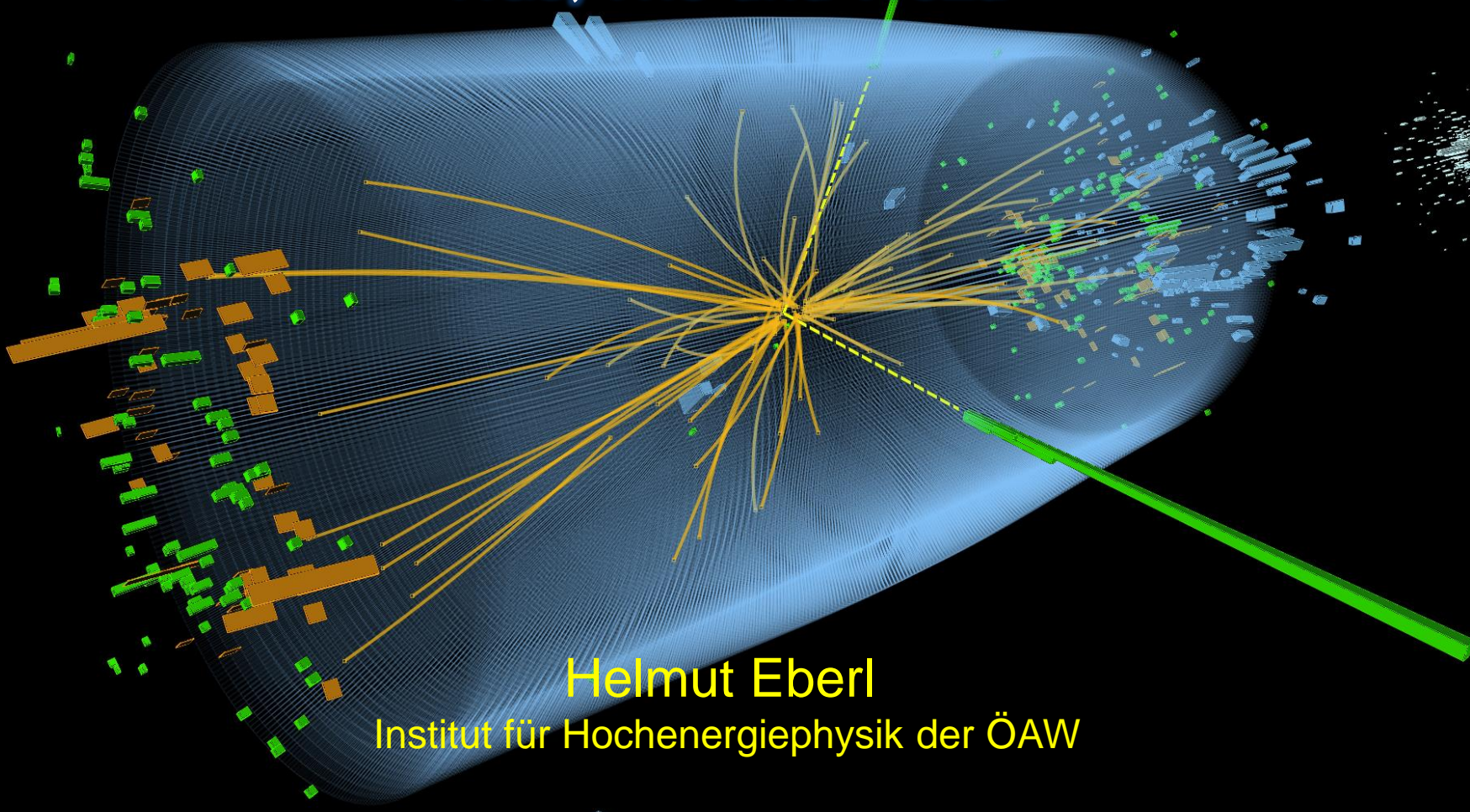


Teilchenphysik

Was, Wie und Wozu



Helmut Eberl
Institut für Hochenergiephysik der ÖAW

Diese Präsentation verwendet viele Seiten aus Vorträgen, die mein Kollege Marko Dragicevic gehalten hat.

Ich danke ihn, dass ich seine Unterlagen benutzen darf.

Inhalt

- **Das HEPHY**
- **Teilchenphysik**
 - *Was? Warum?*
- **Das CERN**
- **Teilchenbeschleuniger**
 - *Warum? Wie?*
- **Der Large Hadron Collider (CERN)**
 - *Wo? Was? Wie?*
- **Experiment – Detektor**
 - *Was? Wie?*

Institut für Hochenergiephysik (HEPHY)

- Ist ein Institut der **Österreichischen Akademie der Wissenschaften**
 - Größte außeruniversitäre Forschungseinrichtung in Österreich
 - 70 Forschungseinheiten
 - 1100 Mitarbeiter
- HEPHY gegründet 1966 zur **Grundlagenforschung** im Bereich der Teilchenphysik
 - Insbesondere: Beteiligung an den Experimenten am CERN
 - Derzeit ca. 60 Mitarbeiter in Wien
 - Weiter ca. 5 Mitarbeiter am CERN



<http://www.hephy.at>

Teilchenphysik

Was macht die Teilchenphysik?
Warum ist Grundlagenwissenschaft wichtig?

Was ist Elementarteilchenphysik?

“Die Suche nach den elementarsten Bausteinen der Natur”

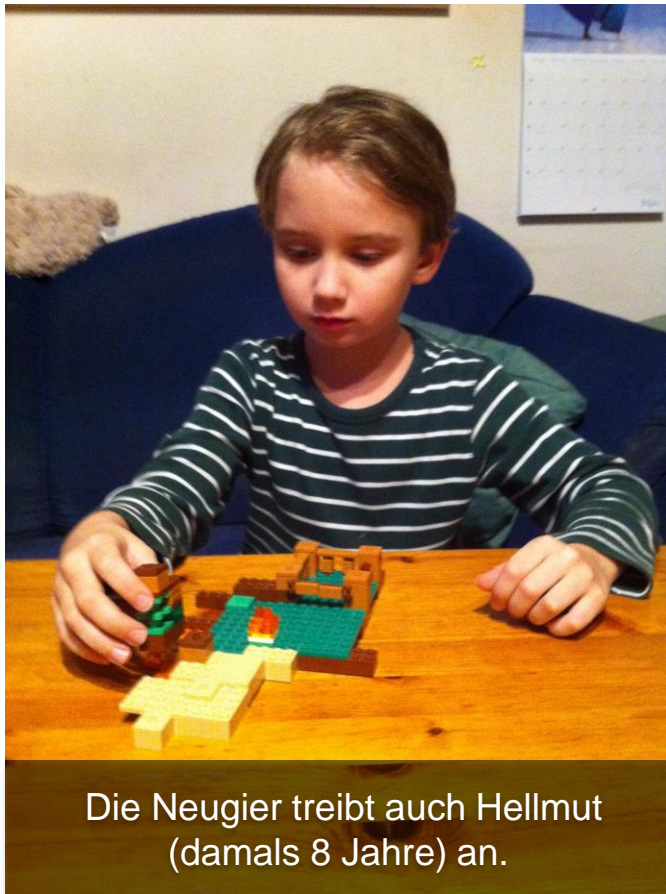
- Welche Bausteine gibts es?
- Welche Eigenschaften besitzen sie?
- Wie interagieren sie miteinander?

Was ist Hochenergiephysik?

- Teilgebiet der Teilchenphysik: Beantwortung obiger Fragen mittels **Teilchenbeschleuniger**
- Warum heißt es **“Hochenergie”**?
 - = Experimente untersuchen Teilchen, die auf hohe Energien (= *“Geschwindigkeiten”*) beschleunigt wurden
 - ≠ **Stromerzeugung**
 - ≠ **Atomenergie**

Teilchenphysik: Warum?

Neugier!



Grundlegende Frage der Teilchenphysik:

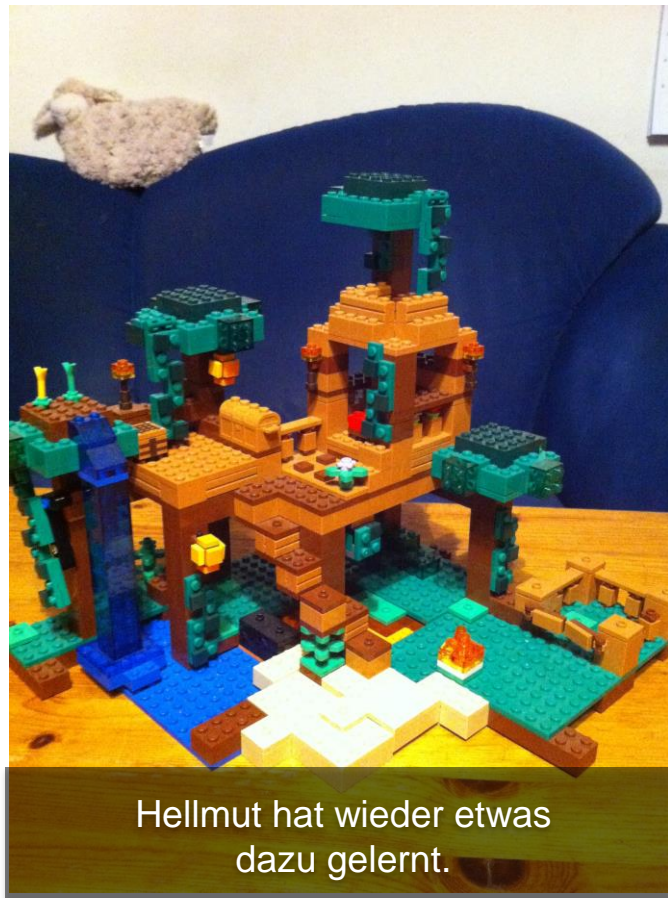
- Was sind die **Bausteine** unseres Universums und welche **Eigenschaften** haben sie?

