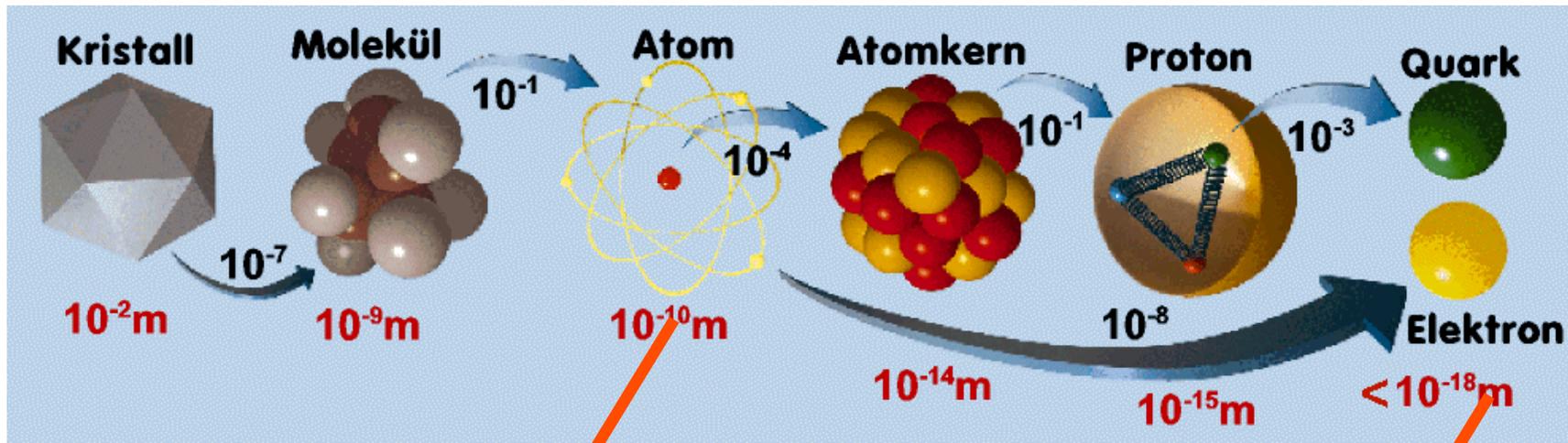


Von Quanten, Quarks und Higgs

Peter Schleper
Universität Hamburg
25.3.2013, MNU – Hamburg



Quantenphysik: kleinste Bausteine der Natur



Periodensystem der Elemente

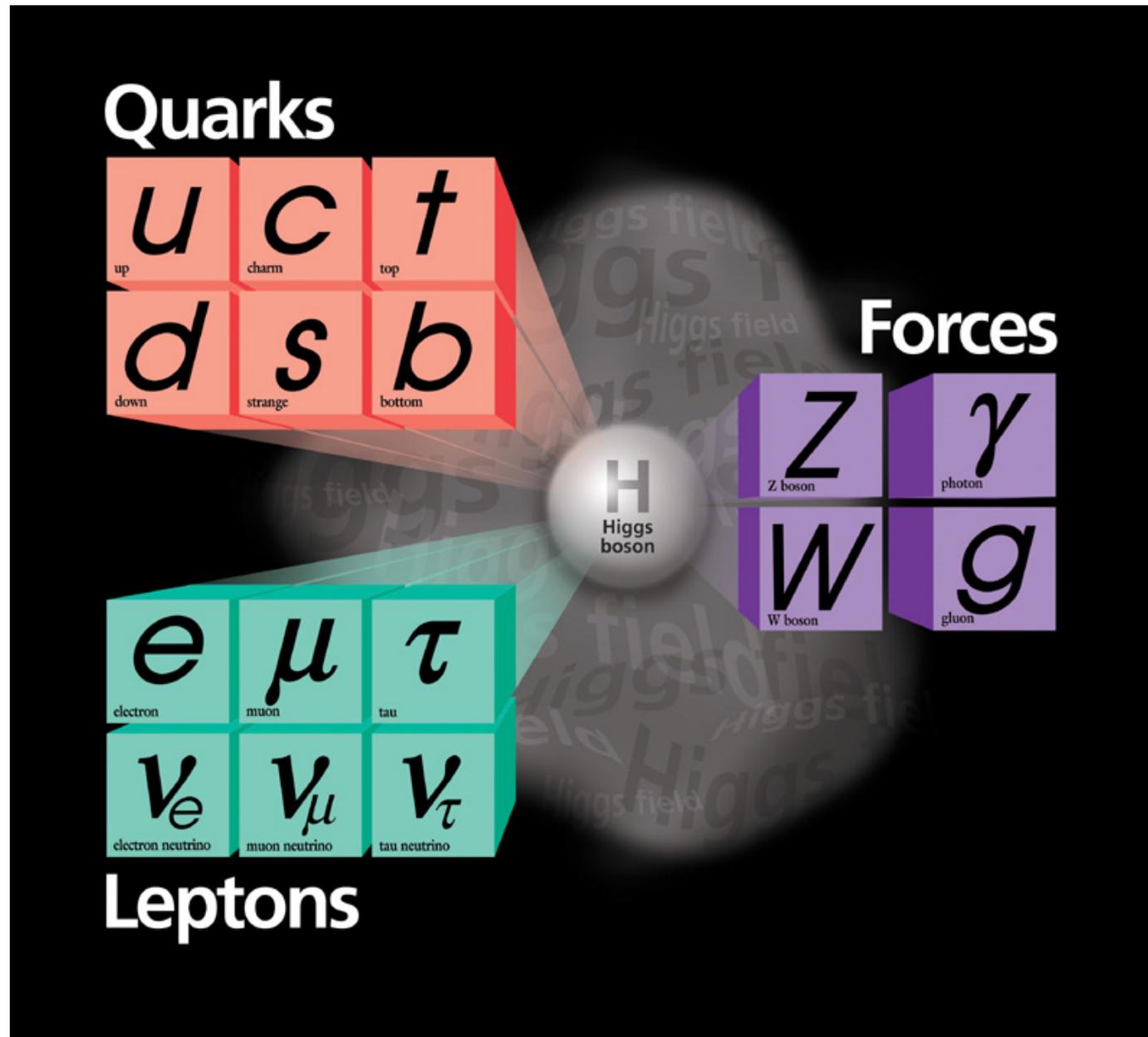
	I	II	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb	IB	IIB	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	1 H 1,007															2 He 4,002		
2	3 Li 6,941	4 Be 9,012									5 B 10,81	6 C 12,01	7 N 14,00	8 O 15,99	9 F 18,99	10 Ne 20,17		
3	11 Na 22,98	12 Mg 24,30									13 Al 26,98	14 Si 28,08	15 P 30,97	16 S 32,06	17 Cl 35,45	18 Ar 39,94		
4	19 K 39,09	20 Ca 40,07	21 Sc 44,95	22 Ti 47,88	23 V 50,94	24 Cr 51,99	25 Mn 54,93	26 Fe 55,84	27 Co 58,93	28 Ni 58,69	29 Cu 63,54	30 Zn 65,39	31 Ga 69,72	32 Ge 72,61	33 As 74,92	34 Se 78,96	35 Br 79,90	36 Kr 83,8
5	37 Rb 85,46	38 Sr 87,62	39 Y 88,90	40 Zr 91,22	41 Nb 92,90	42 Mo 95,94	43 Tc 98,90	44 Ru 101,0	45 Rh 102,9	46 Pd 106,4	47 Ag 107,8	48 Cd 112,4	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,7	52 Te 127,6	53 I 126,9	54 Xe 131,2
6	55 Cs 132,9	56 Ba 137,3	72 Hf 178,4	73 Ta 180,9	74 W 183,8	75 Re 186,2	76 Os 190,2	77 Ir 192,2	78 Pt 195,0	79 Au 196,9	80 Hg 200,5	81 Tl 204,3	82 Pb 207,2	83 Bi 208,9	84 Po 208,9	85 At 209,9	86 Rn 222,0	
7	87 Fr 223,0	88 Ra 226,0	104 Rf 261,1	105 Db 262,1	106 Sg 263,1	107 Bh 265	108 Hs 266	109 Mt 266	110 Ds 269	111 Uu 272	112 Uub 277							
			57 La 138,9	58 Ce 140,1	59 Pr 140,9	60 Nd 144,2	61 Pm 146,9	62 Sm 150,3	63 Eu 151,9	64 Gd 157,2	65 Tb 158,9	66 Dy 162,5	67 Ho 164,9	68 Er 167,2	69 Tm 168,9	70 Yb 173,0	71 Lu 174,9	
			89 Ac 227,0	90 Th 232,0	91 Pa 231,0	92 U 238,0	93 Np 237,0	94 Pu 244,0	95 Am 243,0	96 Cm 247,0	97 Bk 247,0	98 Cf 251,0	99 Es 252,0	100 Fm 257,0	101 Md 258,0	102 No 259,1	103 Lr 260,1	

