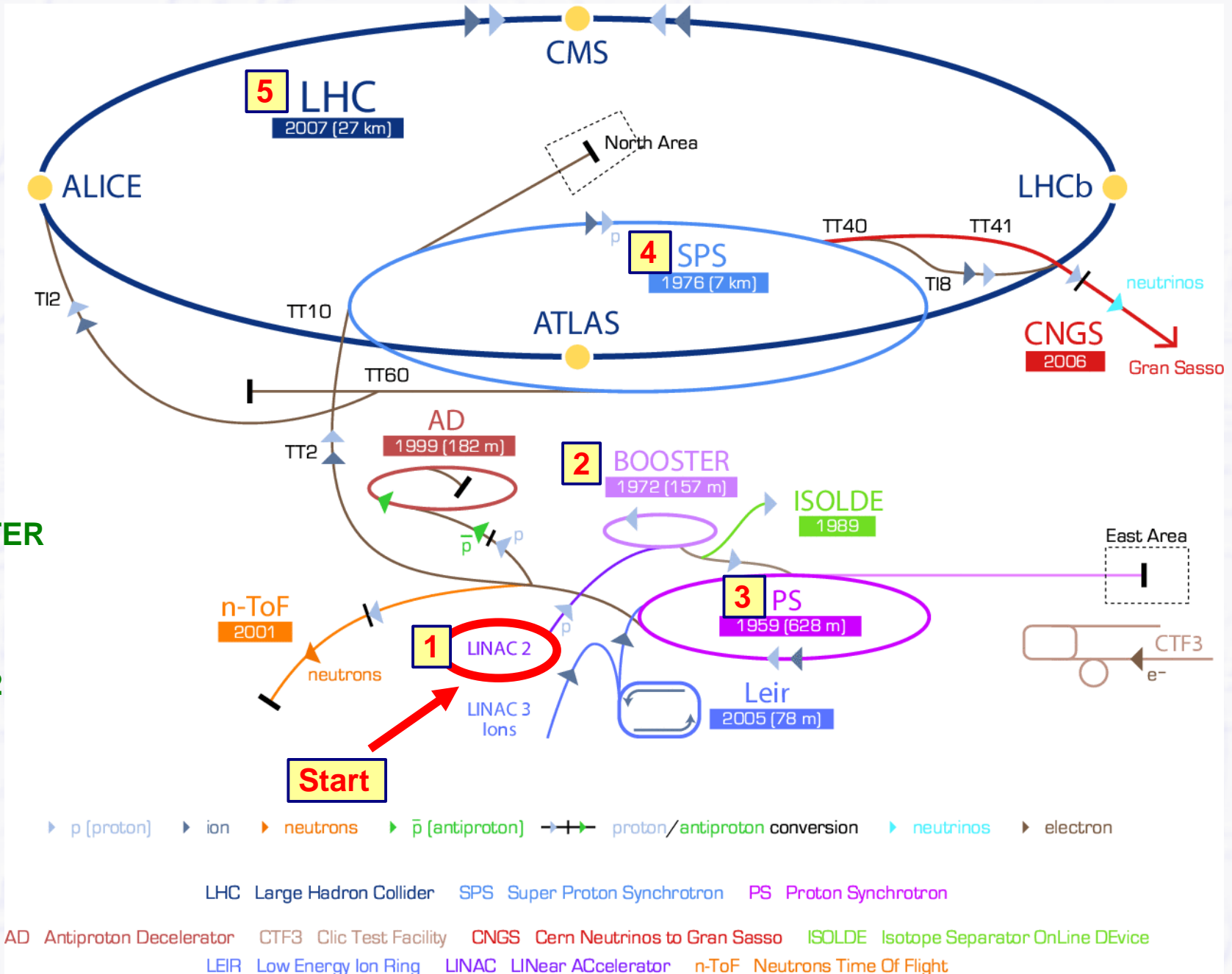
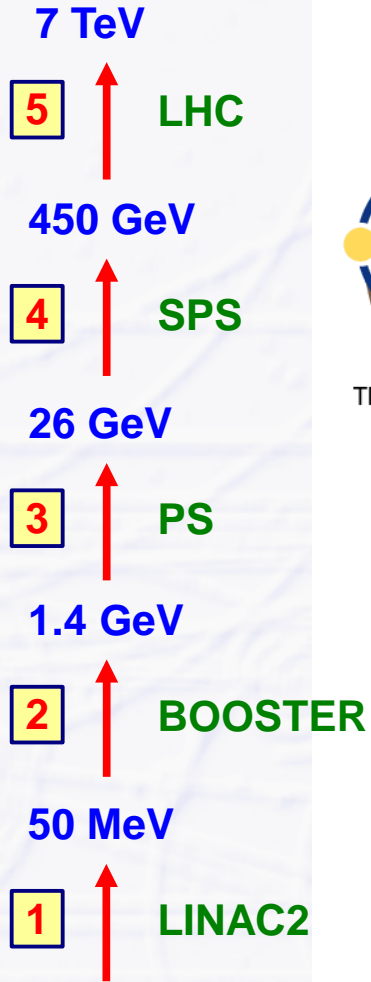
→ 24 Länder/Sprachen, ~25 Kurse/Jahr, ~500 Lehrer/Jahr