Die derzeit wichtigsten Fragen:

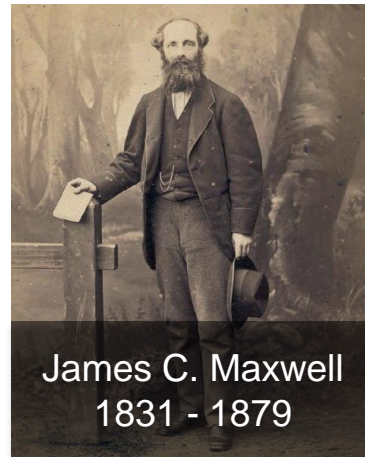
- Warum haben Teilchen **Masse**?
- Weshalb gibt es im Universum **keine Anti-Materie**?
- Was ist die **Dunkle Materie**?
- Was ist die **Dunkle Energie**?

Wissenschaftsphysik: Warum??

Lernen!

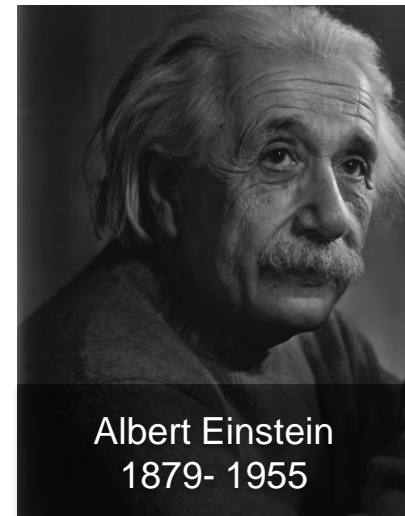


Zwei Beispiele: **Elektromagnetismus**
und Relativitätstheorie



- Formuliert 1864 die Grundlagen des Elektromagnetismus

- Formulierte die spezielle (1905) und allgemeine (1915) Relativitätstheorie



Wissenschaft: Warum?

Elektromagnetismus damals:

- ~~Wissenschaft~~ **Basistechniken**

Faraday auf die Frage des britischen Finanzminister (1850) welchen praktischen Wert Elektrizität hat:
„One day sir, you may tax it.“



Relativitätstheorie damals:

- ~~Wissenschaft~~ **Basistechniken** GPS
- ~~Umsätze~~ **Umsätze**
- ~~Offensivbewiesen~~ **Offensivbewiesen**



Unser “Periodensystem”:

Das Standardmodell der Elementarteilchen

Marieteilchen

Kräfteilchen

Welle-Teilchen Dualismus

Die Materieteilchen: Quarks und Leptonen

Heute wissen wir, dass es 6 Quarks und 6 Leptonen gibt.

- 3 Familien, mit größer werdender Masse.
- Schwere Teilchen zerfallen in die leichteren
- Teilchen der 2. und 3. Familien existierten im sehr frühen Universum. Heute nur mehr in der Höhenstrahlung und in Teilchenbeschleuniger-Experimenten.

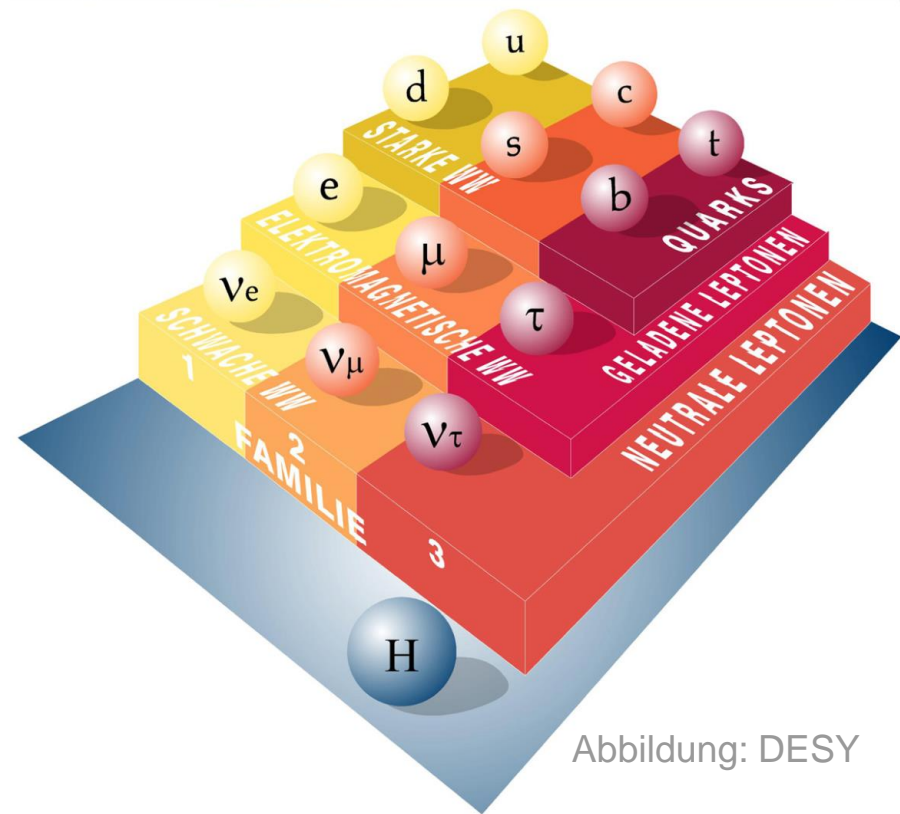


Abbildung: DESY

Kräfte - Wechselwirkungen

- **Elektromagnetische Kraft** = Photon
Elektrische und magnetische Phänomene haben die gleich Ursache, Unendliche Reichweite
- **Schwache Kraft** - Kurze Reichweite = W- und Z-Bosonen
Radioaktivität, Kernfusion → Sonnenenergie
- **Starke Kraft** - Kurze Reichweite = Gluonen
Wirkt zwischen den Quarks, hält den Atomkern zusammen
- **Gravitation** = Graviton?
Nicht vom Standardmodell der Teilchenphysik beschrieben