©2003 periodensystem.info

Teilchenphysik:
Quarks und Elektronen
fundamental und unteilbar

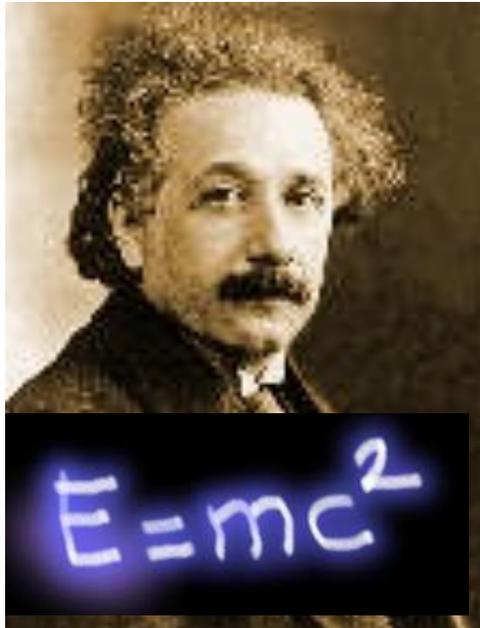
Chem. Bindungsenergie
 $\sim 1 \text{ eV}$

Teilchen und Kräfte im Standard - Modell

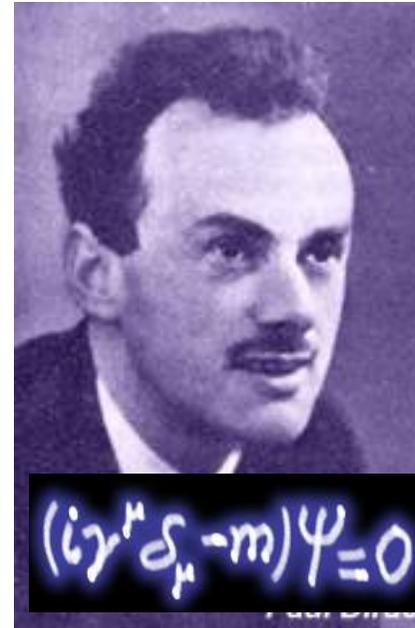


Materie und Antimaterie

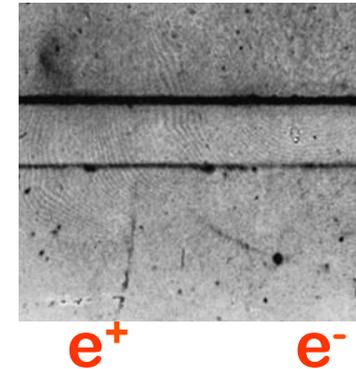
Albert Einstein 1905:



Paul Dirac 1928 :



Entdeckung 1933



Spezielle Relativitätstheorie

- Lichtgeschwindigkeit ist universell
 $c = 30 \text{ cm} / \text{ nano-Sekunde}$
- Energie kann in Masse übergehen
→ Erzeugung neuer Teilchen

Relativistische Quantenphysik

- Vorhersage der Antimaterie
- Elektron: Ladung = -1
- Positron: Ladung = +1

Mathematik → Vorhersage der Eigenschaften der Natur

Masse der bekannten Teilchen

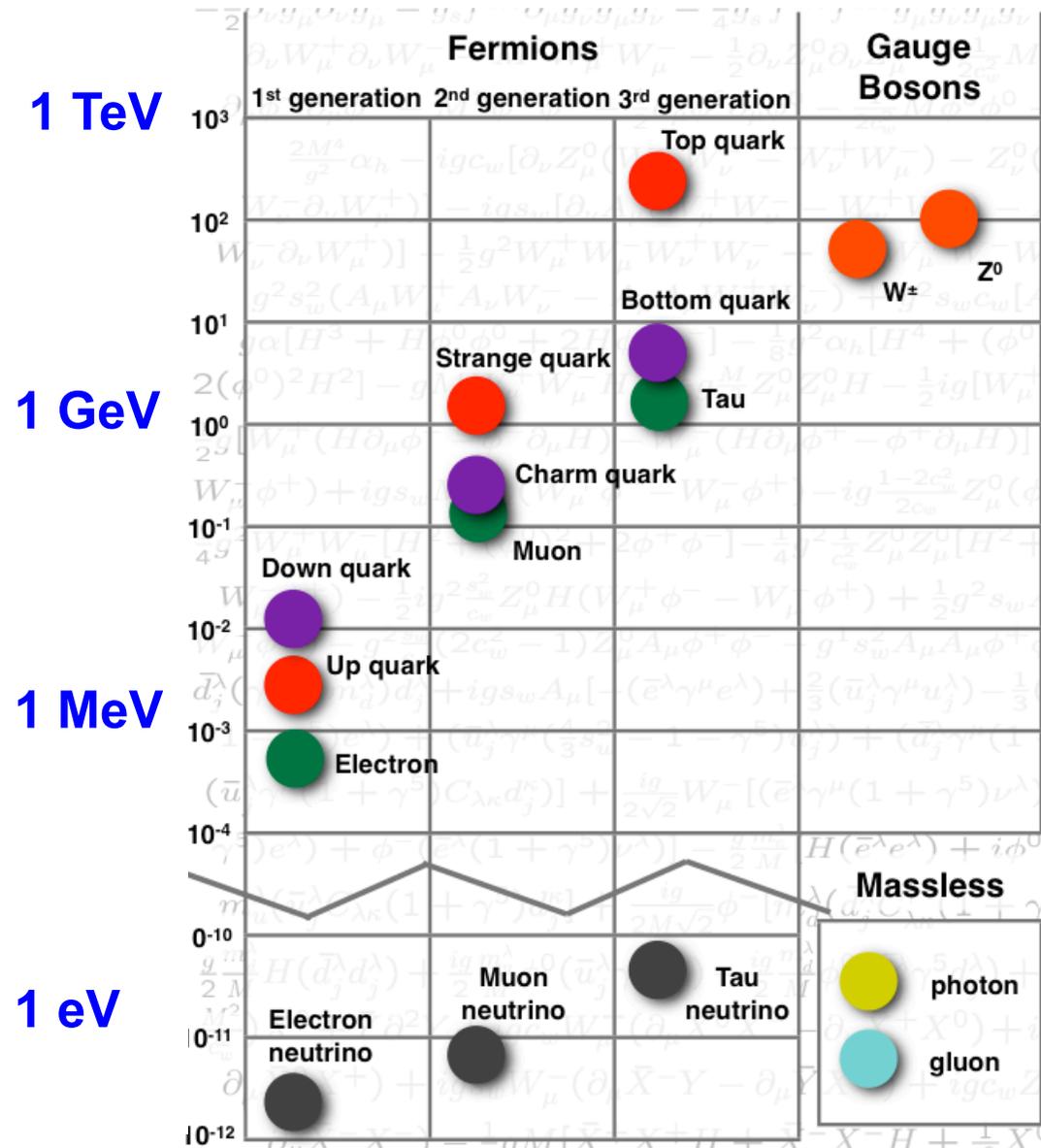
Masse W,Z, Photon, Gluon,
Elektron, Quarks, ...
= 0 vorhergesagt
aufgrund Symmetrie