~6100 Physik-Lehrer
in 15 Jahren



CERN Beschleuniger Komplex



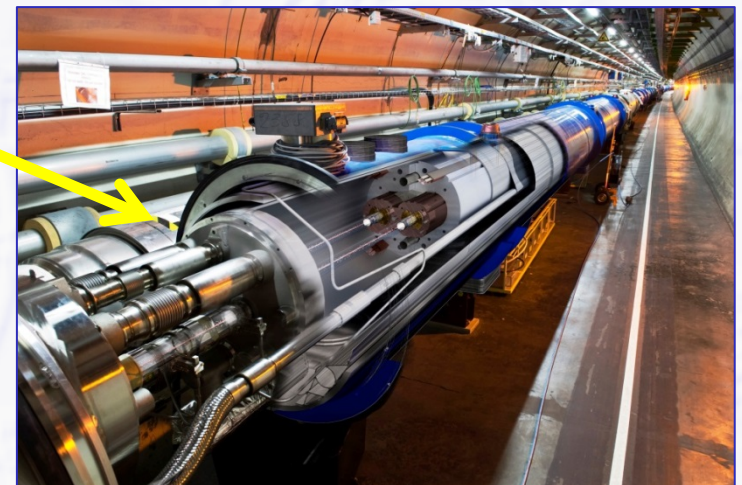
LHC Tunnel

- Umfang: 27 km
- Durchmesser: 3.8 m



- Umfangreiche Spitzentechnologien

- Supraleitung
- Magnete
- Vakuum
- Hochfrequenz
- Strahlkontrolle
- Sicherheit



gespeicherte LHC Strahlenergie

→ 2808 Teilchenbündel, 1.1×10^{11} Protonen/Bündel @ 7 TeV

● 350 MJ gespeicherte Energie pro Protonstrahl

Airbus A320 (78 t) bei 340 km/h



ICE 3 Zug (420 t) bei 147 km/h



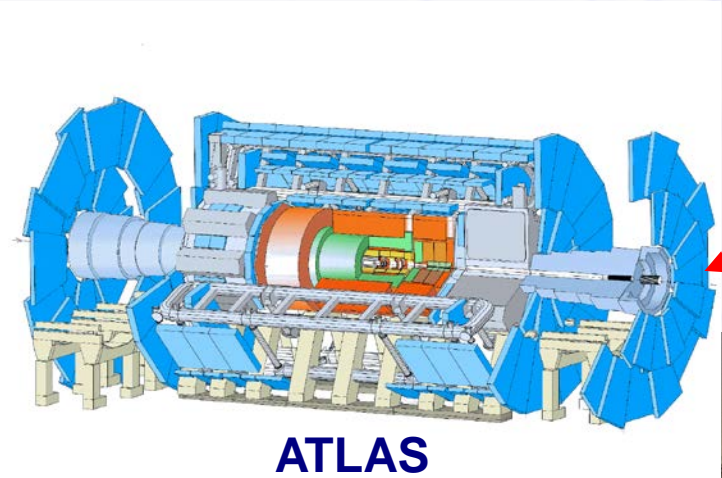
Queen Mary 2 (150'000 t) bei 4.2 Knoten (7.8 km/h)



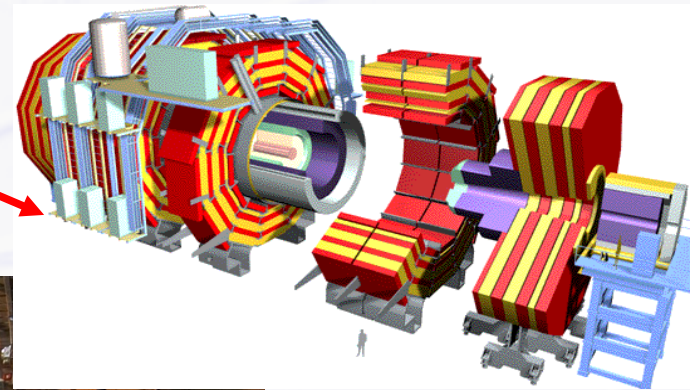
Größtes Problem bei LHC ist die Kontrolle der gespeicherten Energie

LHC Detektoren

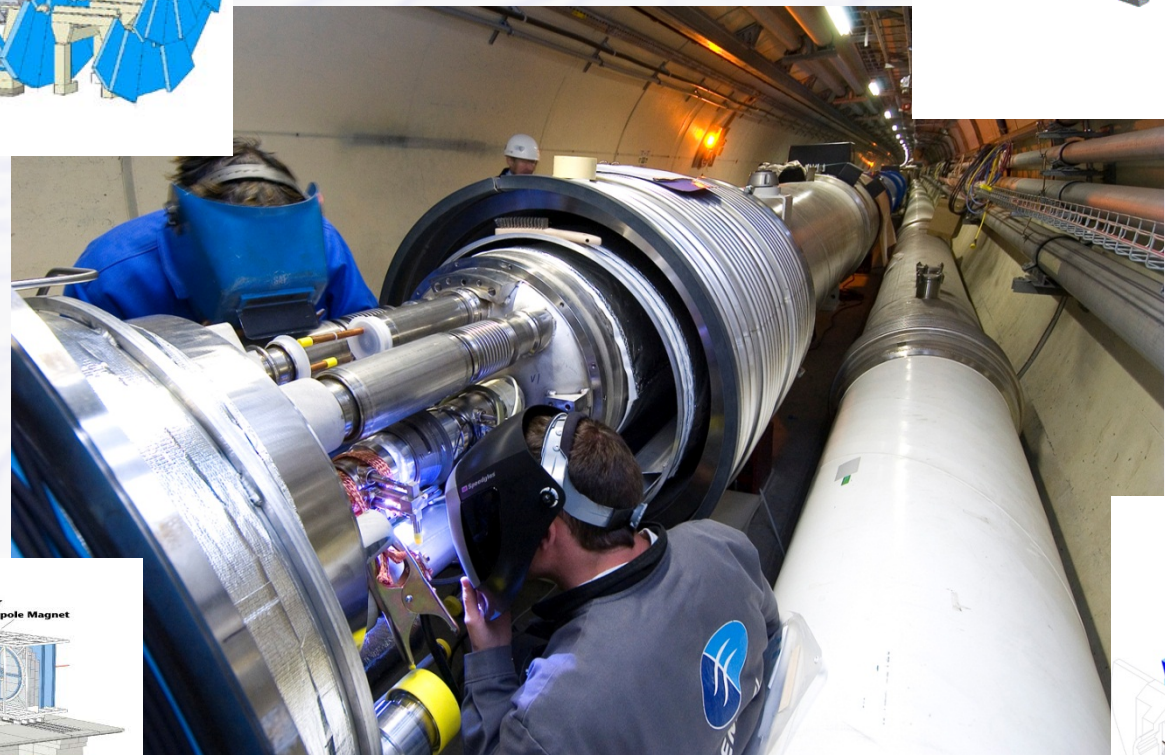
Vielzweckdetektoren
(gut für alles...)