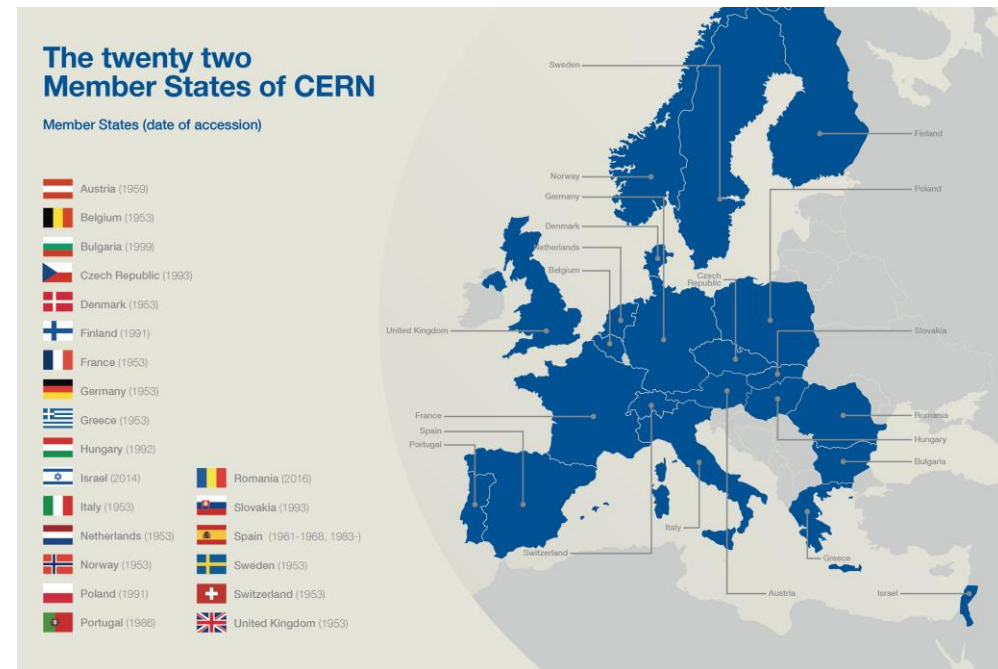
CERN



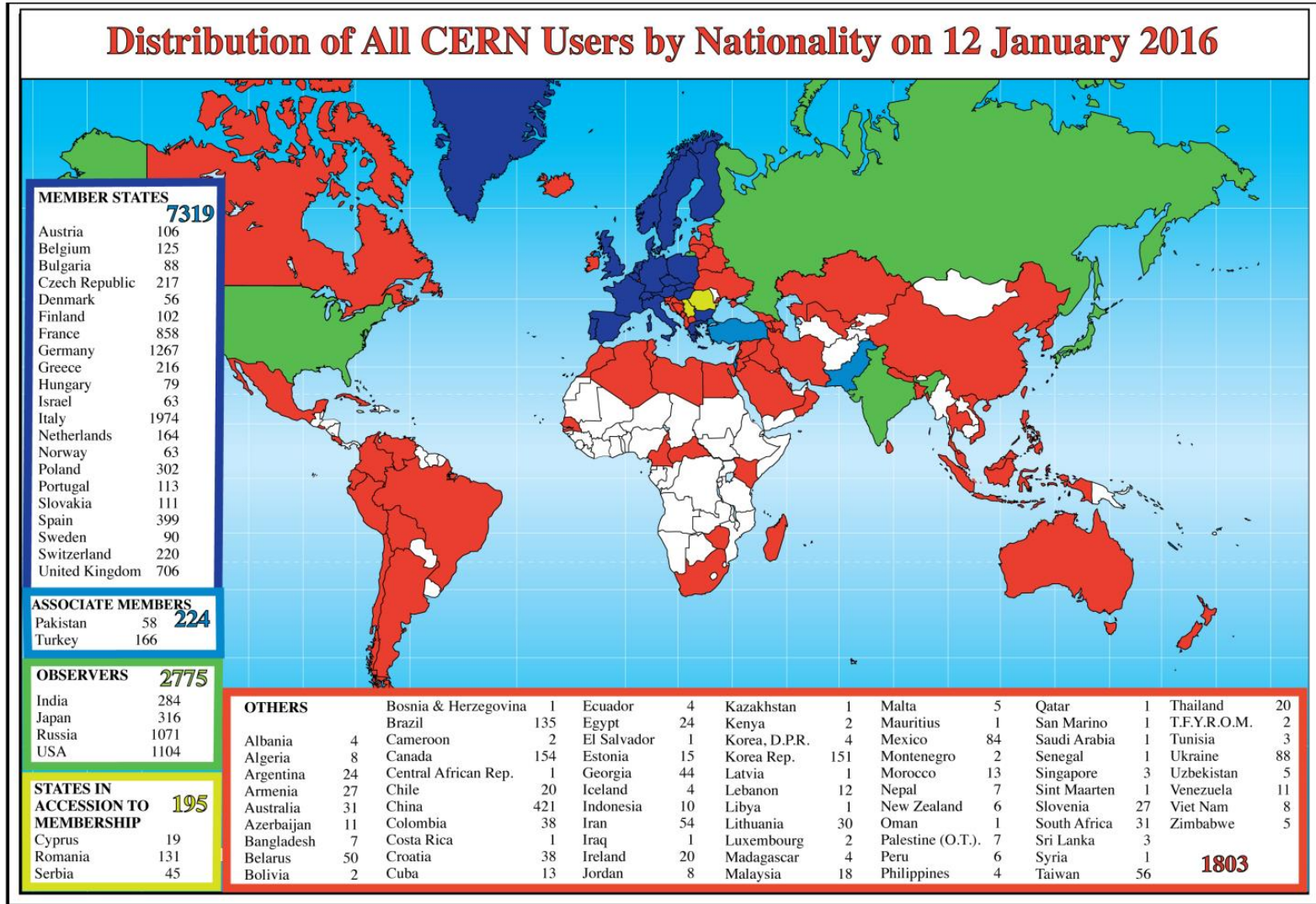
Was ist das CERN?

Was ist eigentlich das CERN ?

- CERN ist eine **internationale (europäische) Organisation**
 - ähnlich wie UNO
- Betreibt Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Teilchenphysik
- Gegründet 1954
- Österreich seit 1959
- Derzeit (2016)
 - 22 europäische Mitgliedsländer
 - Mehr als 2500 Mitarbeiter
 - Über 12.000 Gastwissenschaftler aus mehr als 70 Nationen



Nationalitäten der Wissenschaftler am CERN



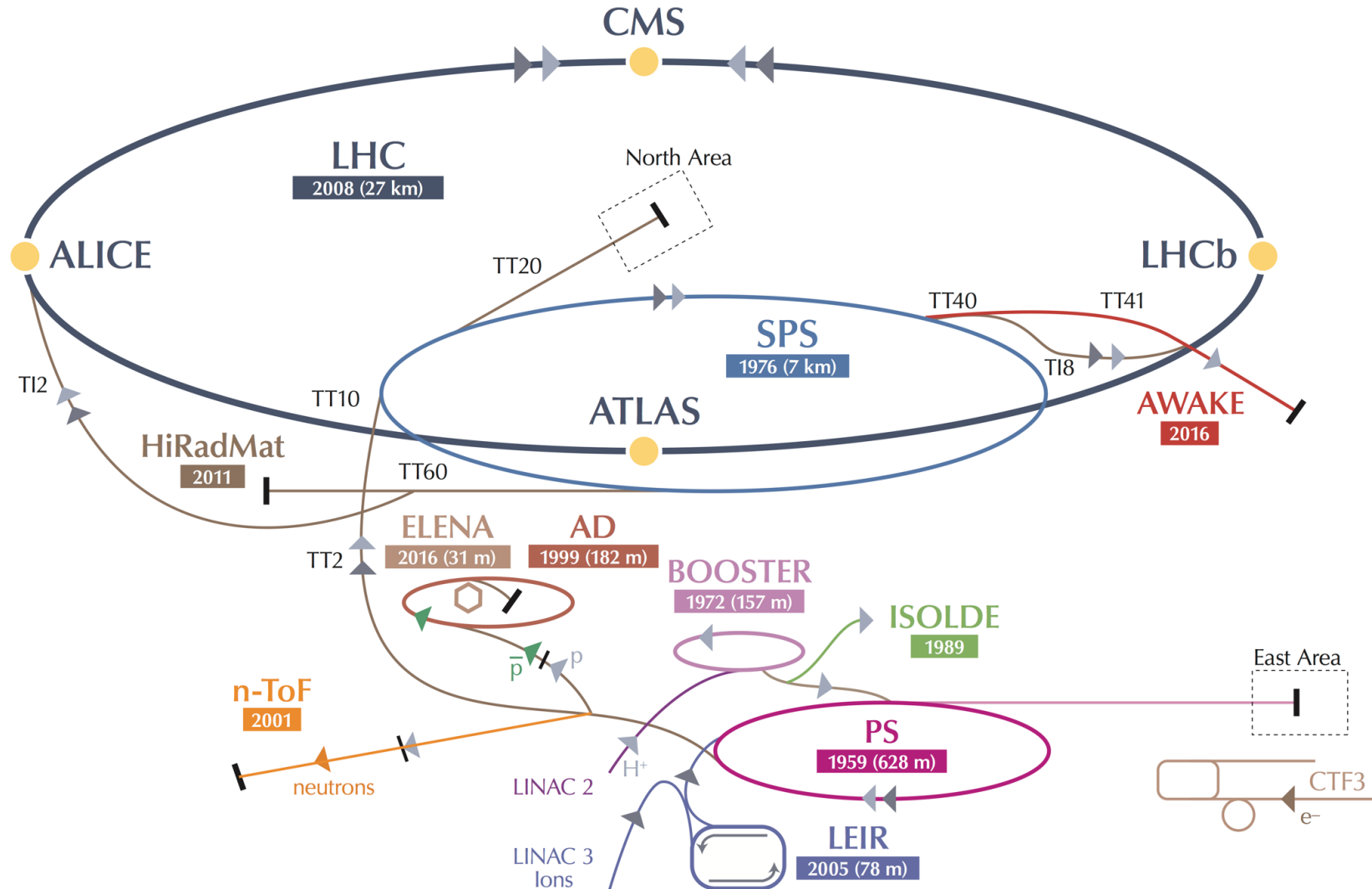
Was es kostet – und wer zahlt

CERN Gesamtbudget:

- ~ 1 Milliarde Euro (2014)
- Aufteilung entsprechend Bruttoinlandsprodukt
 - 2.22% für Österreich
 - 20 Millionen Euro (2014)
- Was leistet der CERN?
 - Grundlagenwissenschaft
 - Ausbildung für junge Wissenschaftler und Techniker
 - Entwicklung neuer Technologien
 - Medizinische Anwendungen wie der MedAustron
 - Das World Wide Web!

Mitgliedstaat	Anteil (%) ^[3]	Mio. CHF ^[3]	ca. Mio. EUR*
 Deutschland	20,27	222,9	182
 Frankreich	15,39	169,2	139
 Vereinigtes Königreich	13,88	152,6	125
 Italien	11,48	126,2	103
 Spanien	8,28	91,1	74,6
 Niederlande	4,60	50,6	41,4
 Schweiz	3,69	40,1	32,8
 Belgien	2,78	30,5	25,0
 Polen	2,66	29,3	24,0
 Schweden	2,61	28,7	23,5
 Norwegen	2,55	28,0	22,9
 Österreich	2,22	24,4	20,0
 Dänemark	1,76	19,3	15,8
 Griechenland	1,63	18,0	14,7
 Finnland	1,39	15,3	12,5
 Portugal	1,20	13,2	10,8
 Israel	1,19	13,1	10,7
 Tschechien	1,03	11,3	9,3
 Ungarn	0,65	7,1	5,8
 Slowakei	0,50	5,5	4,5
 Bulgarien	0,28	3,01	2,5
gesamt	100	1099,6	900,5

CERN ist ein Beschleunigerzentrum



Vom Mikroskop zum Teilchenbeschleuniger

Licht – Objekt

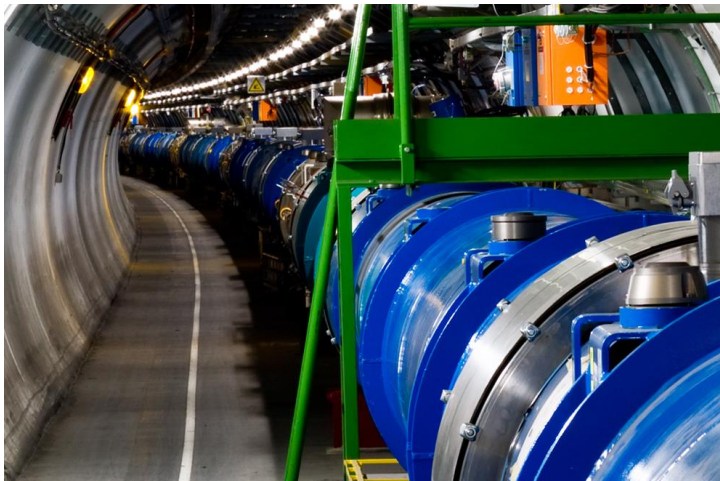
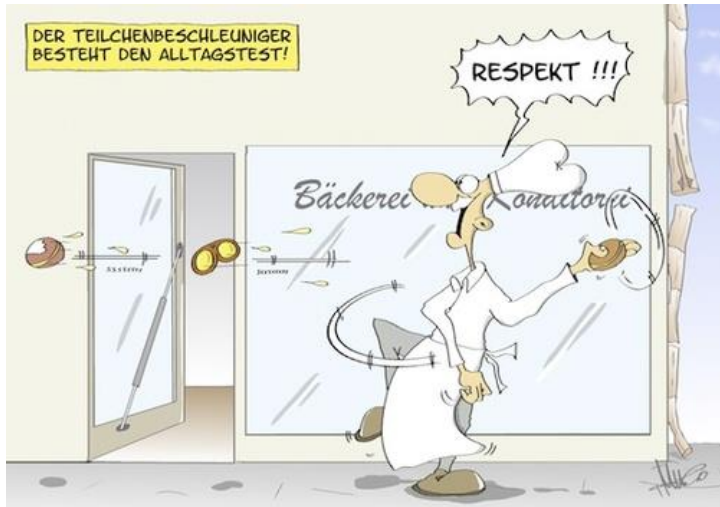
Detektor

Beschleuniger

Teilchenbeschleuniger

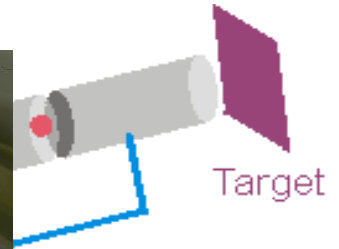
Wie funktioniert ein Beschleuniger?