→ Symmetrie-Brechung

Masse des Higgs

- Theoretische Vermutung:
- Standard-Modell: < 1 TeV
- Supersymmetrie: < 135 GeV

→ Beschleuniger

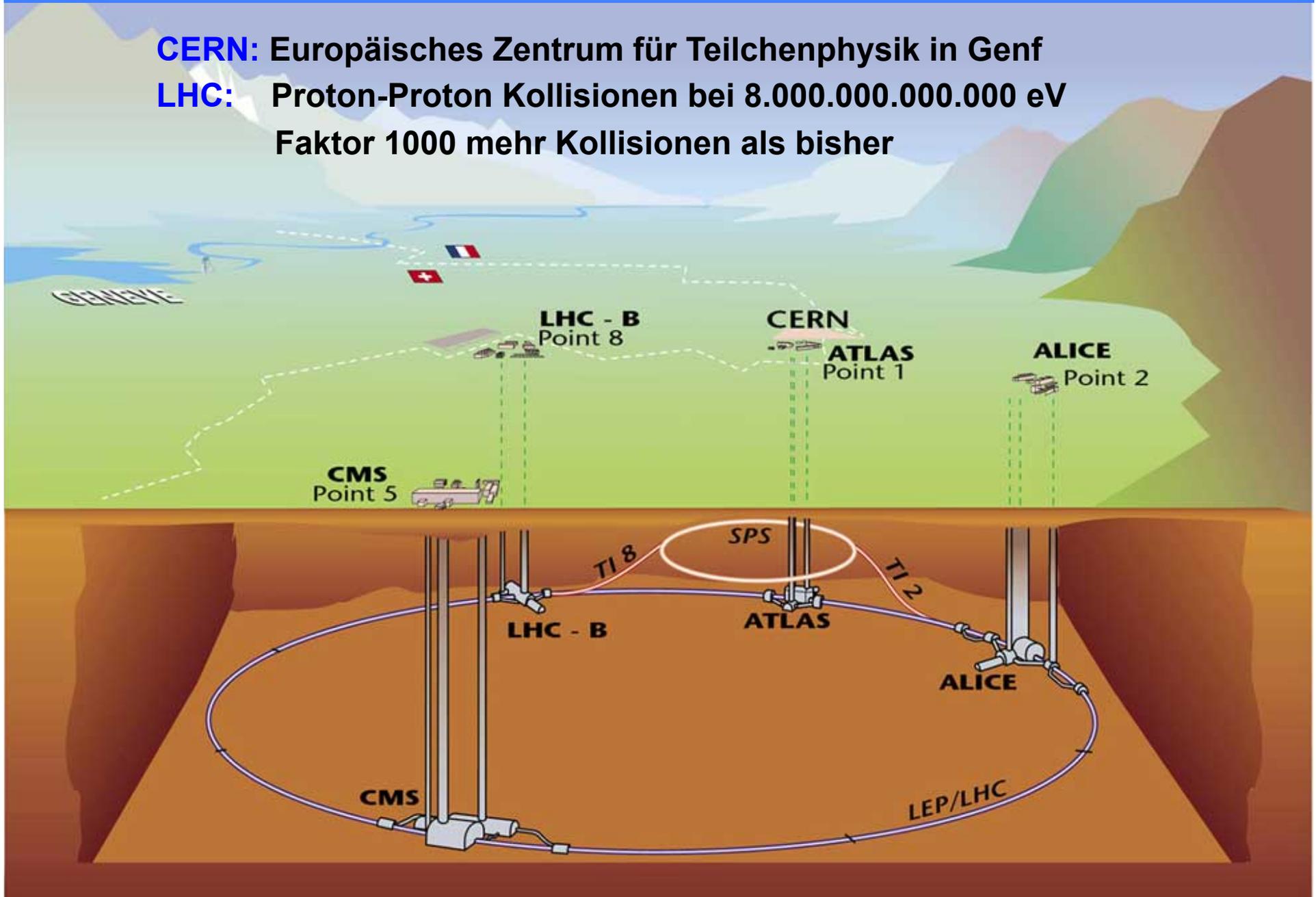


LHC: Large Hadron Collider

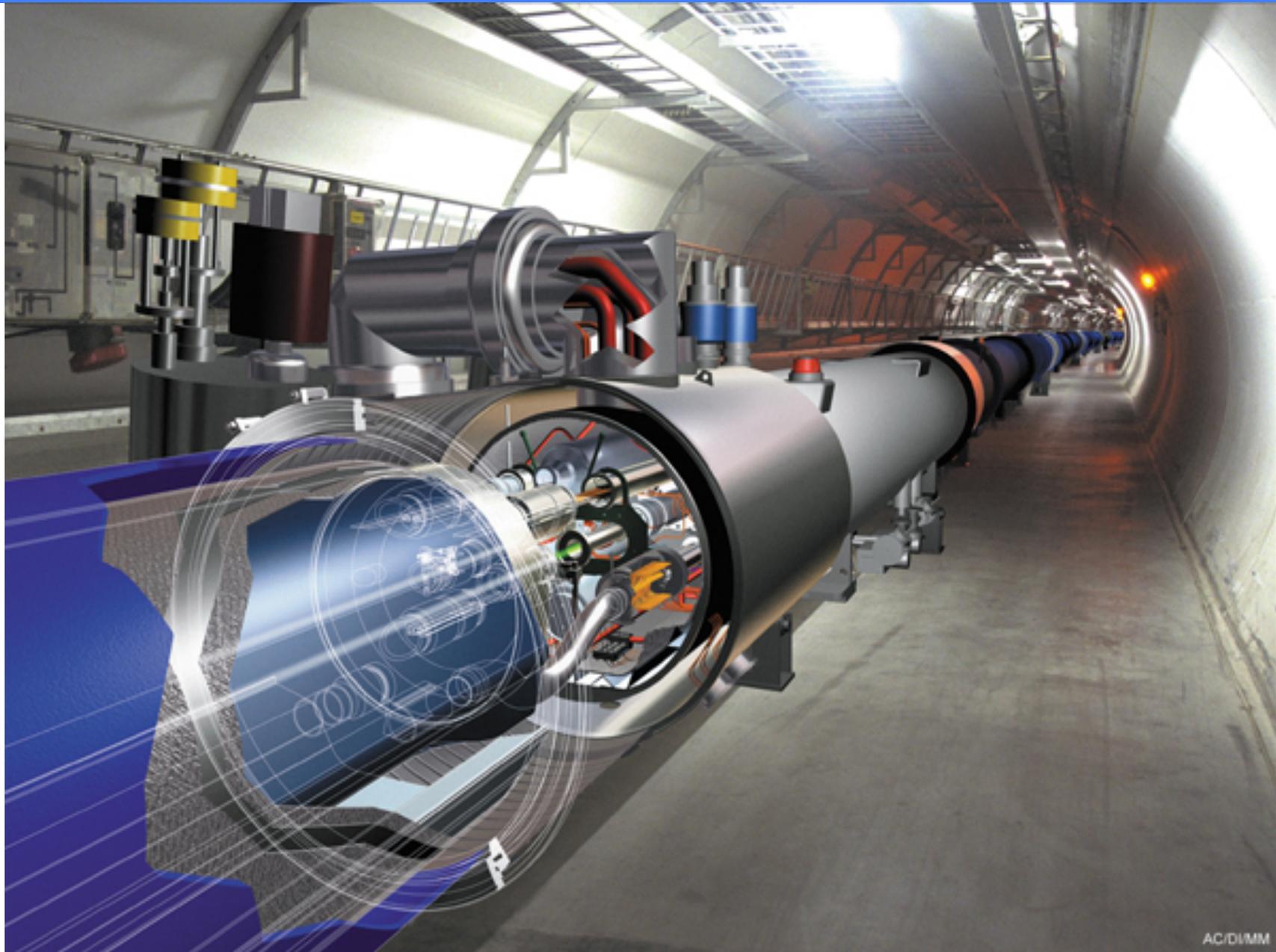
CERN: Europäisches Zentrum für Teilchenphysik in Genf