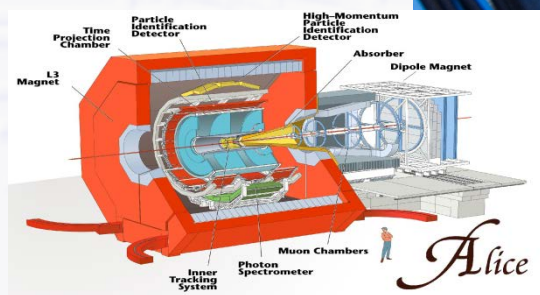
ATLAS



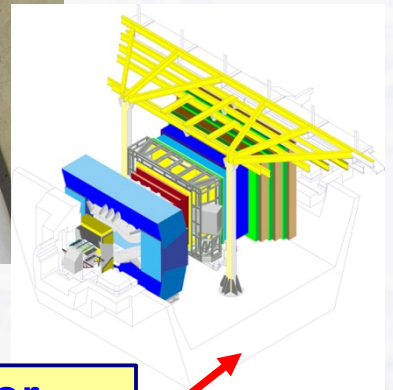
CMS



ALICE



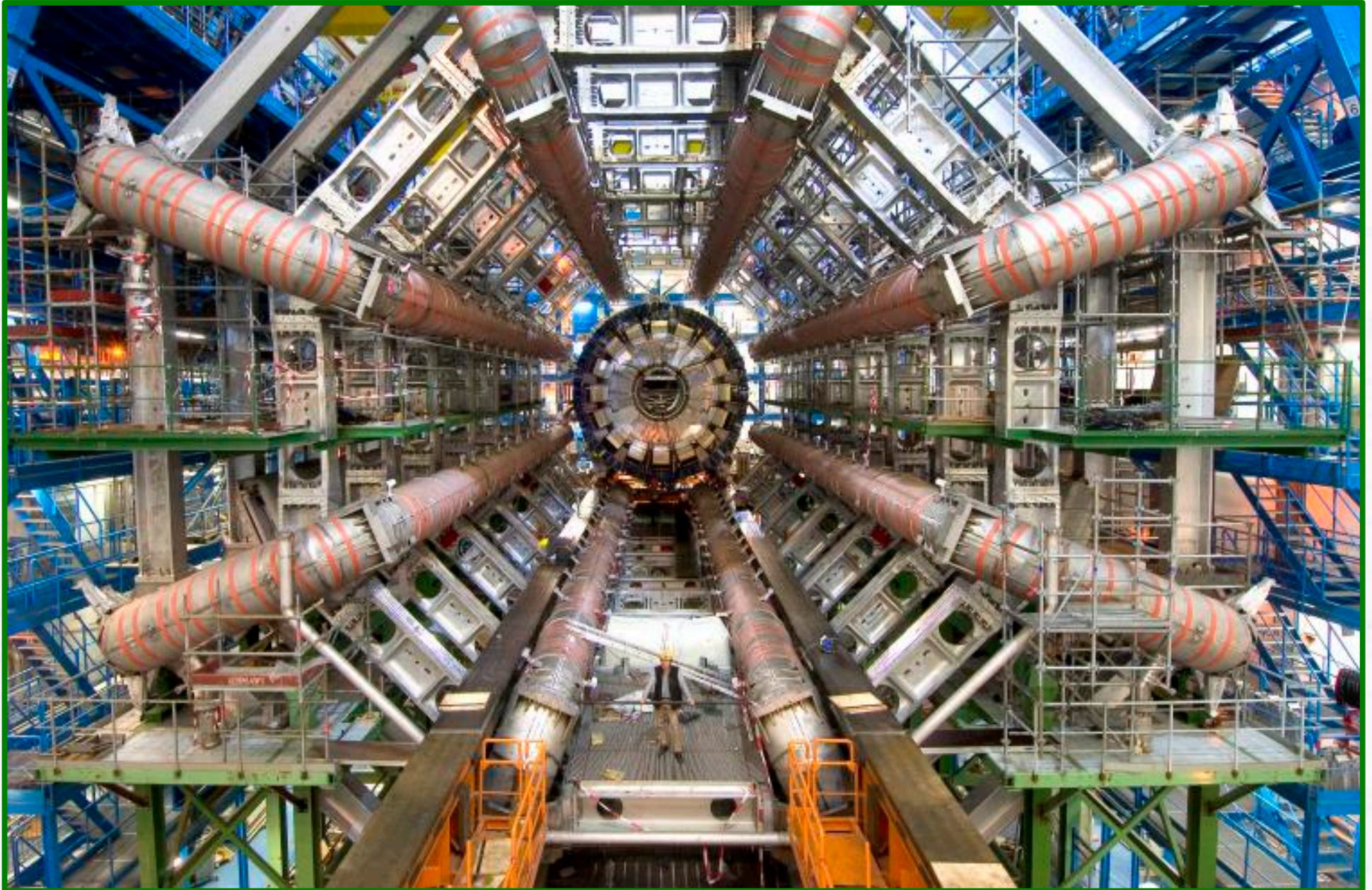
Spezialdetektor für
Schwerionenkollisionen



Spezialdetektor
für Physik mit b-Quarks

LHCb

ATLAS Barrel Toroid fertiggestellt (Nov 2005)



Detektortechnologie und Kunst

Bühnenbild der Oper "Les Troyens" in Valencia, Oktober 2009



Aufbau der Materie

● Heutiges Wissen: Materie hat eine hierarchische Struktur

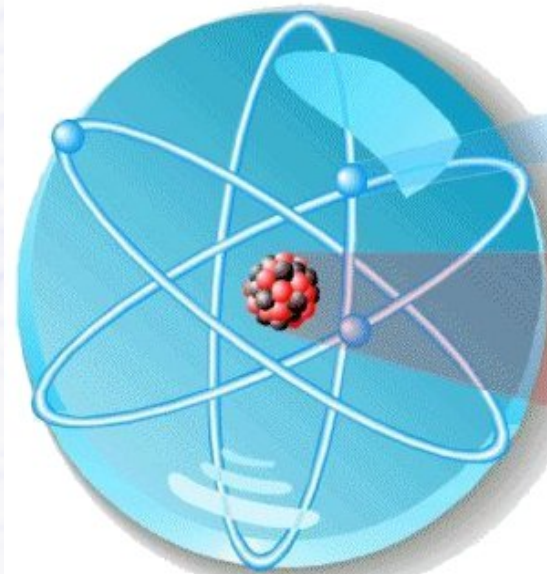
→ nur **Elektronen** und **Quarks** sind elementar (“punktförmig“)

Atom:

Philosophisch: Demokrit, 4. Jh. vor Christus
Theoretisch/Experimentell: Einstein/Perrin,
Erklärung/Messung der Brown'sche Bewegung, 1905

Elektron:

J.J. Thomson, Kathodenstrahlen, 1897



atom $\sim 10^{-8}$ cm



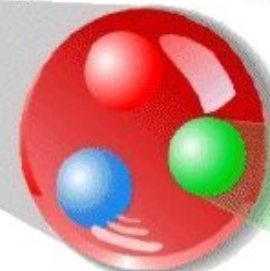
electron
 $< 10^{-16}$ cm



nucleus
 $\sim 10^{-12}$ cm

proton
(neutron)

Proton: Rutherford, 1919
Neutron: Chadwick, 1932



$\sim 10^{-13}$ cm

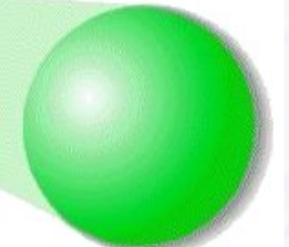
quark
 $< 10^{-16}$ cm

Atomkern:

Rutherford, Streuung von
 α -Teilchen (Heliumkernen)
an Goldatomen, 1910

Quark-Modell:

Gell-Mann, Zweig, 1964



Das Standardmodell – Materie

Alle bekannte Materie besteht aus nur wenigen elementaren Teilchen

...aber in 3 verschiedenen Versionen ("Generationen")

...und für jedes Teilchen gibt es noch ein Antiteilchen mit entgegengesetzter Ladung

mit starker Wechselwirkung

ohne starke Wechselwirkung

Quarks

Leptonen

Überschwere, sehr instabile Materie

Schwere, instabile Materie

Normale, stabile Materie

	Quarks		Leptonen	
Generation 3	t Top	b Bottom	τ Tau	ν_τ Tau-neutrino
Generation 2	c Charm	s Strange	μ Muon	ν_μ Muon-neutrino
Generation 1	u Up	d Down	e Electron	ν_e Electron-neutrino

WIR und alles, was wir um uns sehen!