Teilchenbeschleuniger



- Ein Teilchenbeschleuniger beschleunigt geladene Teilchen (Elektronen, Protonen oder Atomkerne)
- Heutige Beschleuniger erreichen extrem hohe Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit
- Teilchen werden dabei kaum mehr schneller (Lichtgeschwindigkeit kann nicht erreicht werden)
- **Bewegungsenergie** nimmt jedoch weiter zu!

Linearbeschleuniger



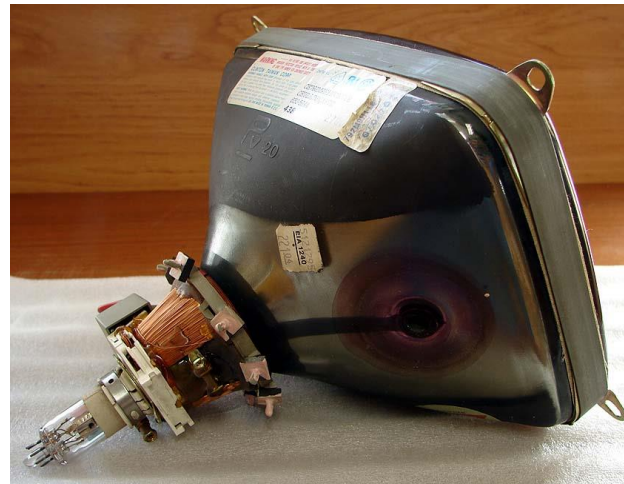
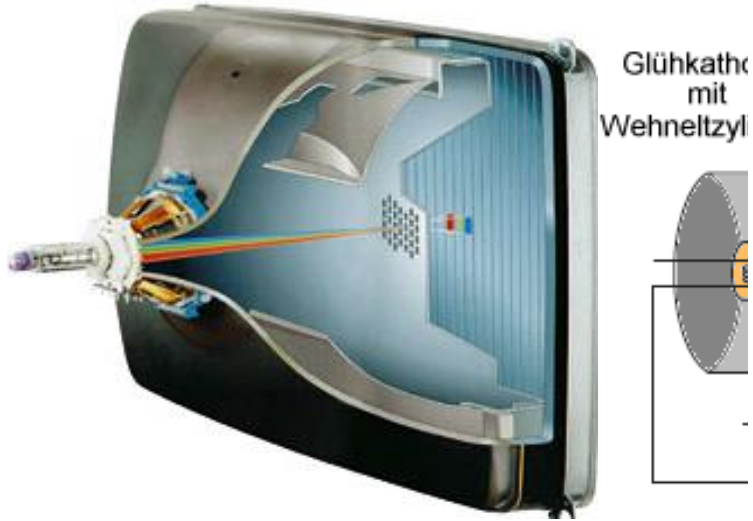
hohe
Spannung



beschleunigt
hohe
Spannung

erzeugt
werden

Linearbeschleuniger für Zuhause



- E
- €
- E
- E
- E



ger

ral

hier als ...

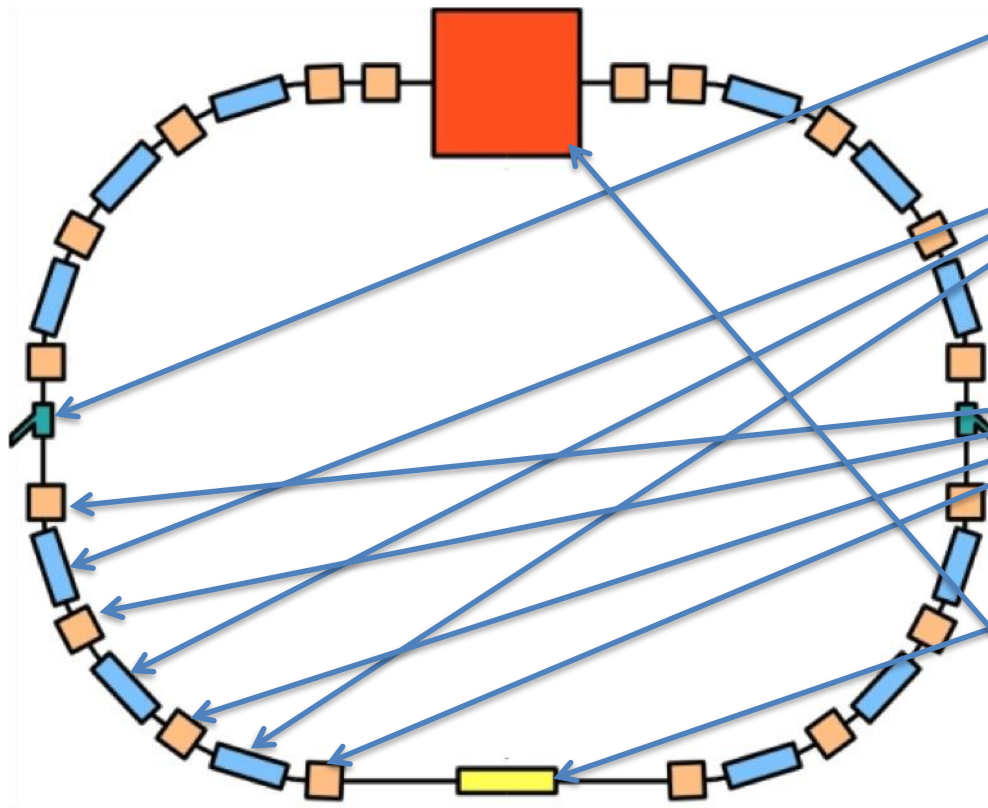
Kreisbeschleuniger (Synchrotron)



Teilchen

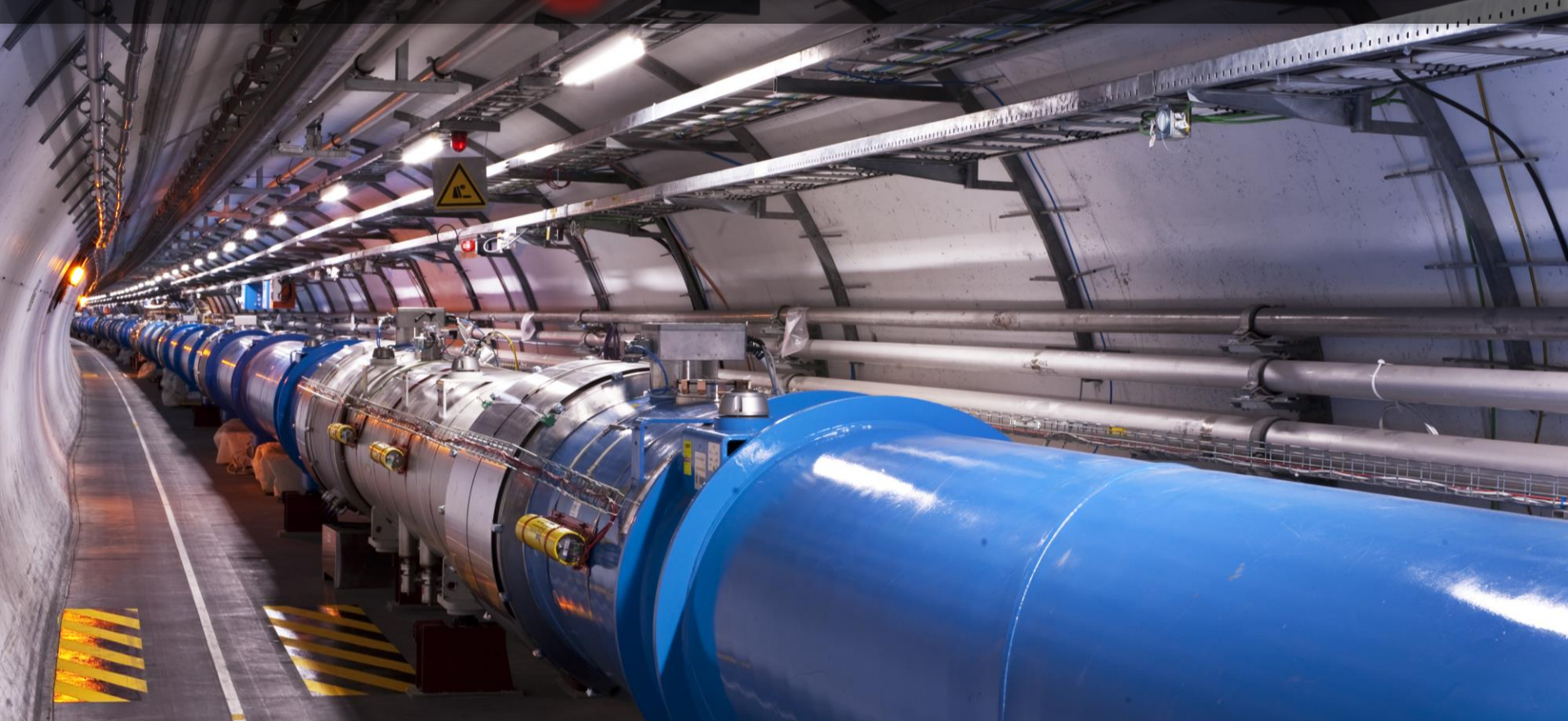
- werden auf einer **Kreisbahn** gehalten
- können **immer weiter beschleunigt** werden
- können **in und gegen den Uhrzeigersinn** beschleunigt werden