LHC: Proton-Proton Kollisionen bei 8.000.000.000.000 eV

Faktor 1000 mehr Kollisionen als bisher

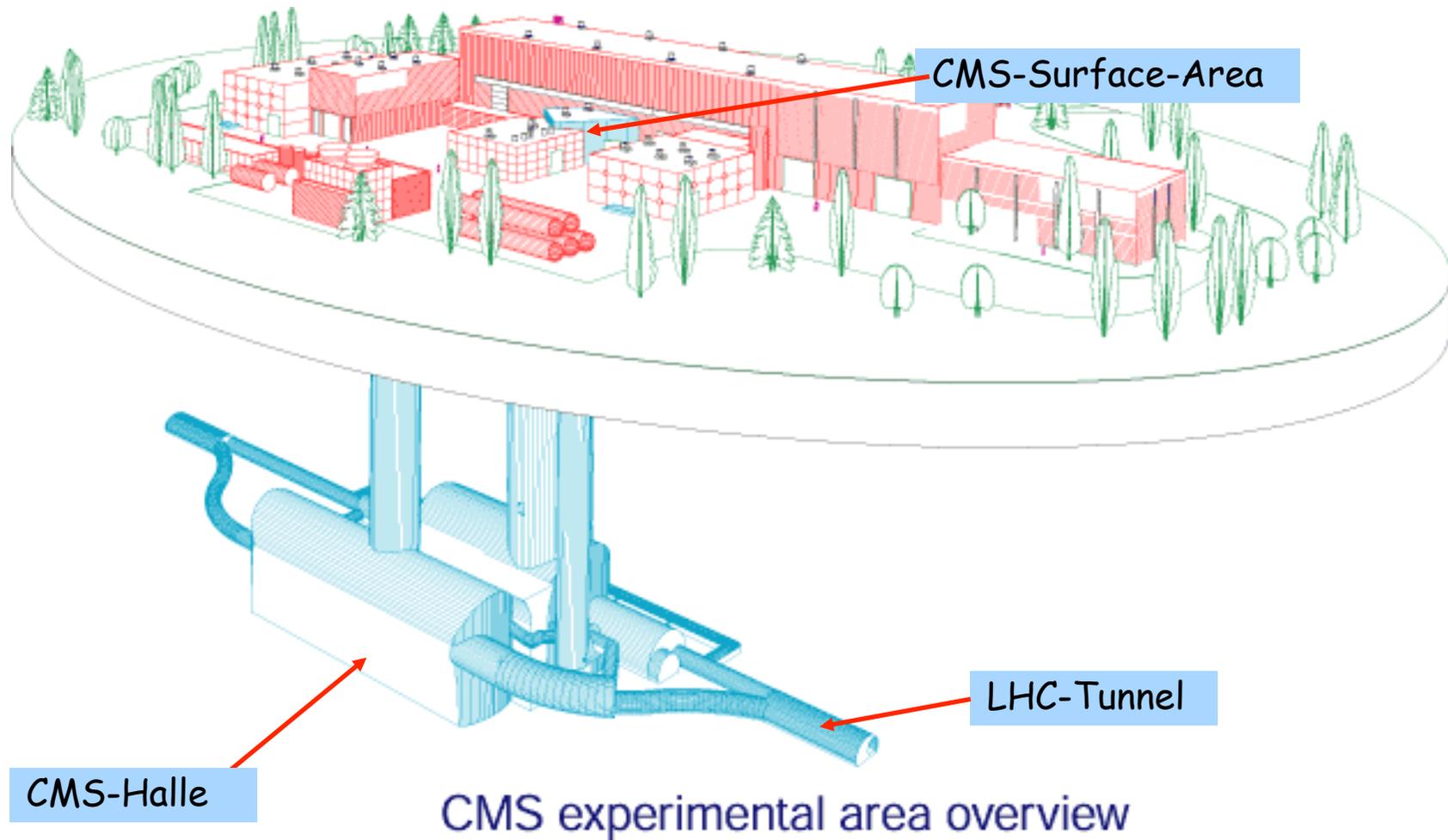


Der Large Hadron Collider am CERN



Das CMS-Experiment

Compact Muon Solenoid – 100m unter der Erde



CMS Experiment: Compact Muon Solenoid

39 Länder

184 Institute

2700 Physiker & Ing.

<http://cms.web.cern.ch>

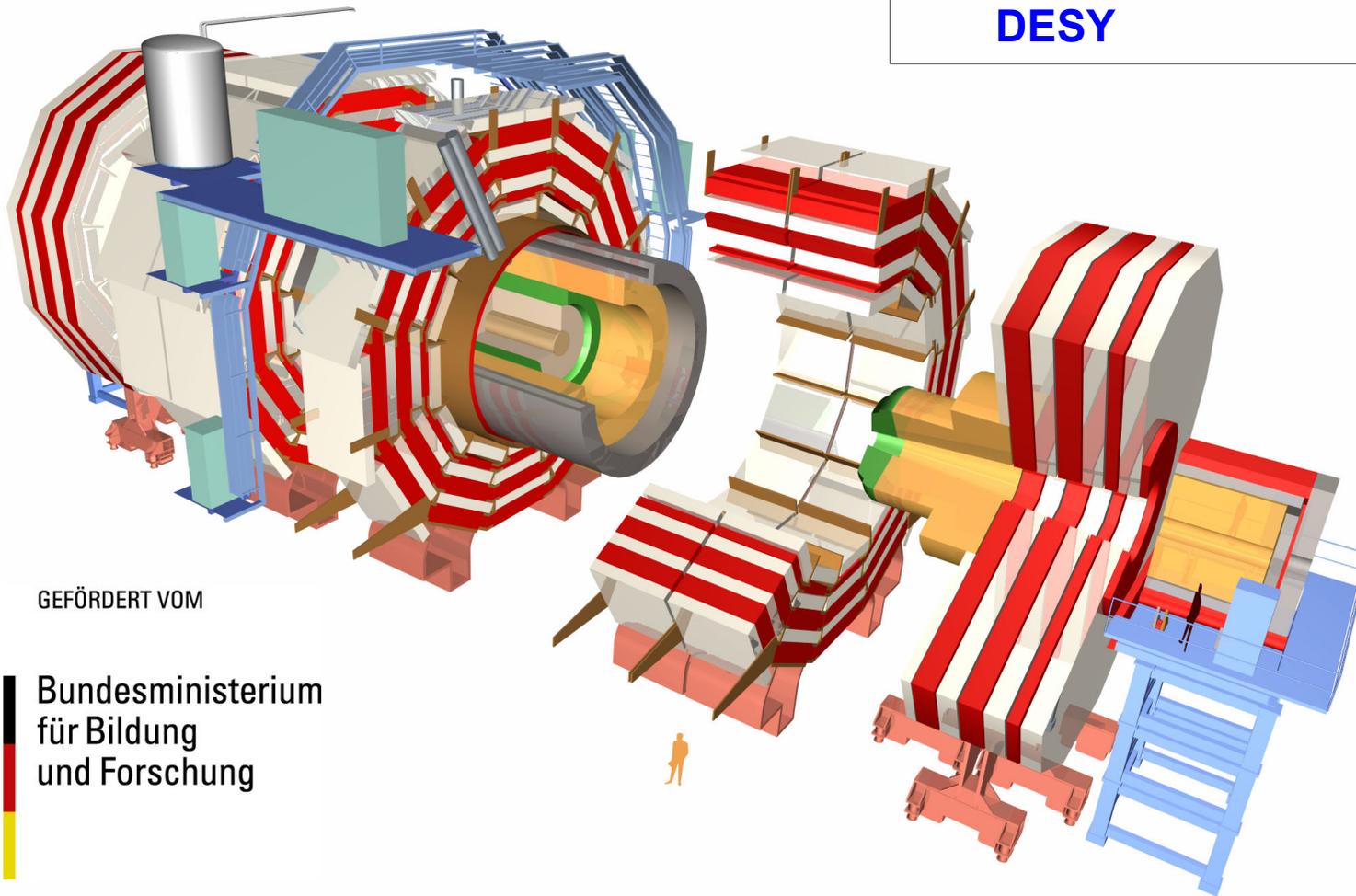
Deutsche Gruppen:

RWTH Aachen

Uni. Hamburg

KIT Karlsruhe

DESY



GEFÖRDERT VOM



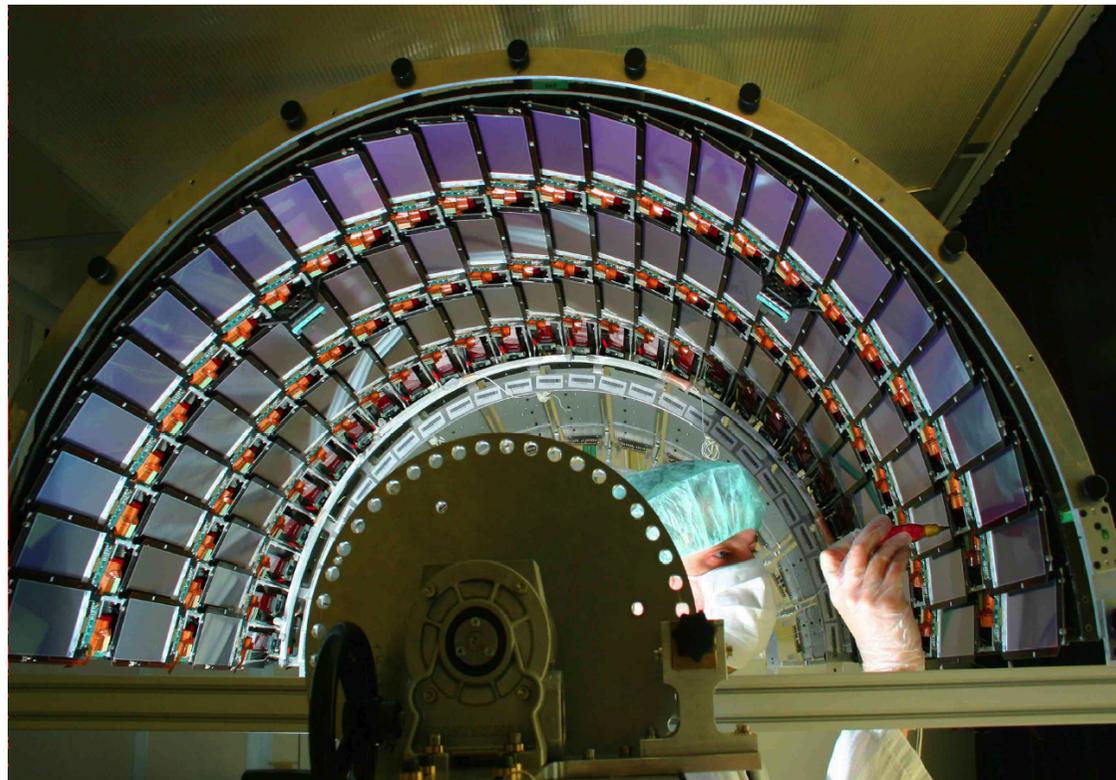
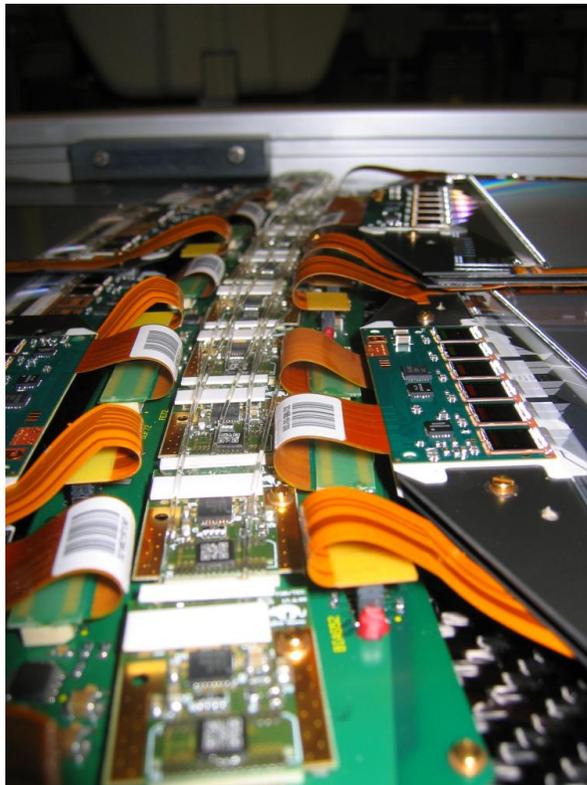
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Detektoren