Protonen
Neutronen

Atomkern

Atomhülle

“Erstes Higgs” am LHC (4. April 2008)



LHC Start – 10. September 2008



Größtes Medienevent in der Geschichte der Wissenschaft

- Top News weltweit (keine weiteren Katastrophen, Politikevents etc.)
- Eurovision live satellite feed von 9:00-18:00 + Webcast
 - 2500 TV Ausstrahlungen
 - mehrere hundert Millionen Zuschauer
- 260 akkreditierte Journalisten
 - 5800 Presseartikel
- 100 Millionen Hits auf den CERN Webseiten



CERN Control Centre (LHC Kontrollraum)



LHC Start in deutschen Medien

DAS GRÖSSTE EXPERIMENT ALLER ZEITEN

Ab heute urknallt's

Frankfurter Allgemeine
ZEITUNG FÜR DEUTSCHLAND

1.9.2008 4. Jg. 177. Nr. 212

Jetzt geht es rund

Das Forschungszentrum Cern nimmt heute der größte Teilchenbeschleuniger der Welt den Betrieb auf.



Das Streiflicht
Die Urknall-Maschine läuft

„Ich muss gar nichts“: Warum Nicolas Hayek Aktionäre ignoriert / Wirtschaft

Süddeutsche Zeitung

NEUESTE NACHRICHTEN AUS POLITIK, KULTUR, WIRTSCHAFT UND SPORT

München, Donnerstag, 11. September 2008

Das größte Experiment der Menschheit




Die Urknall-Maschine läuft

Karlsruhe uneinig

Bedienungschicht bleibt vielen Senioren erspart

Verschwinden wir in ein schwarzes Loch?

Nicht Dritter



Zertrümmern und Erkennen

Man gab es die ersten Teilchenkollisionen an der „Weltmaschine“, dem Teilchenbeschleuniger am Forschungszentrum Cern bei Genf in bislang unbeobachtete Region.

DER SPIEGEL

DIE SEKUNDE NULL



Die Sekunde Null

DER TAGESSPIEGEL

Ikone des Behindertensports: **Marianne Buggenhagen** gewinnt mit 55 Jahren Gold – Seite 19

Zurück im Job: Wie sieben Berliner wieder Arbeit fanden – Seite 11

Auf ewig mit Stil: **Karl Lagerfeld** feiert 75. Geburtstag – Seite 28



Es ist ein Versuch der Superlative: In einem 27 Kilometer langen Ringstadium unter der französischen-schweizerischen Grenze bei Genf werden heute zum ersten Mal Protonen beschleunigt. Mit der größten Experimentieranlage der Welt, dem Cern, sollen grundlegende Fragen der Teilchenphysik und Kosmologie erstmals beantwortet werden. Zuletzt hatte der LHC, genannt Teilchenbeschleuniger nach dem halbfiktionalen Schlangengott Prometheus, weil einige Säugetiere durch die prozessierten Versuche des Untergangs der Welt befreiten. N.Y.



Die ersten Teilchenkollisionen an der „Weltmaschine“, dem Teilchenbeschleuniger am Forschungszentrum Cern bei Genf in bislang unbeobachtete Region.

KulturSPIEGEL

Durch den direkten Kontakt mit den Wissenschaftlern wollen wir jungen Leuten die Art und Weise näherbringen, wie moderne Forschung – gerade Grundlagenforschung – stattfindet“, sagt Michael Kobel. Entdeckergeist sollte geweckt werden, die Begeisterung dafür, tiefergehende Fragen an die

Supermaschine am Start



Die ersten Teilchenkollisionen an der „Weltmaschine“, dem Teilchenbeschleuniger am Forschungszentrum Cern bei Genf in bislang unbeobachtete Region.

Der LHC Unfall – 19. September 2008

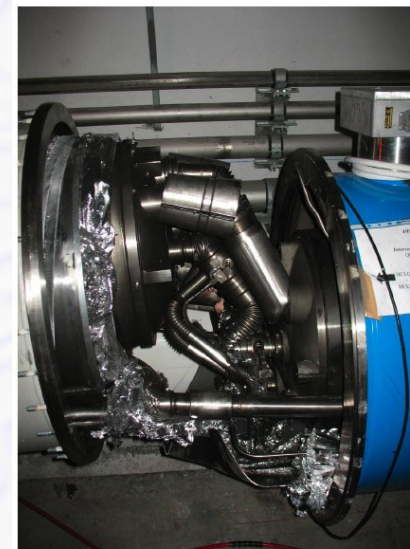
● Aufschmelzen einer schlechten Stromverbindung (13'000 A)

- sehr heisser elektrischer Lichtbogen
- Zerstörung der unmittelbaren Umgebung
- ➔ + Heliumgas Druckwelle
- weitere mechanische Verschiebungen über 700 m Strecke

● Reparatur über mehr als 1 Jahr

- Entdeckung weiterer Schwachstellen, die mehr Zeit benötigt hätten
- ➔ Entscheidung 2009: LHC Betrieb vorerst nur bei $\sim 1/2$ **Energie** von 2010-12
- danach lange Instandsetzungsphase 2013-14