Komponenten eines Kreisbeschleuniger



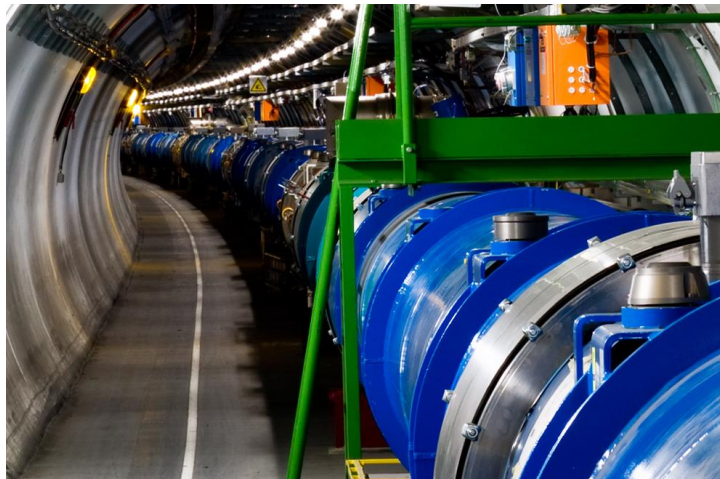
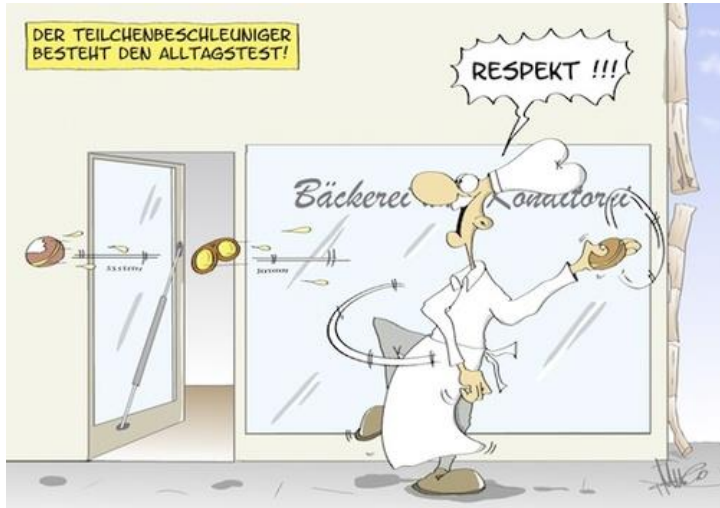
- **Quelle:** Erzeugung der Teilchen
- **Dipolmagnet:** Ablenkung der Teilchen auf eine Kreisbahn
- **Quadrupolmagnet:** Fokussierung des Teilchenstrahls
- **Radiofrequenz Kavitäten:** Beschleunigung der Teilchen
- **Kollisionspunkt:** Detektor zum Messen der Teilchen

Der Large Hadron Collider



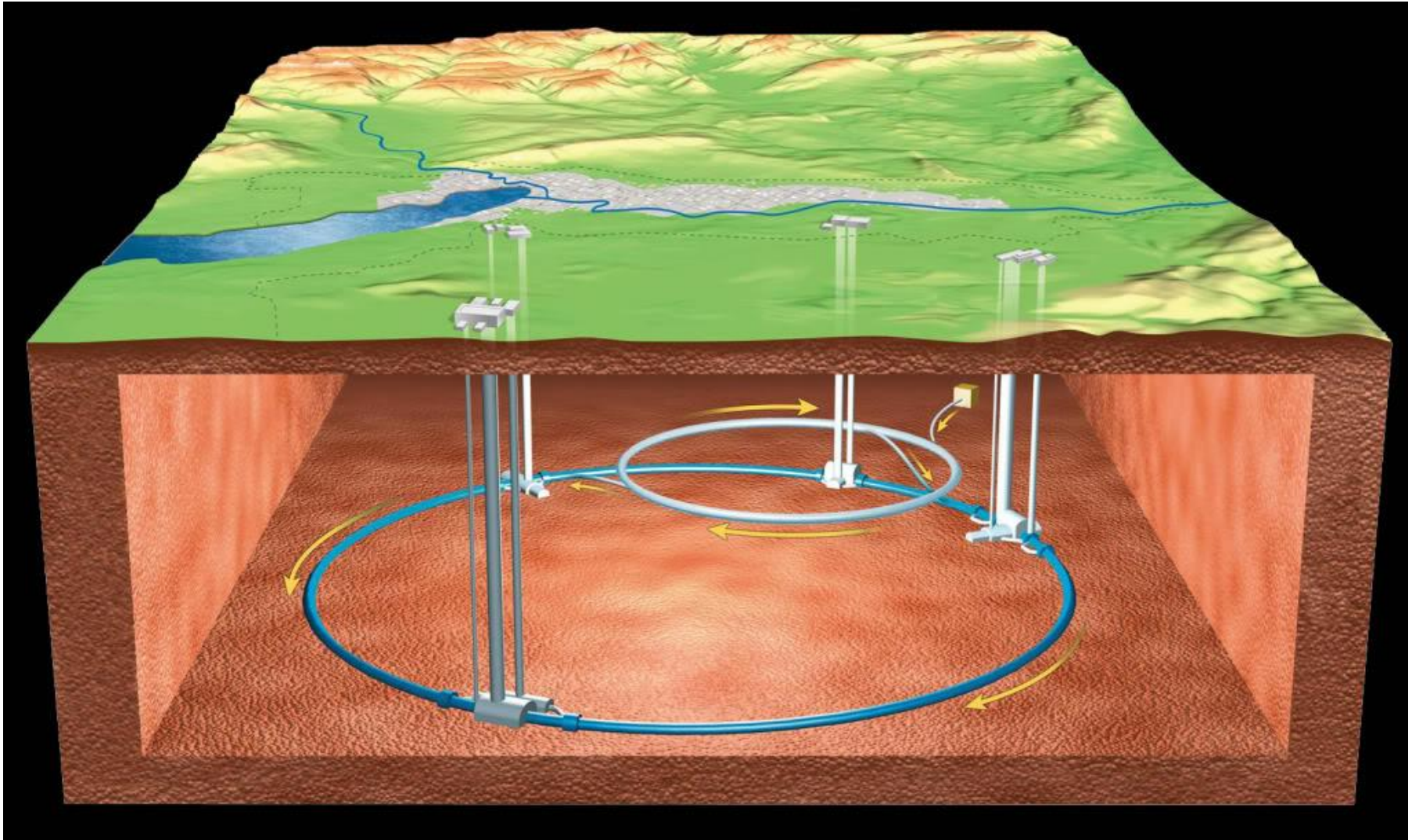
Was ist der LHC?

Large Hadron Collider: LHC



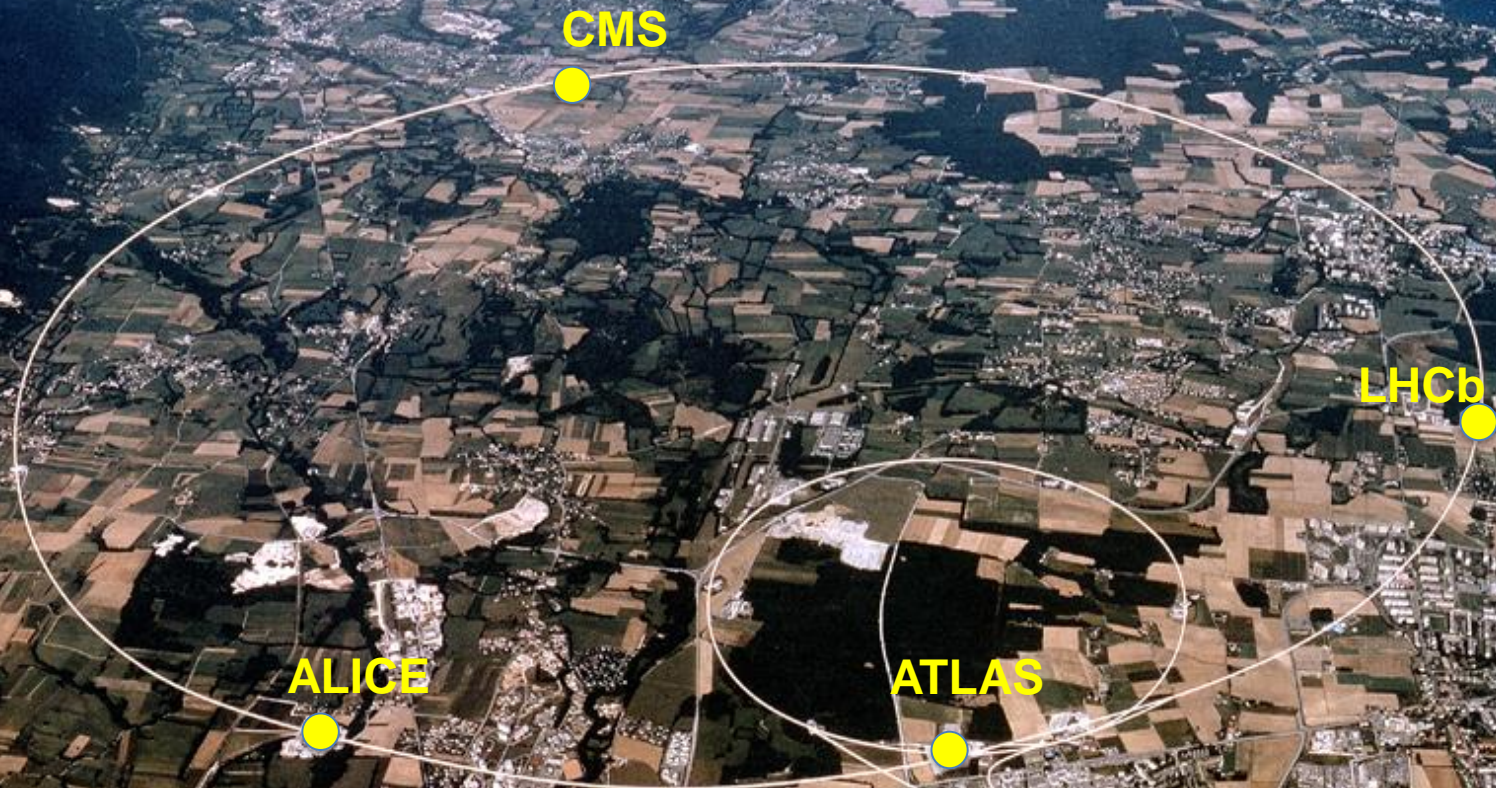
- Der LHC ist ein **Teilchenbeschleuniger**
- Er beschleunigt Teilchen (z B. Protonen = Wasserstoffkerne) auf hohe Energien und läßt diese kollidieren
- Genauer: **Kollisionsmaschine**
- Dabei entstehen auch „neue“ Teilchen
- Diese existieren nur sehr kurz, da sie sich sehr schnell in leichtere Teilchen umwandeln