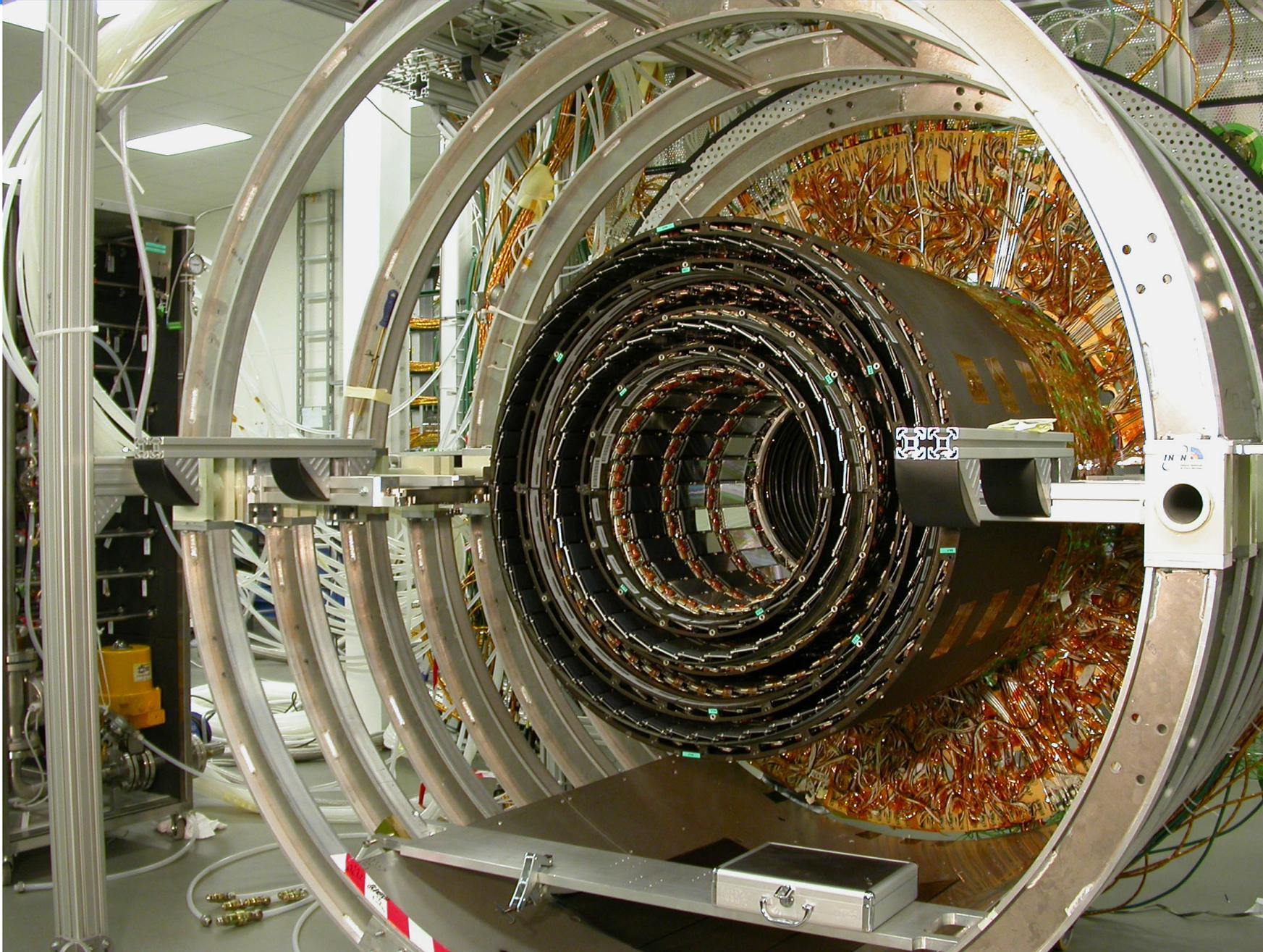


600 Millionen el. Kanäle
Kollisionen alle 25 ns
Daten werden weltweit analysiert

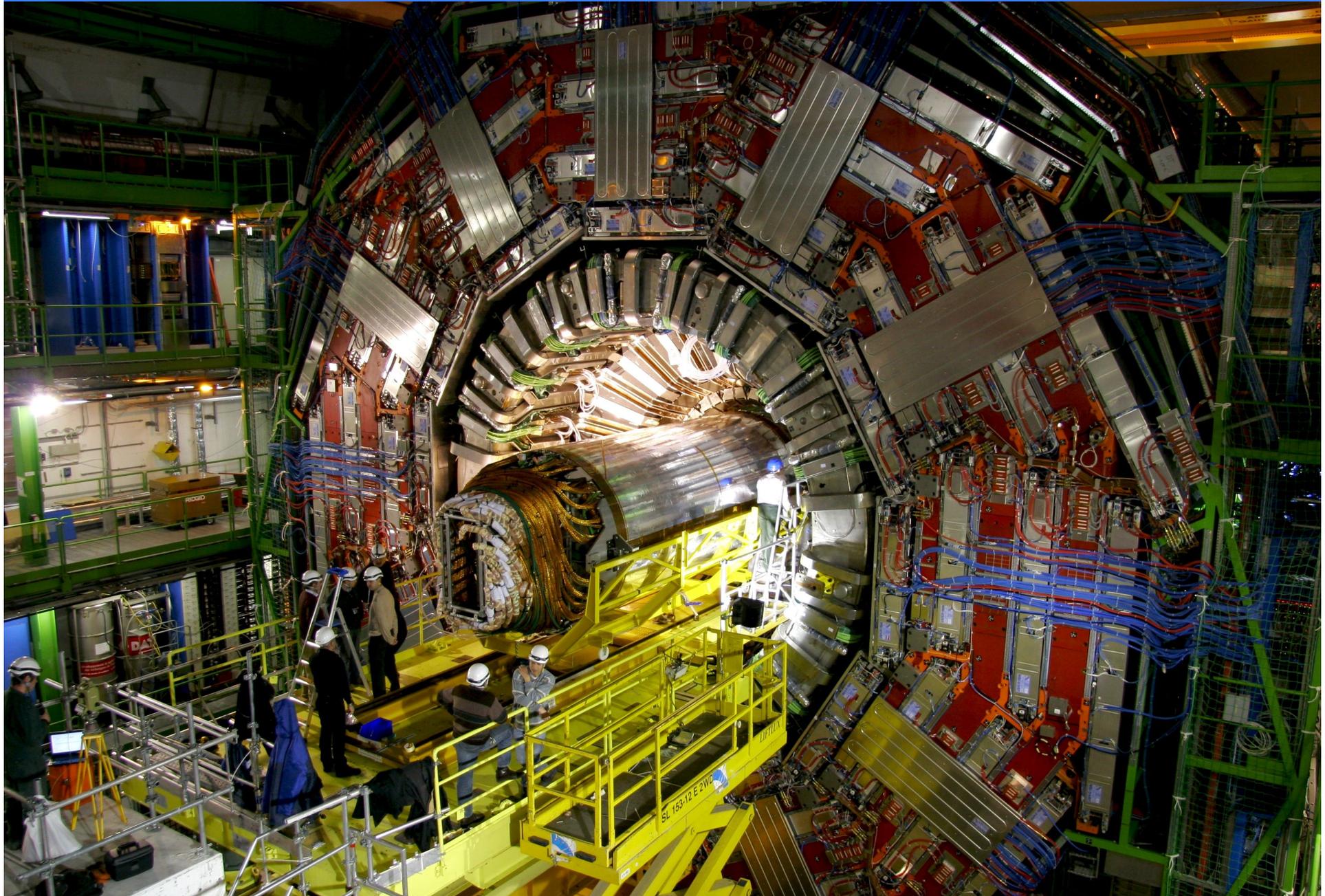
Beispiel: Silizium - Detektor



Detektoren



CMS Detektor

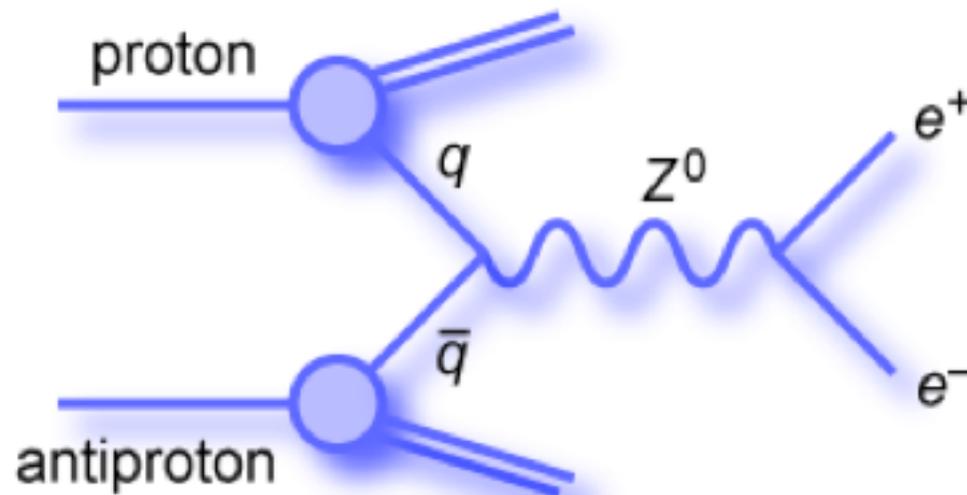


Videos - I

LHC & Atlas: Z – Zerfall

<http://cdsweb.cern.ch/record/1309873>

[lokal](#)