● **Volle Energie ab 2015**

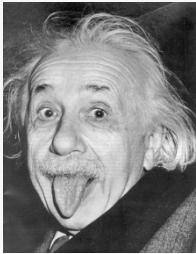


Erste LHC Kollisionen bei hoher Energie

ATLAS Kontrollraum



Methoden der Teilchenphysik

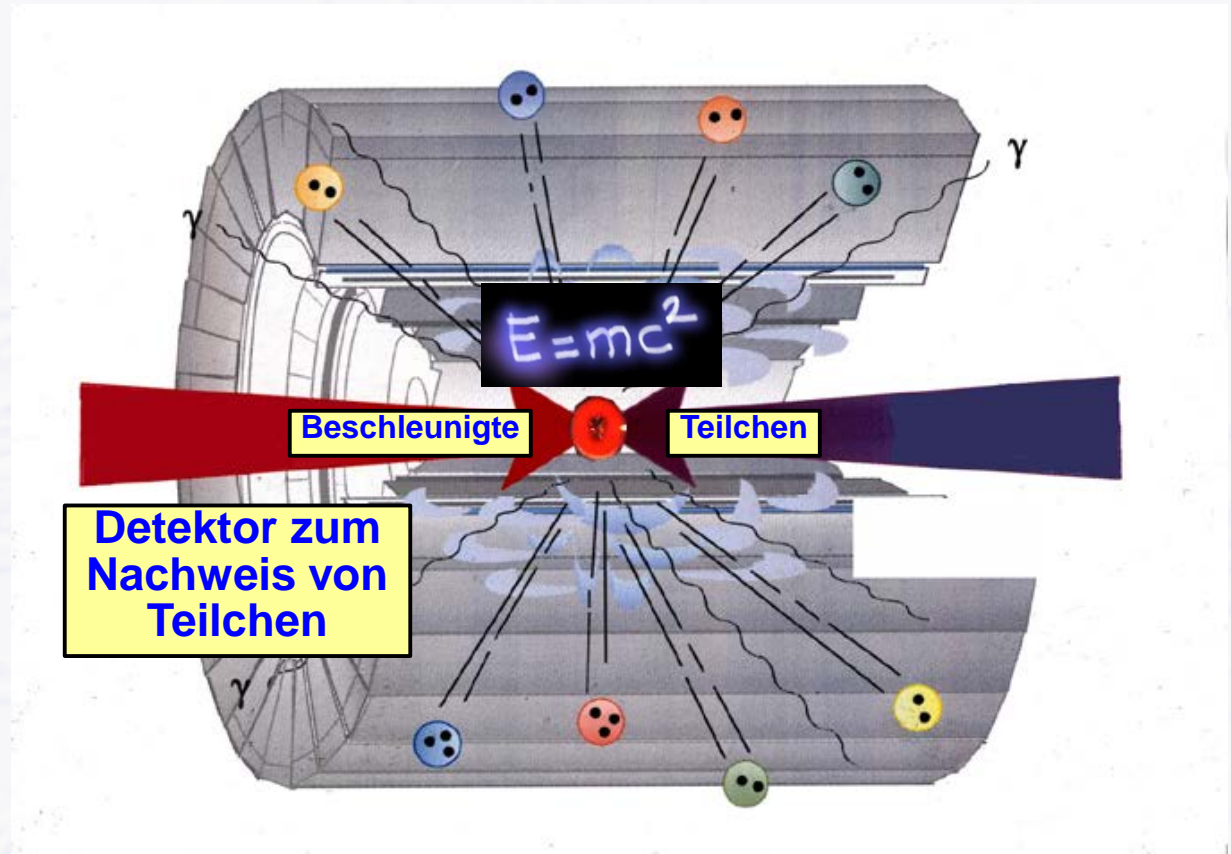


**Einstein
(1905):**

**Materie ist
konzentrierte Energie!**

**Materie lässt sich in
Energie umwandeln
und umgekehrt!**

$$E = m c^2$$



- Dies nutzen wir bei einem Teilchenbeschleuniger
 - Protonen werden beschleunigt ⇒ Energie
 - Umwandlung der Energie bei der Kollision in Materie
 - Neue Teilchen entstehen (neue Materie) und müssen vermessen werden

Geschichte des Universums

Der Urknall (Big Bang) war der Anfang von Raum und Zeit

→ Teilchenphysik bei hohen Energien (durch Beschleuniger) kann den Zustand des Universums nur **10⁻¹² s nach dem Urknall erforschen**

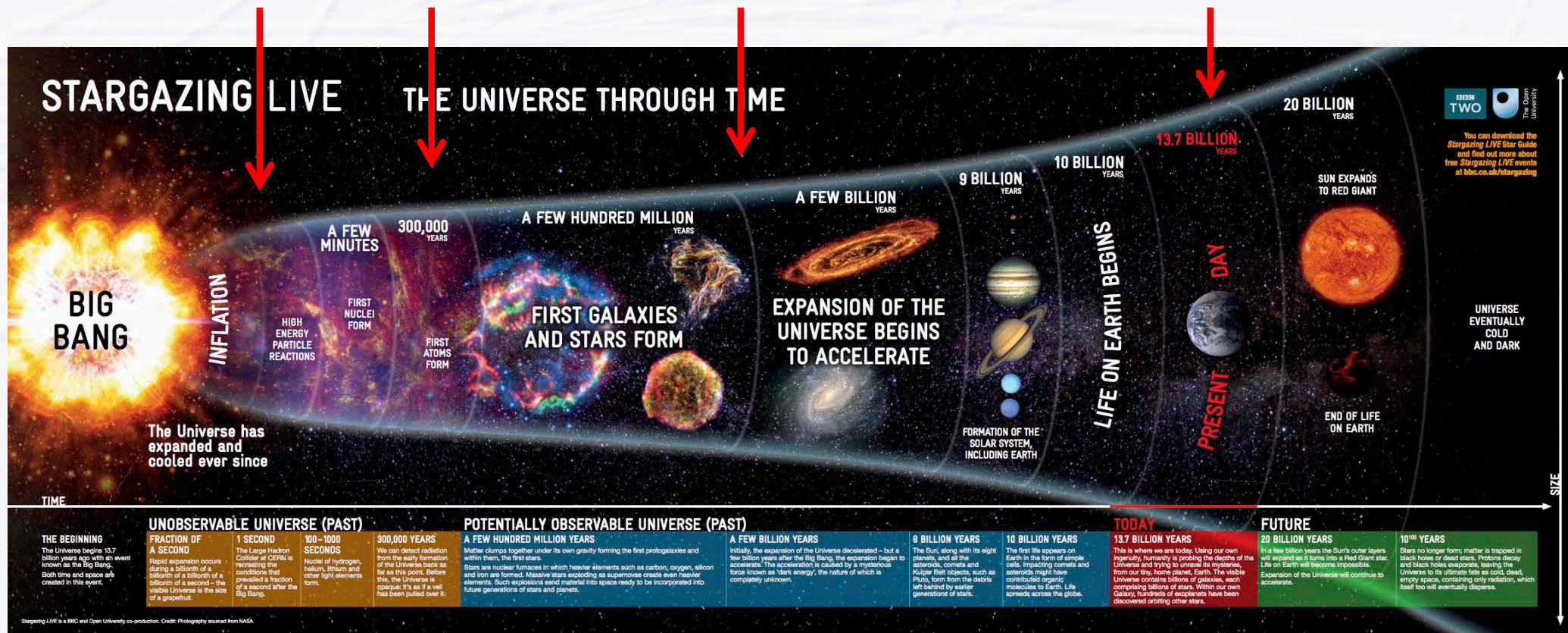
Die Energie in den Teilchenkollisionen ist die gleiche wie im frühen Universum

LHC

Satelliten

Teleskope

heute (13.7 x 10⁹ Jahre nach dem Urknall)