LHC (CERN) von oben





Experimente am LHC



+ TOTEM, LHCf, MoEDAL

Die vier großen Experimente am LHC



Was passiert bei einer Teilchenkollision?

- Mit hoher Energie “stoßen Teilchen aufeinander”
- Die in der Bewegung gespeicherte Energie kann neue schwere Teilchen erzeugen
- Beschrieben durch Einsteins berühmte Formel:
Energie und Masse sind äquivalent
- Der Zusammenstoß der Teilchen zerlegt diese **nicht in seine Einzelteile** sondern erzeugt **neue, auch schwerere Teilchen**
- Gewisse (quantenmechanische) Grundregeln bestimmen welche Teilchen entstehen können

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

Was passiert bei einer Teilchenkollision?

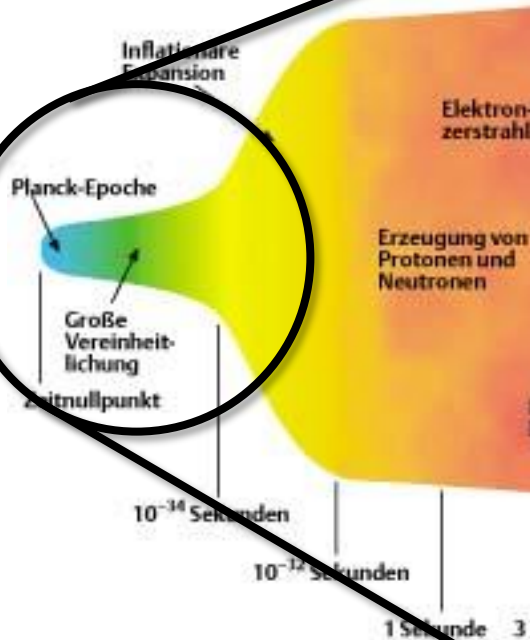


Was passiert bei einer Teilchenkollision?



Gab es schwere Teilchen auch schon früher?

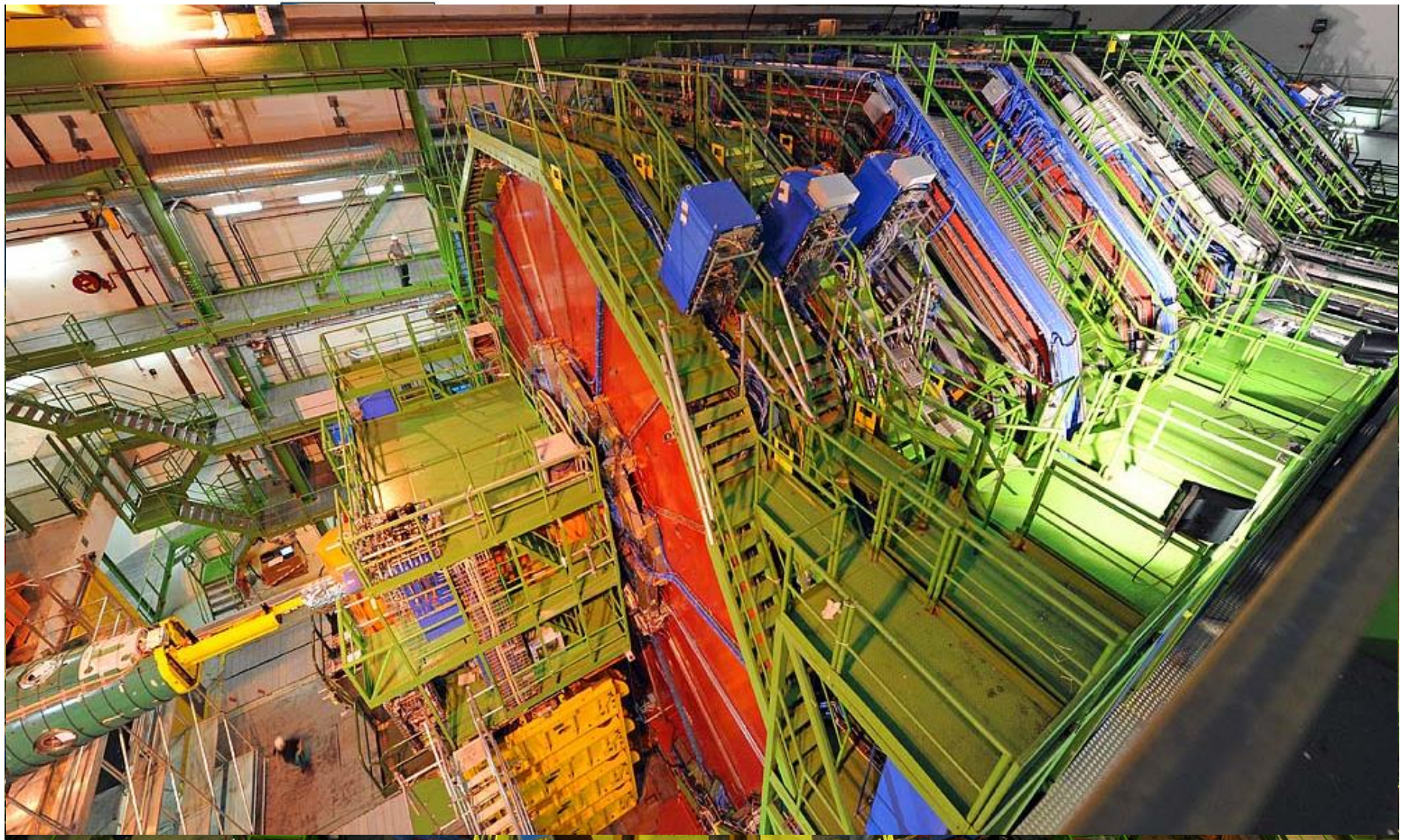
- Universum kurz nach dem Urknall war **extrem heiss und dicht**
- Teilchen bewegten sich also mit **sehr hoher Energie**
- Durch hohe Dichte fanden ständig Kollisionen statt
- Dadurch entstanden auch sehr **schwere und kurzlebige Teilchen**
- Daher: **LHC, die Urknallmaschine!**