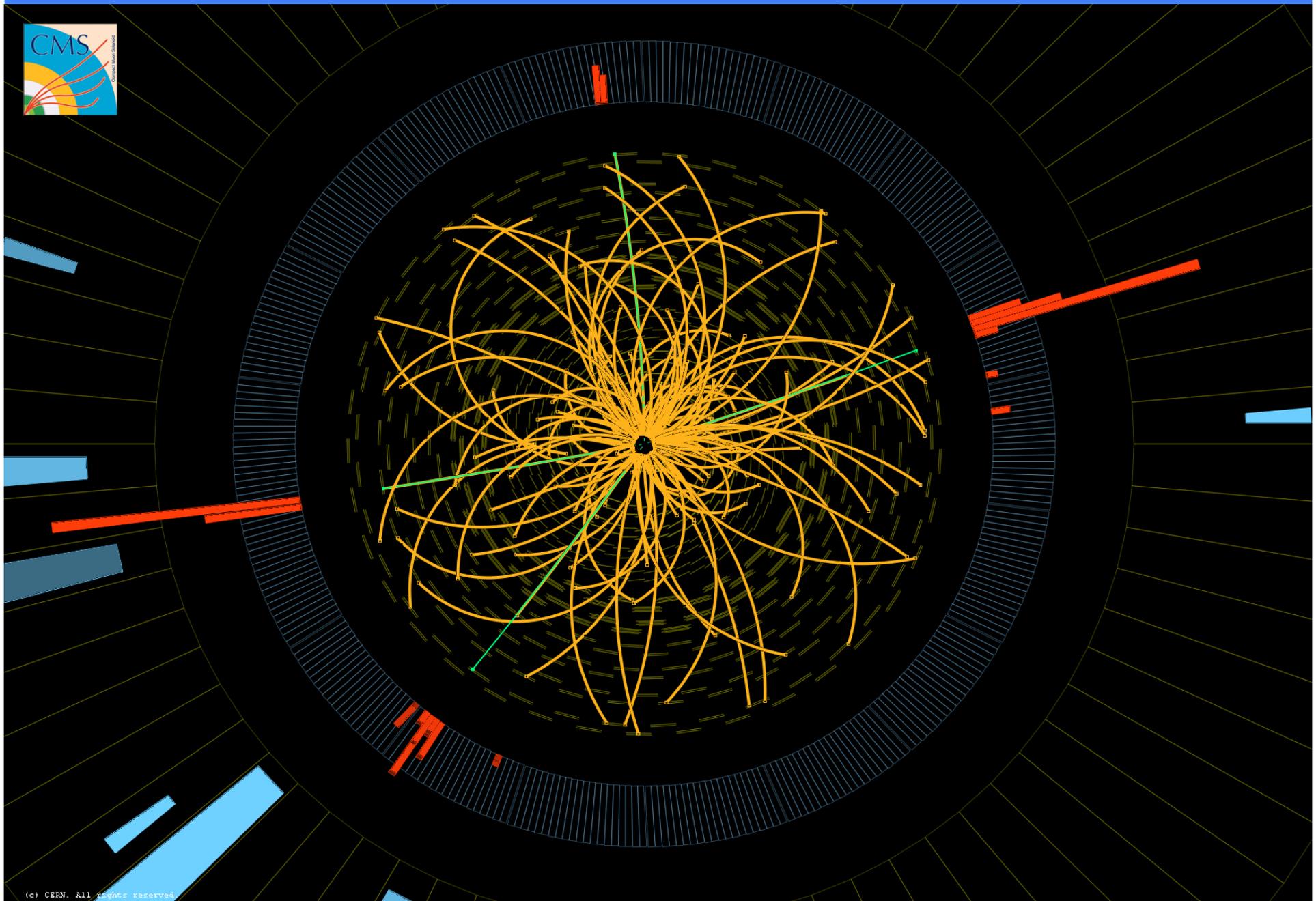
CMS: Higgs Kandidaten

H- \rightarrow 4 Muonen [lokal](#) <http://cdsweb.cern.ch/record/1406329>

H- \rightarrow Photonen [lokal](#) <http://cdsweb.cern.ch/record/1406328>

H- \rightarrow 4 Elektron [lokal](#) <http://cdsweb.cern.ch/record/1406325>

CMS: Proton-Proton Kollisionen



Symmetrien

Symmetrien in der Quantenmechanik

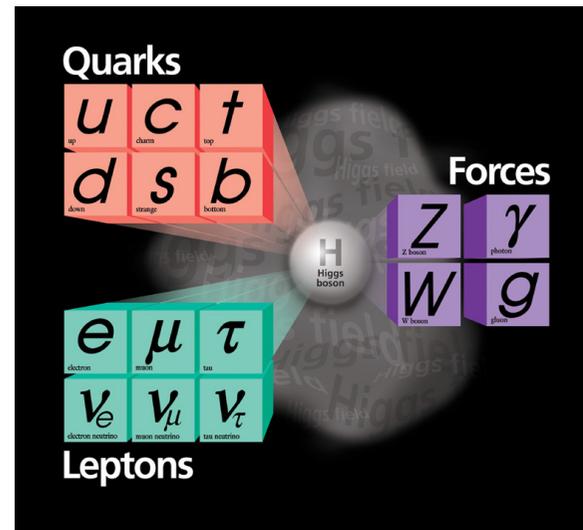
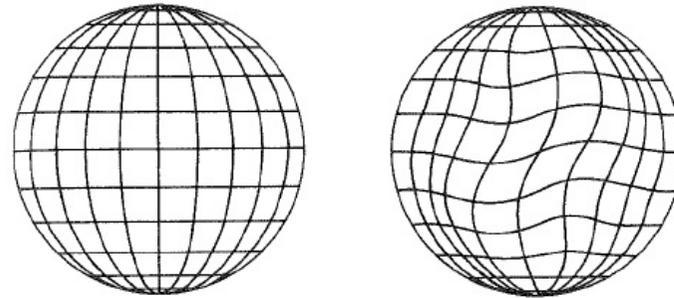
- Beschreiben Eigenschaften der Teilchen – Wellen
 - Vorhersage der Kräfte !!
- Analogie: Drehung eines Balls → Phase einer Welle

Vorhersagen, Entdeckungen & Nobelpreise

- Starke und Schwache Kraft
- 3. Neutrino, Quarks: charm, top
- W, Z, Gluon
- Erfolgreich für alle Experimente
- **Higgs ??**

Problem:

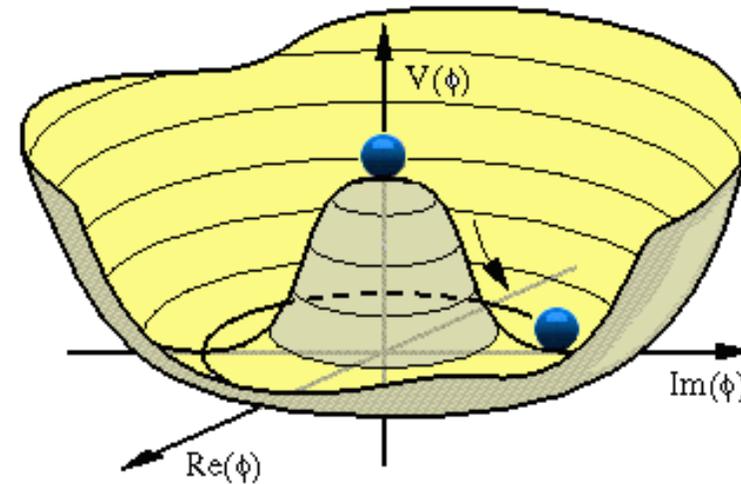
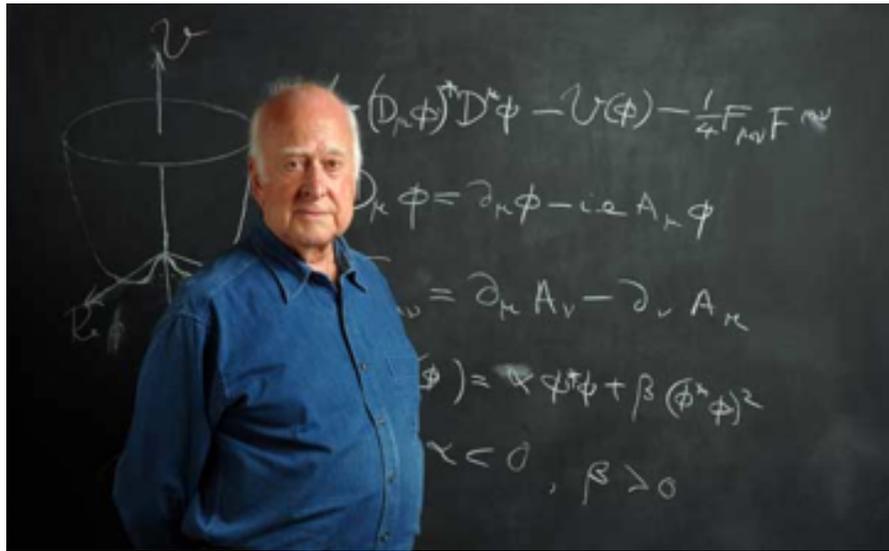
- Unterschiede zwischen Teilchen
- Massen sind verboten !!