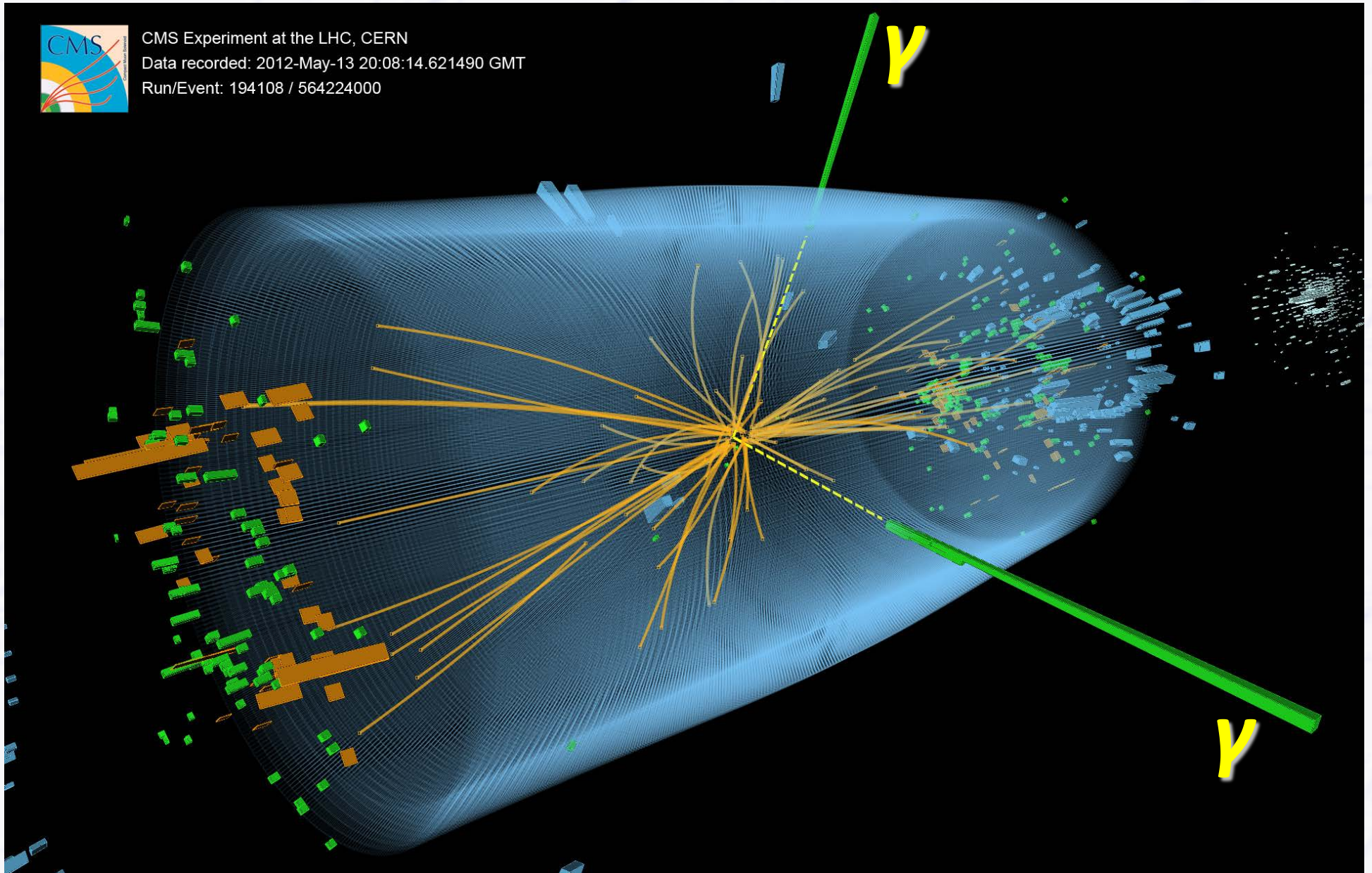
Higgs-Teilchen Entdeckung 4. Juli 2012



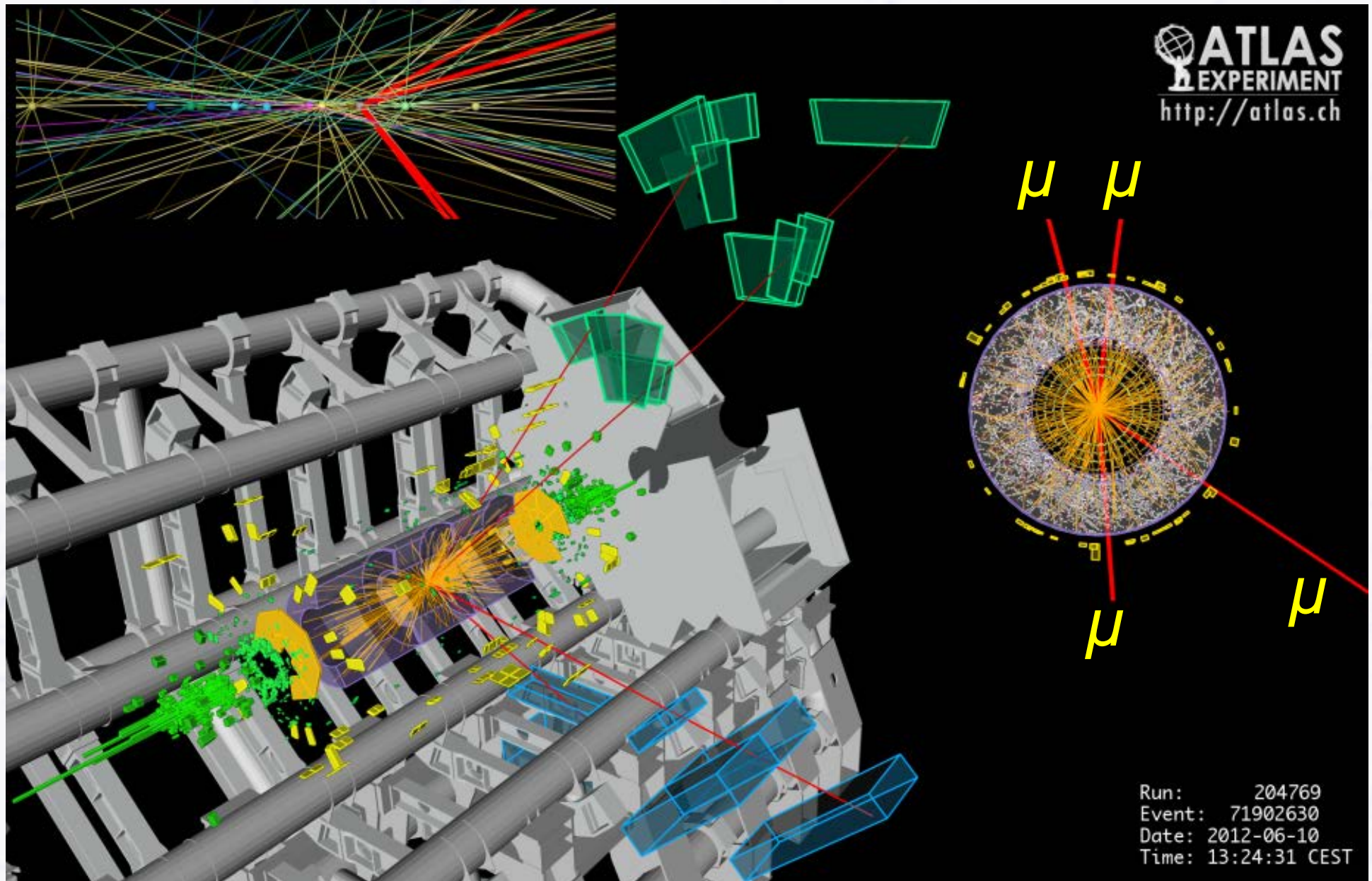
Higgs Zerfall $H \rightarrow \gamma\gamma$



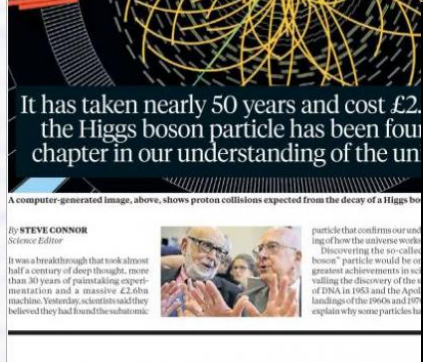
CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000