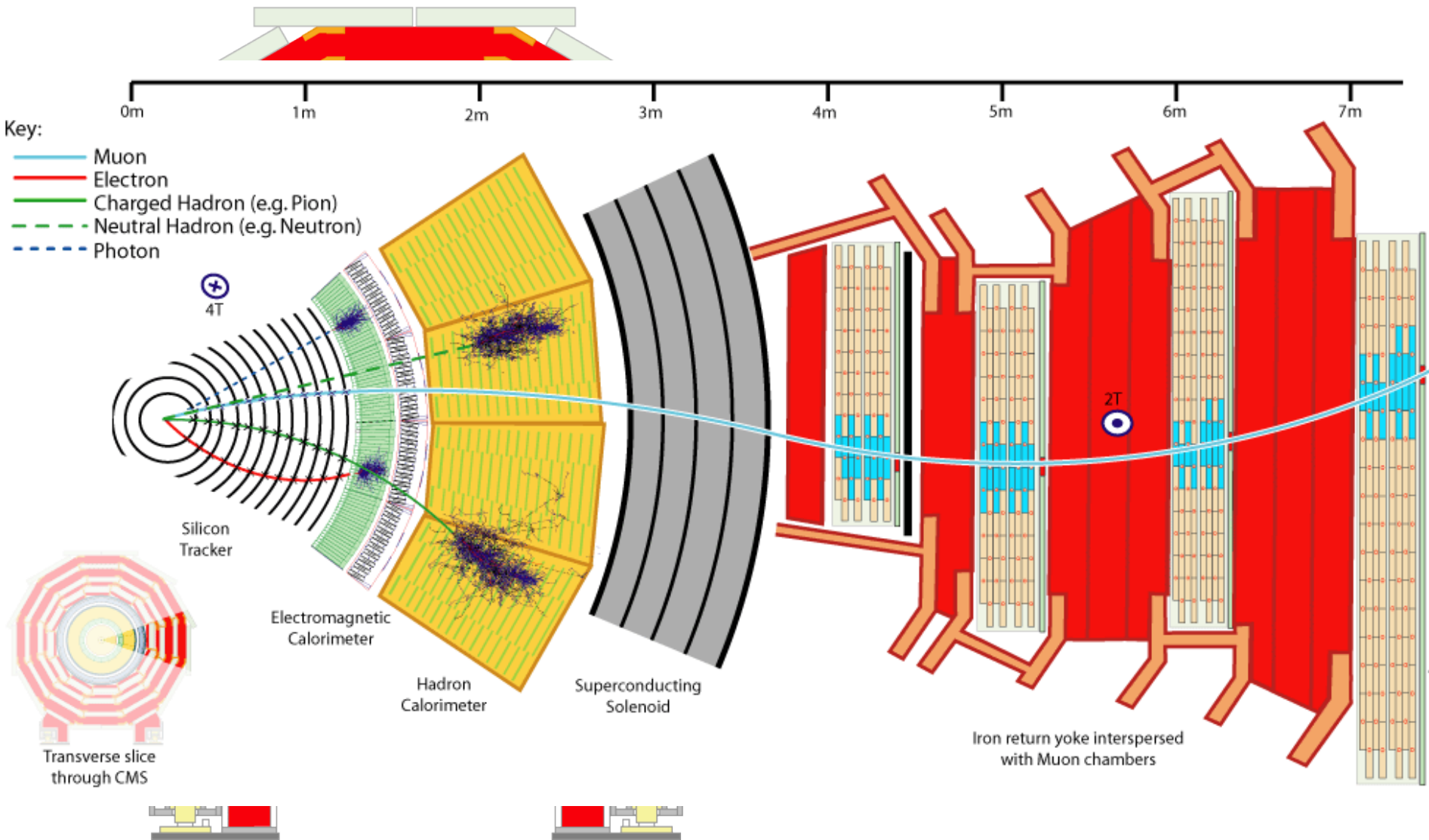


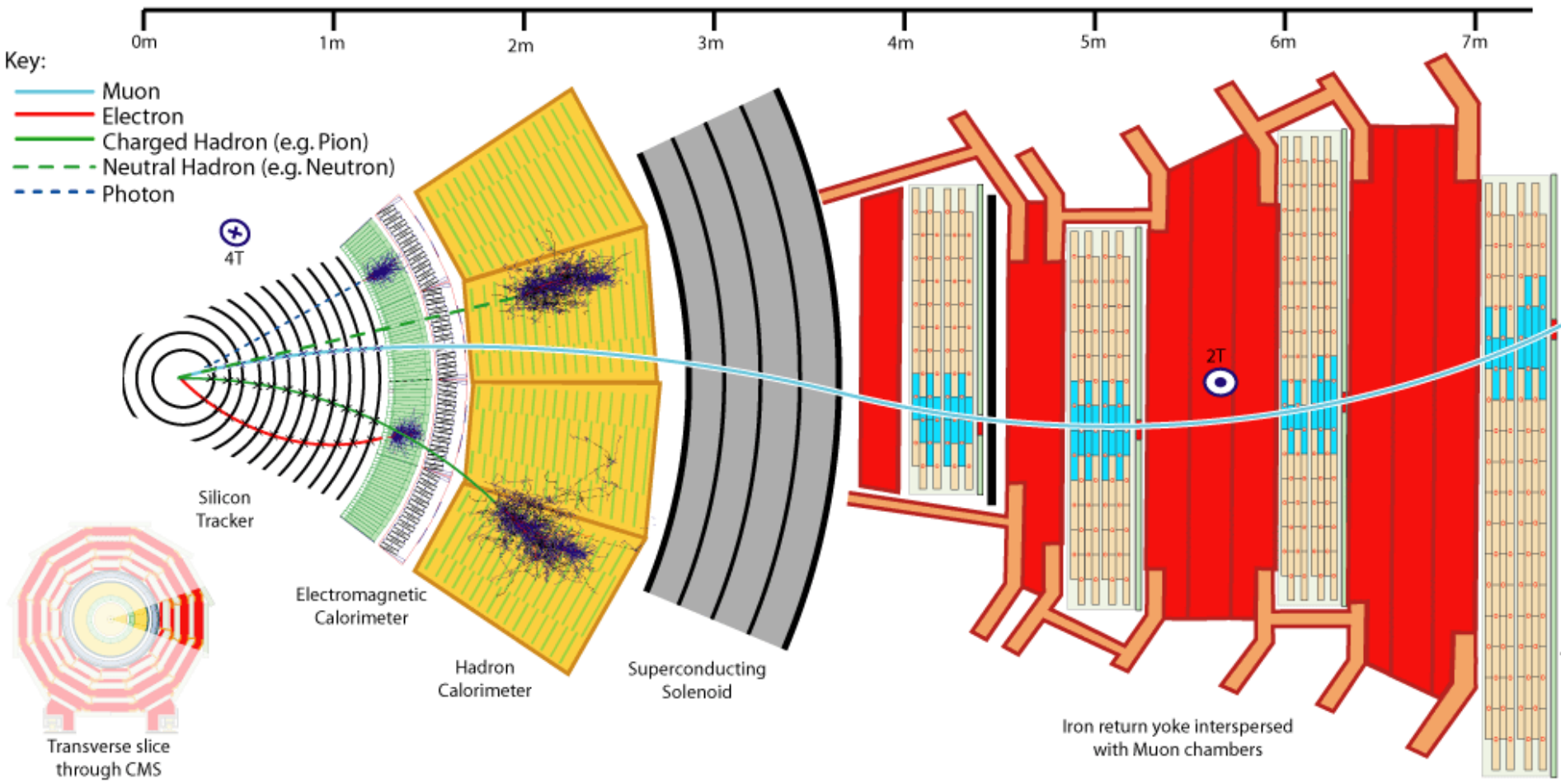
Experiment - Detektor



Was passiert mit den Teilchen im Detektor?
Wie kommt die Physik aus dem Experiment





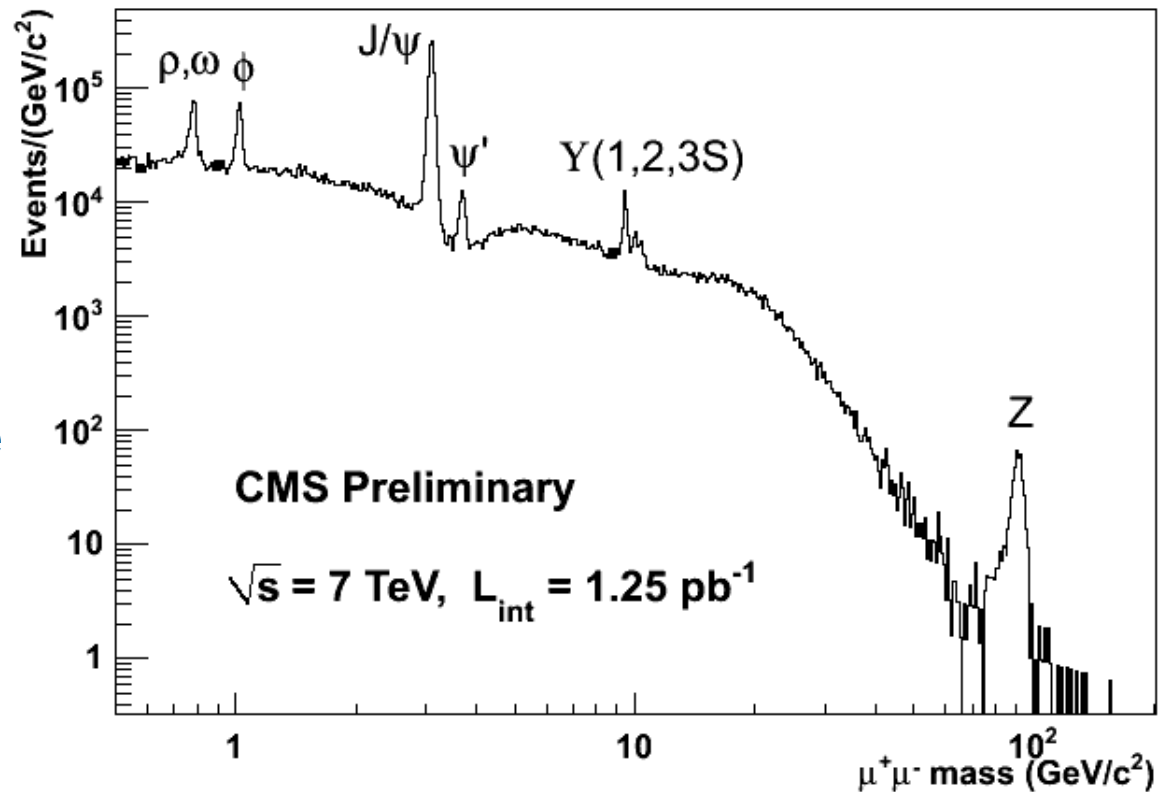


Was passiert wenn Teilchen kollidieren?