Symmetrie – Brechung

„Symmetrie ist die Kunst der Phantasielosen“
(unbekannt)

Symmetrie - Brechung



Postulat von Peter Higgs und anderen (1964):

- Neues Feld, das selbst im Vakuum nicht Null ist
- Teilchen reagieren mit diesem Feld und werden dadurch abgebremst
→ Bewegung der Teilchen so, als hätten sie Masse
→ Masse erklärt als Kraftkonstante λ

$$m = \lambda * v_{\text{Higgs}} \quad (v = \text{Higgs - Feld im Vakuum})$$

- Nachweis: Anregung des Higgs - Feldes (Teilchen)
- Analogie: Bewegung durch Wasser



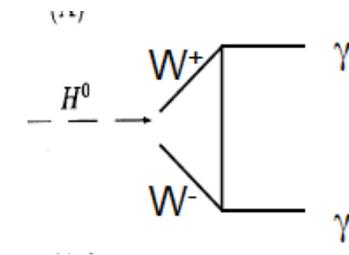
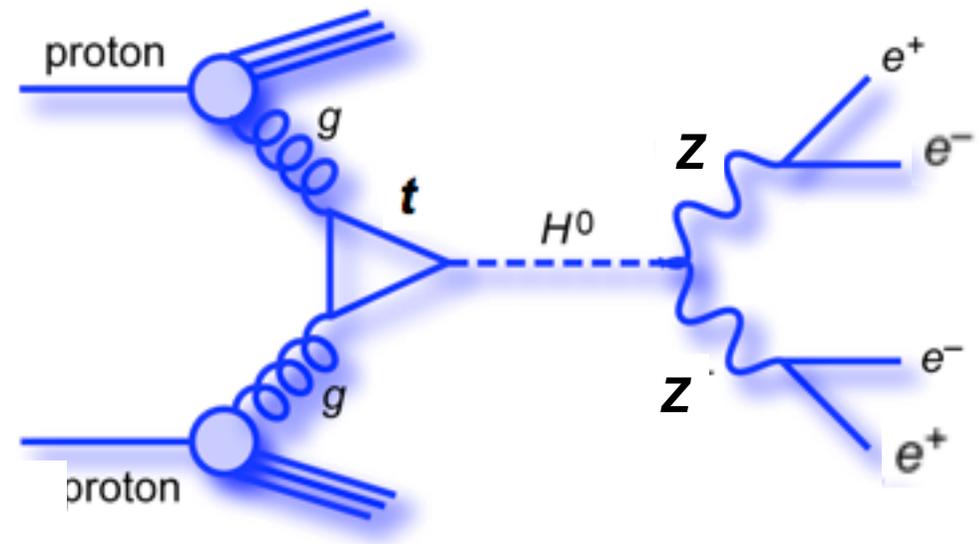
Nachweis des Higgs - Teilchens

Erzeugung von Higgs – Teilchen

- Benötige Teilchen mit hoher Masse \sim Kraftkonstante
→ mehrstufiger Prozess
→ kleine Rate

Nachweis durch Zerfälle

- $p p \rightarrow H \rightarrow Z Z \rightarrow e^+e^- e^+e^-$
- $p p \rightarrow H \rightarrow Z Z \rightarrow e^+e^- \mu^+\mu^- , \dots$
- $p p \rightarrow H \rightarrow W W \rightarrow \text{Photonen}$



Konkurrierende Prozesse ohne Higgs

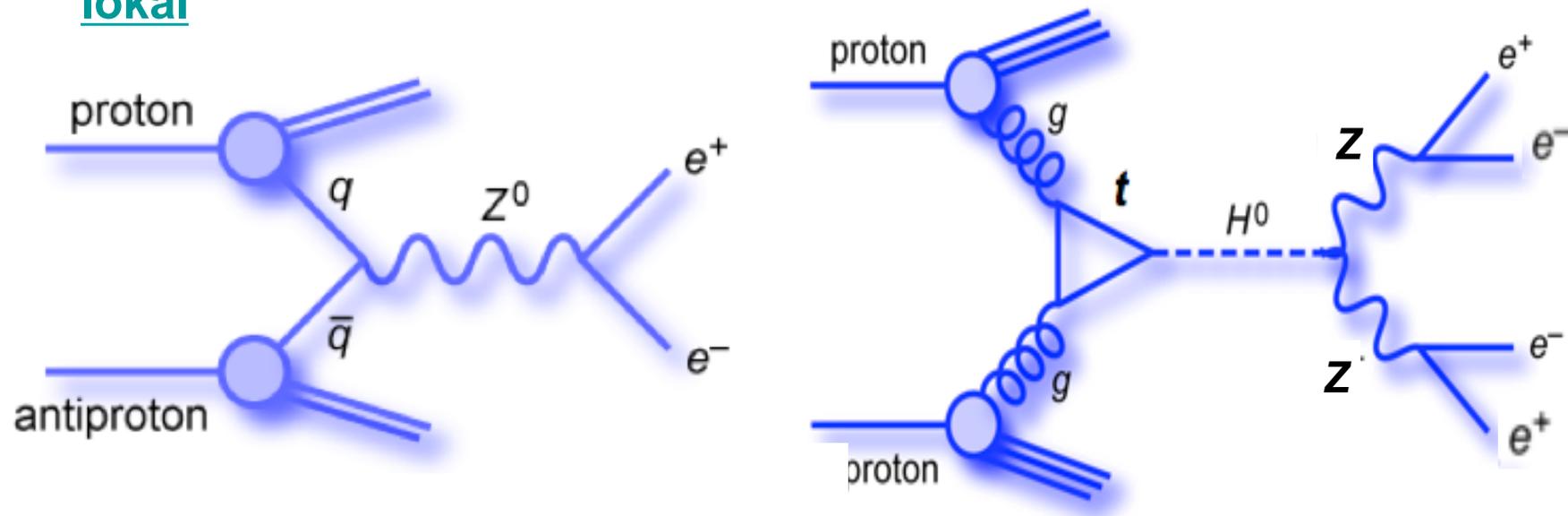
- Viel häufiger
- Finde mehrere Ereignisse mit gleicher Masse
- Berechne Wahrscheinlichkeit, dass Higgs gefunden wurde

Videos - I

LHC & Atlas: Z – Zerfall

<http://cdsweb.cern.ch/record/1309873>

[lokal](#)