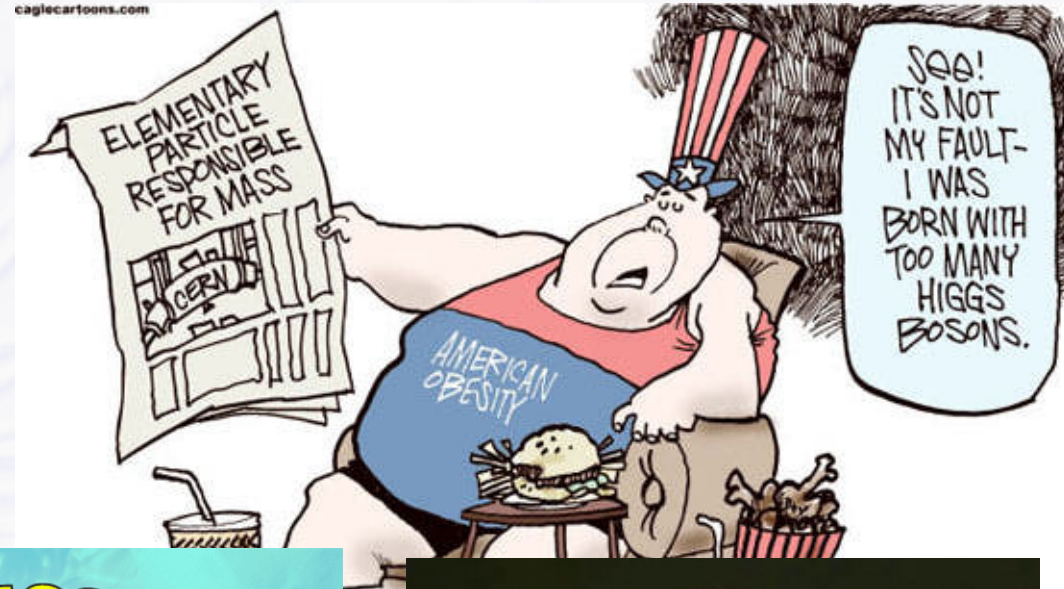
Higgs Zerfall $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$



Higgs in den Medien



Higgs wird Allgemeingut...



**YOU ARE THE HIGGS
BOSON OF MY LIFE**

**BECAUSE WITHOUT YOU
MY UNIVERSE WOULDN'T
"MATTER"**

GAIN MASS FAST!

HIGGS BOSON PILLS

CLICK HERE!!1!

WARNING: TAKING TOO MUCH OF THESE PILLS MAY TURN YOU INTO A BLACK HOLE

© FROGSICLE.COM

An advertisement for "Higgs Boson Pills". It features a cartoon character with a large head and a determined expression, surrounded by lightning bolts. The text "GAIN MASS FAST!" is written in a curved font above the character. Below the character is a pill icon and the text "HIGGS BOSON PILLS". A yellow button says "CLICK HERE!!1!". At the bottom, there is a warning: "WARNING: TAKING TOO MUCH OF THESE PILLS MAY TURN YOU INTO A BLACK HOLE" and the website "© FROGSICLE.COM".

SAY GOD PARTICLE

**ONE MORE
GODDAMN TIME**

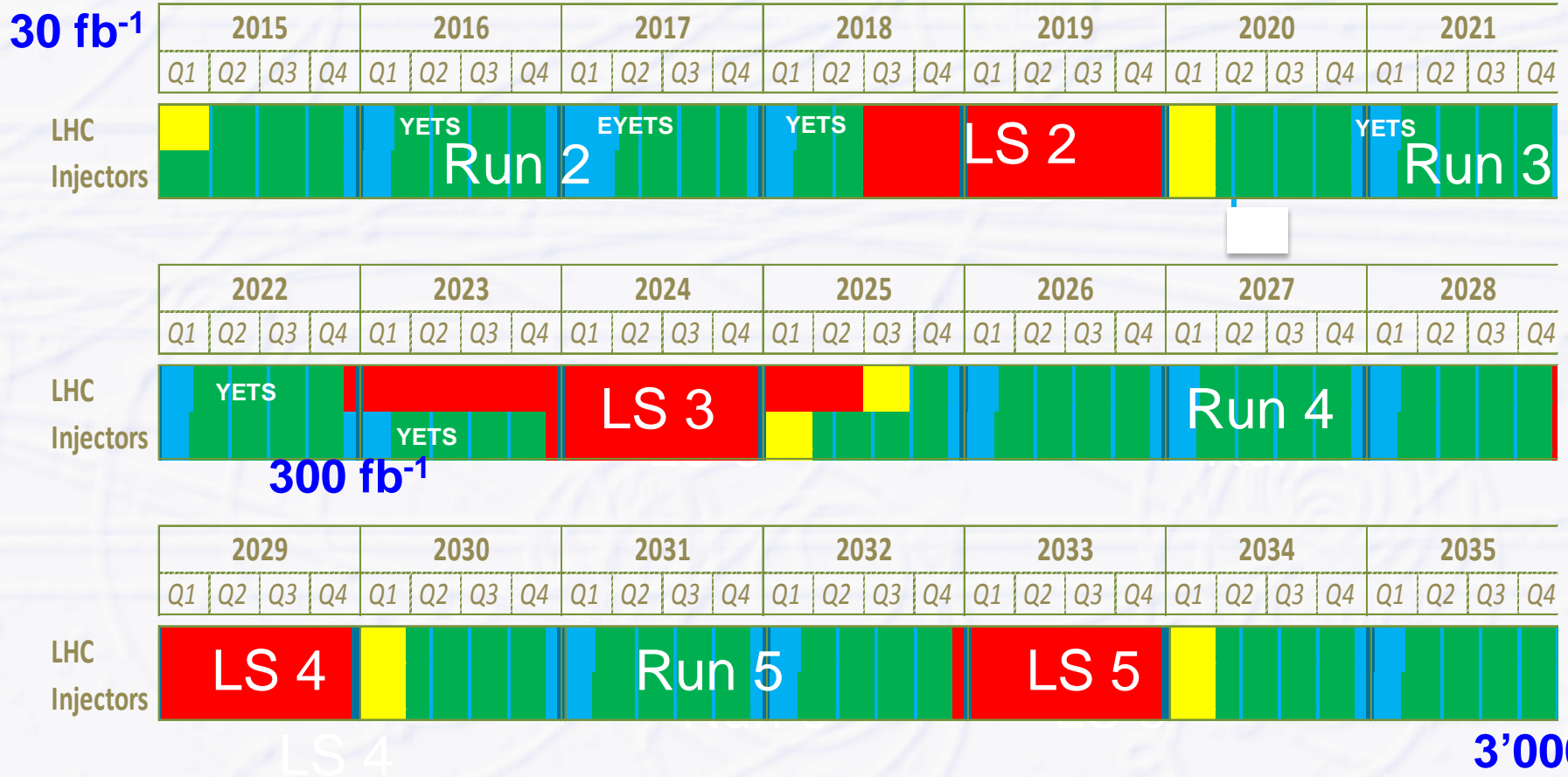
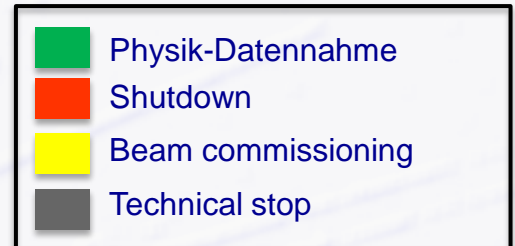
Nobelpreis für Englert und Higgs 2013

“...for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the **discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN’s Large Hadron Collider.**”



LHC: Wie geht es weiter?