...ein "Ereignis":

1. Aufnahme
2. Datenreduktion
3. Verteilung
4. Analyse-Software
5. Auswertung
6. Ergebnis

```
std::vector<Sample*> samples;
std::vector<std::vector<float>> countABCD;
samples.clear();
cout<<prefix<<"creating samples and fwLite::ChainEvents:"<<endl;
std::vector<float> masses;
```

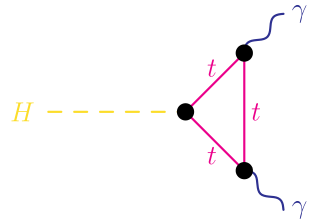


```
if (!hasNoElectron) continue;
cout<<prefix<<"Electron pairs: " <<endl;
```

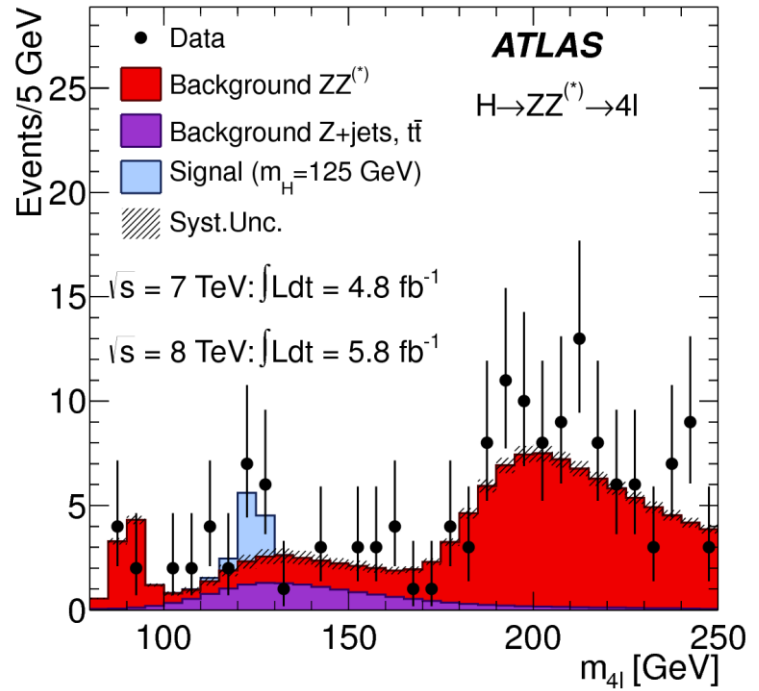
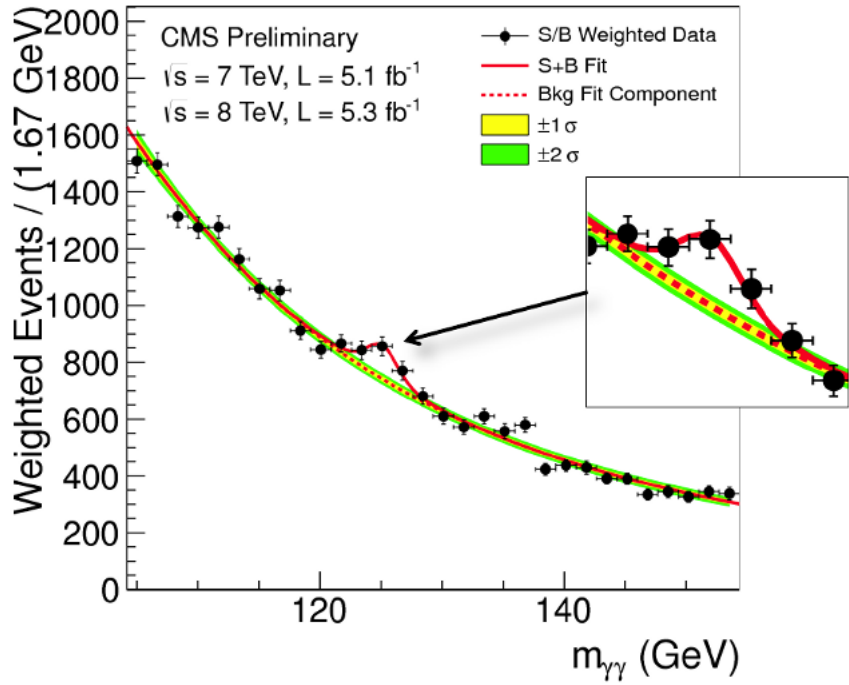
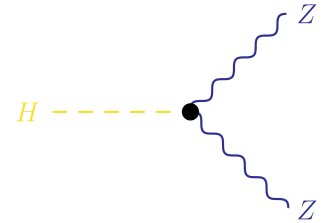
Ein "realistisches" Bild von 100 Milliarden pp Kollisionen

Experimentelle Entdeckung eines Higgs-artigen Teilchens Sommer 2012 am CERN bei CMS und Atlas

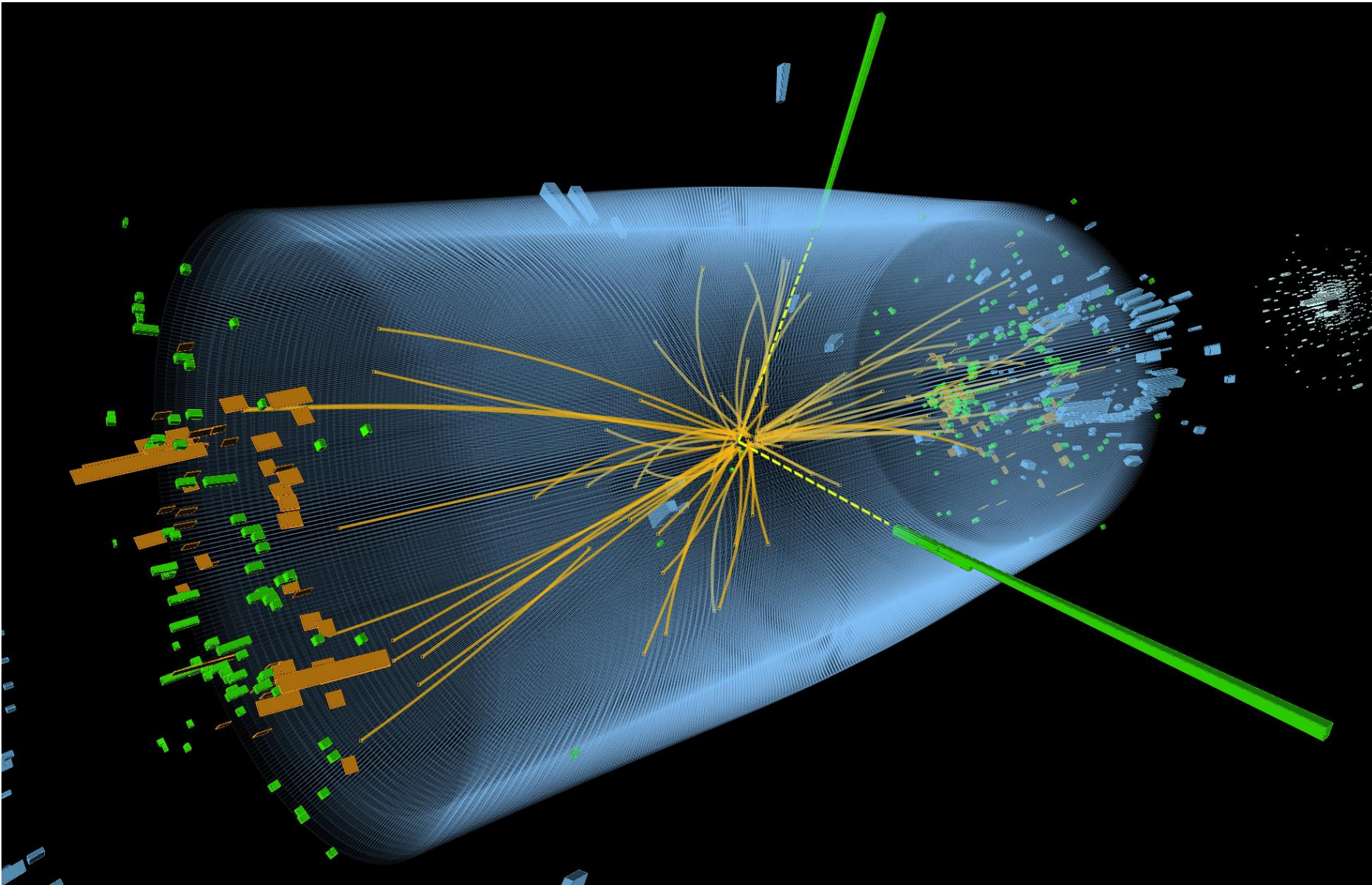
Zerfall in
zwei Photonen



Zerfall in
zwei Z-Bosonen



Higgs Zerfall in zwei Photonen bei CMS



Einige 'heiße' Fragen der Teilchenphysik

(die zur Zeit experimentell untersucht werden)

- Ist das, was 2012 entdeckt wurde, wirklich das **Higgs-Teilchen**?
- Welcher Natur sind die '**Dunkle Materie**' und '**Dunkle Energie**' des Universums?
- Warum gibt es mehr **Materie als Antimaterie**?
- Warum haben **Neutrinos** eine so **kleine Masse**, und warum mischen sie?
- Gibt es eine **Vereinigung aller Kräfte** ('Grand Unification'), einschließlich der Gravitation?
- Warum sind die **Massen** der bekannten Teilchen so **unterschiedlich**?
- Gibt es eine allumfassende (verborgene) Symmetrie wie **Supersymmetrie (SUSY)** → 'Spiegelwelt' zu den bekannten Teilchen.
- Gibt es noch **weitere Dimensionen**, $D > 4$? (→ Stringtheorie, ...)

Danke für ihre Aufmerksamkeit!



www.hephy.at



www.cern.ch



www.facebook.com/HephyVienna

Backup Slides

- „Sichtbare“ Masse (sichtbar durch Abgabe elektromagnetischer Strahlung) deckt sich nicht mit jener, die sich durch ihre Gravitation erkennbar macht
- Chandra Röntgen Teleskop:
 - „Sichtbare“ Materie (rot)
- Hubble Teleskop:
 - Masseverteilung aufgrund des Gravitationslinseneffekts (blau)
- Unterschied:

Dunkle Materie



Bullet Cluster (1E 0657-56) : Zusammengesetzte Aufnahme aus normaler Materie (rot) und Dunkler Materie (blau)

Dunkle Materie und Dunkle Energie

- **Dunkle Materie** ist größte Teil der Materie im Universum
- Heutzutage beobachtet man eine Beschleunigung der Ausdehnung des Universums
- **Dunkle Energie**