LS2 start 2018 (Juli) => 18 Monate + 3 Monate BC
 LS3 LHC: start 2023 => 30 Monate + 3 Monate BC
 Vorbeschleuniger: 2024 => 13 Monate + 3 Monate BC



(Extended) Year End Technical Stop: (E)YETS

LHC schedule approved by CERN management and LHC experiments spokespersons and technical coordinators (December 2013)

Zukunft 1: e^+e^- @ 3 TeV \rightarrow CLIC

CLIC = Compact Linear Collider

Two Beam Scheme:

Drive Beam supplies RF power

- 12 GHz bunch structure
- low energy (2.4 GeV - 240 MeV)
- high current (100A)

Main beam for physics

- high energy (9 GeV – 1.5 TeV)
- current 1.2 A

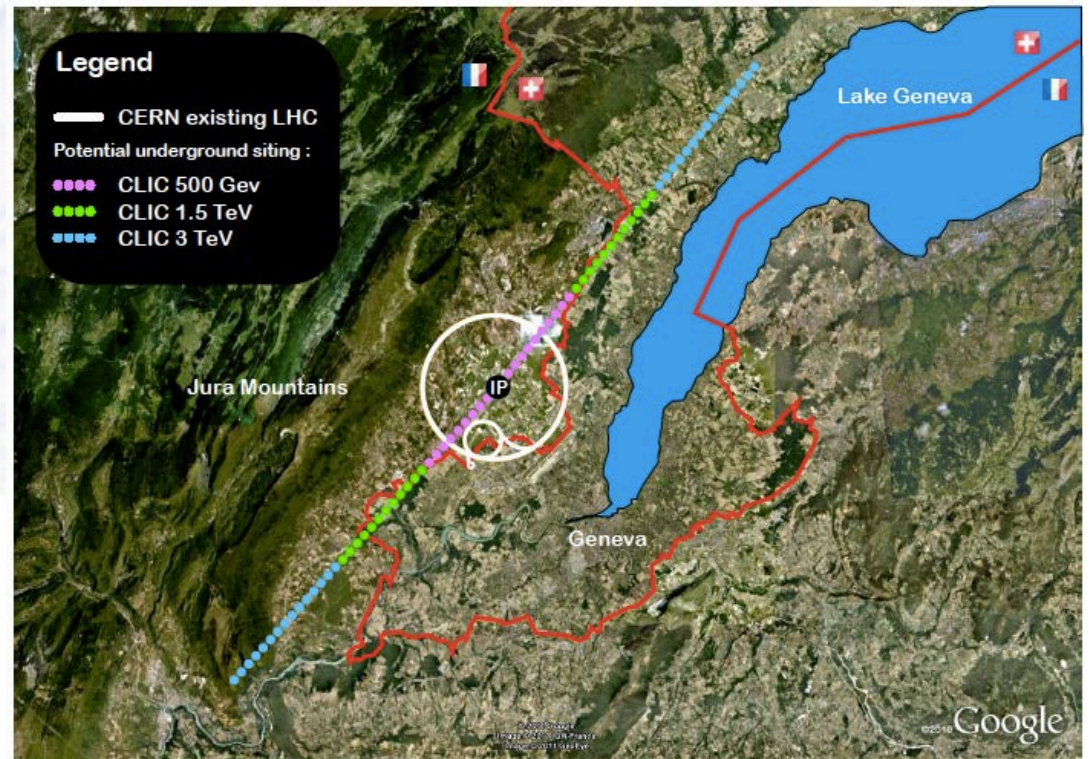
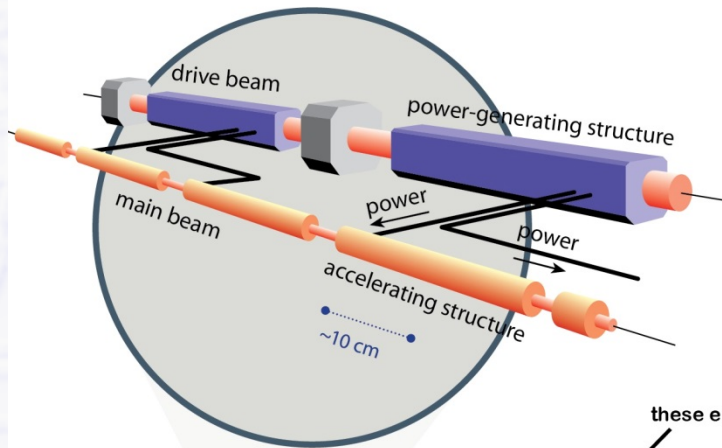
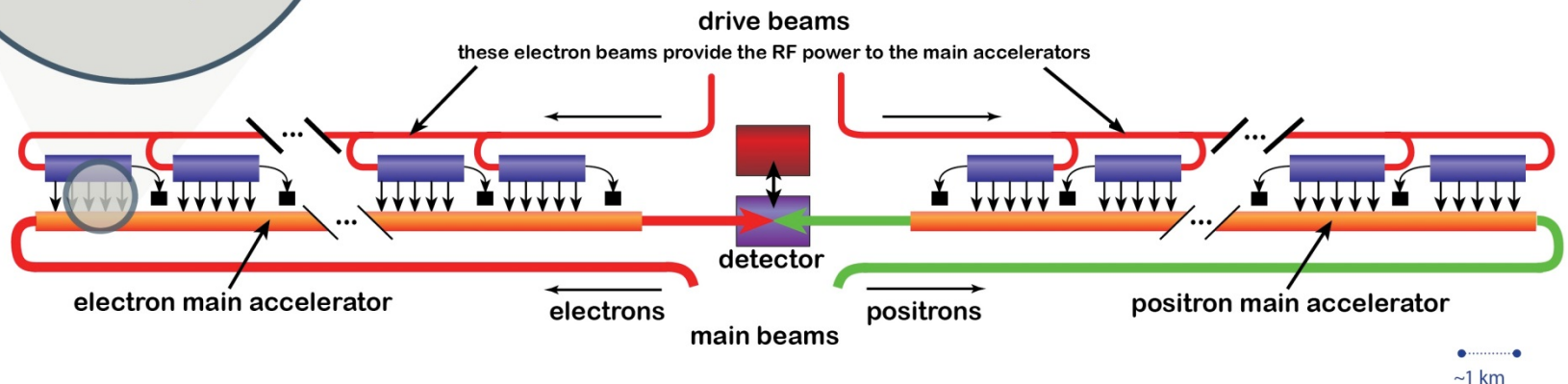


Fig. 7.2: CLIC footprints near CERN, showing various implementation stages [5].



Zukunft 2: neuer pp Collider

FCC = Future Circular Collider

- Konzeptstudie eines 80-100 km Tunnel in der Region Genf

HE-LHC :33 TeV
mit 20T Magneten

- Design bestimmt durch pp-collider Anforderungen (FCC-hh)
- mit Möglichkeiten für e^+e^- (FCC-ee) und p-e (FCC-he)

- Studie soll bis ~2018 erstellt werden

16 T \Rightarrow 100 TeV bei 100 km
20 T \Rightarrow 100 TeV bei 80 km