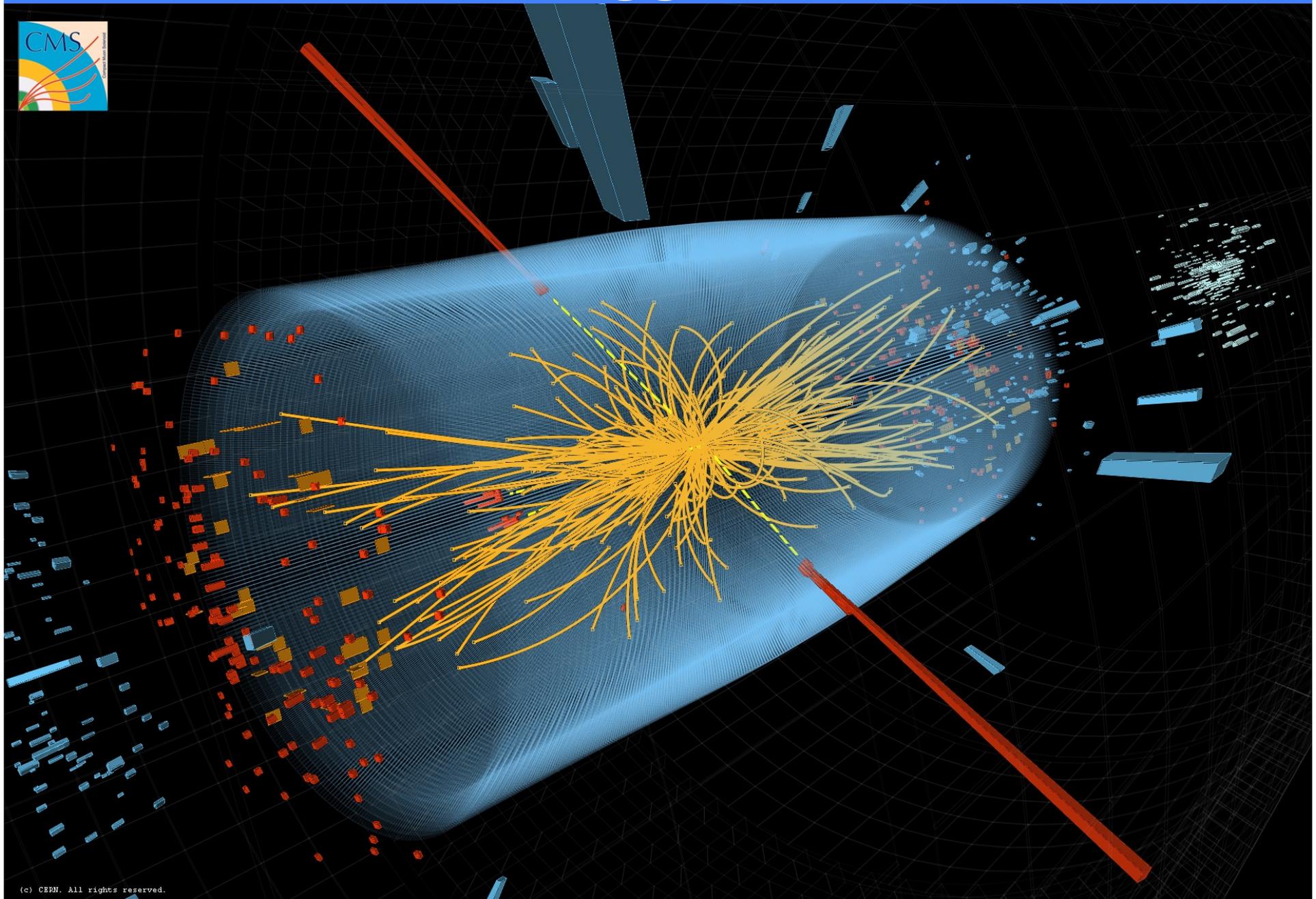
CMS: Higgs Kandidaten

H-> Photonen [lokal](#) <http://cdsweb.cern.ch/record/1406328>

H-> 4 Elektron [lokal](#) <http://cdsweb.cern.ch/record/1406325>

H-> 4 Muonen [lokal](#) <http://cdsweb.cern.ch/record/1406329>

Kandidaten: Higgs \rightarrow Photonen



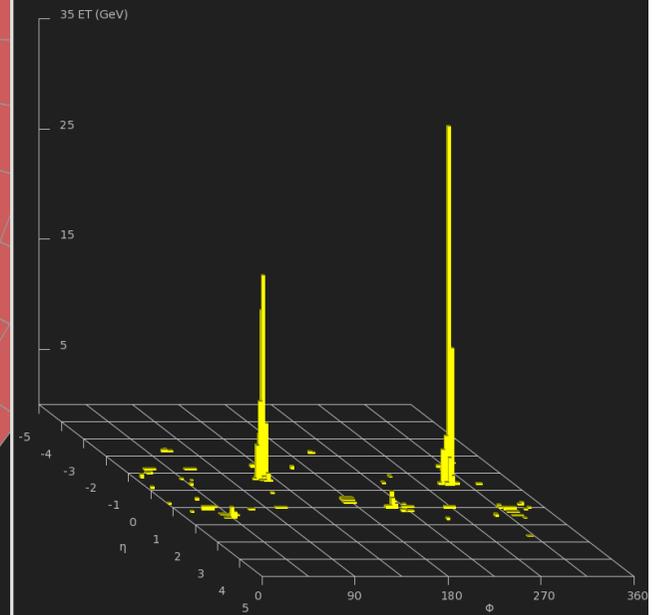
Kandidat: Higgs \rightarrow Photonen



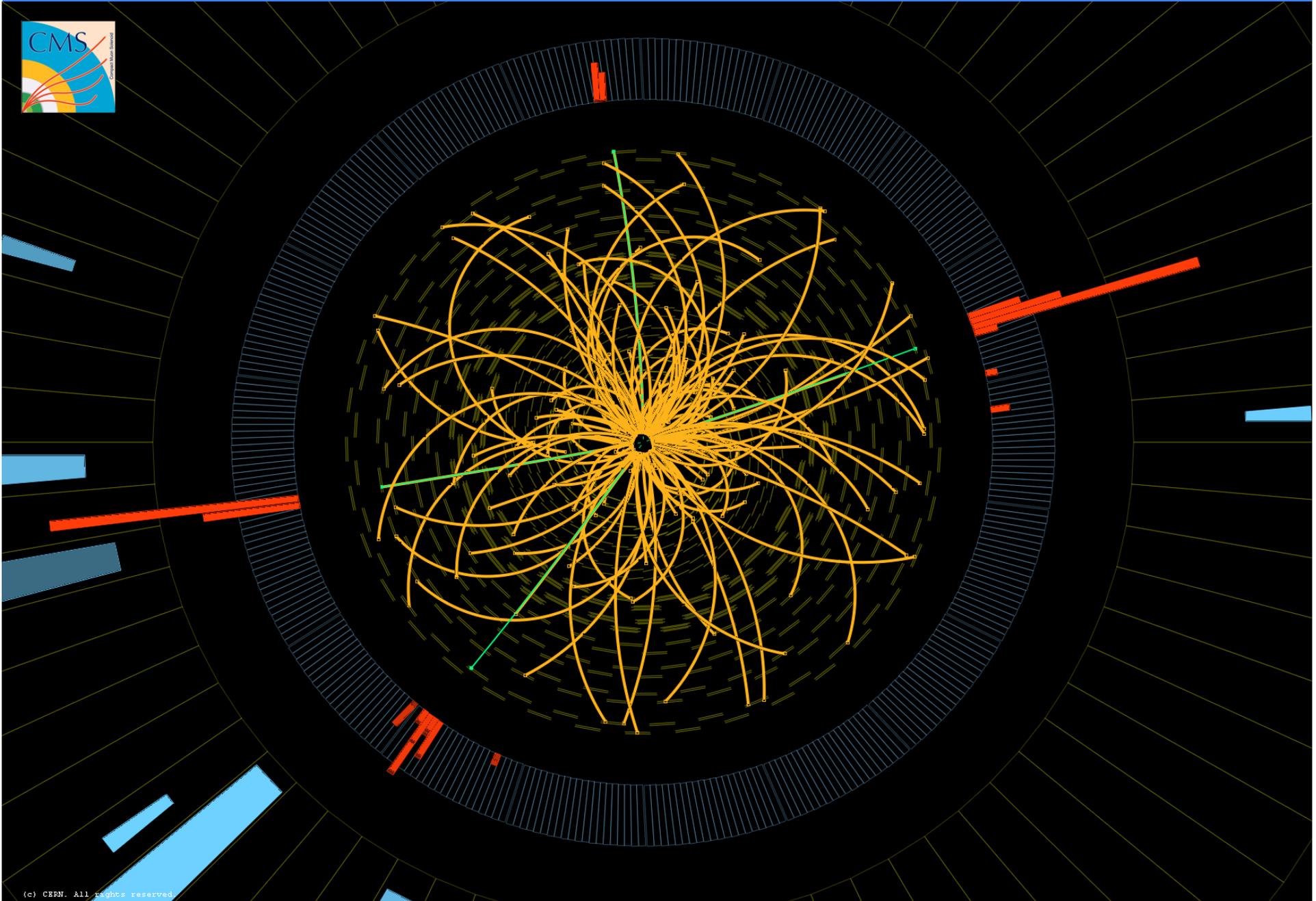
ATLAS
EXPERIMENT

Run Number: 191426, Event Number: 86694500

Date: 2011-10-22 15:30:29 UTC

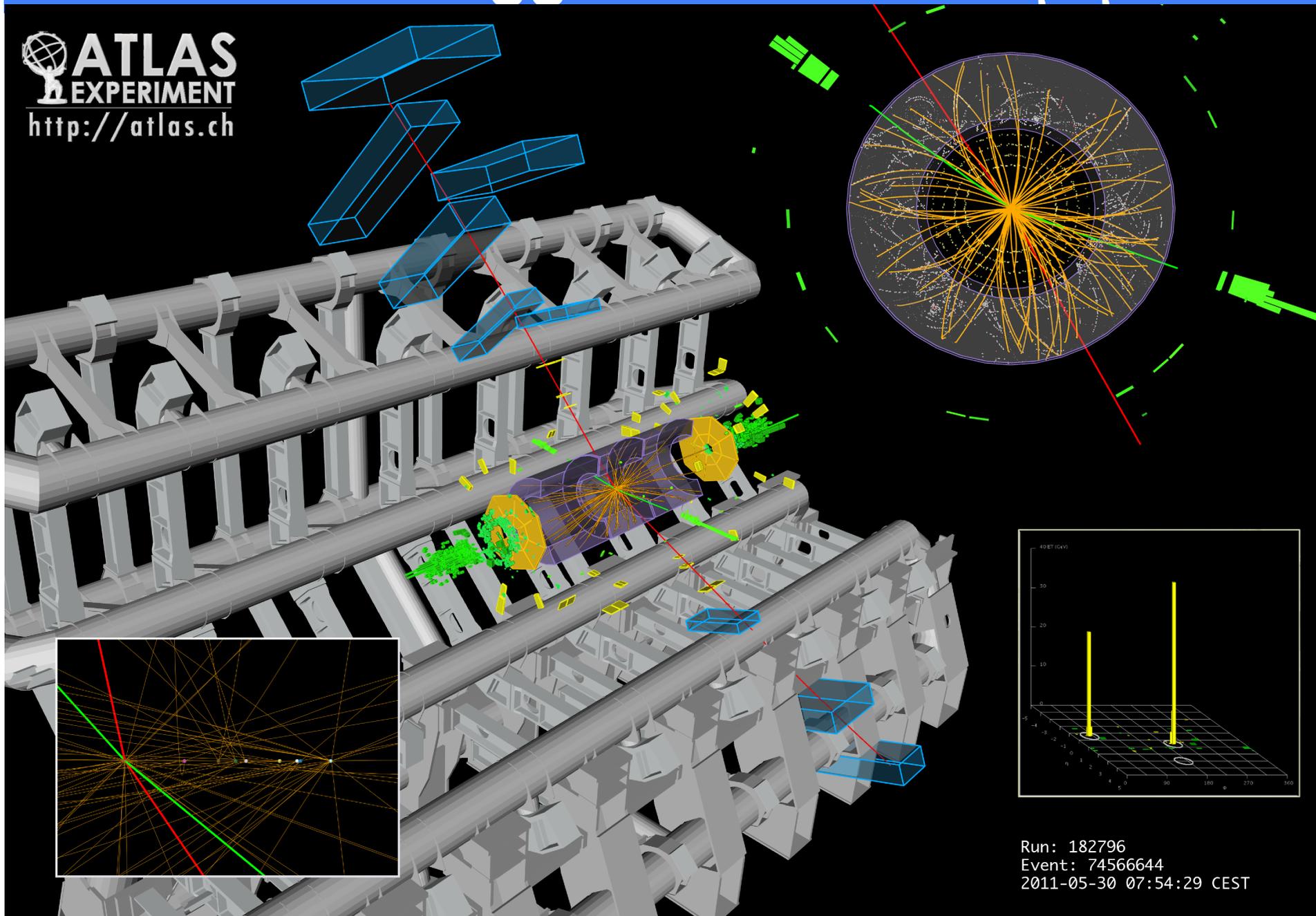


Kandidaten: Higgs \rightarrow Z Z \rightarrow e⁺e⁻ e⁺e⁻



Kandidat: $\text{Higgs} \rightarrow \text{Z Z} \rightarrow \text{e}^+\text{e}^-\mu^+\mu^-$

 **ATLAS**
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

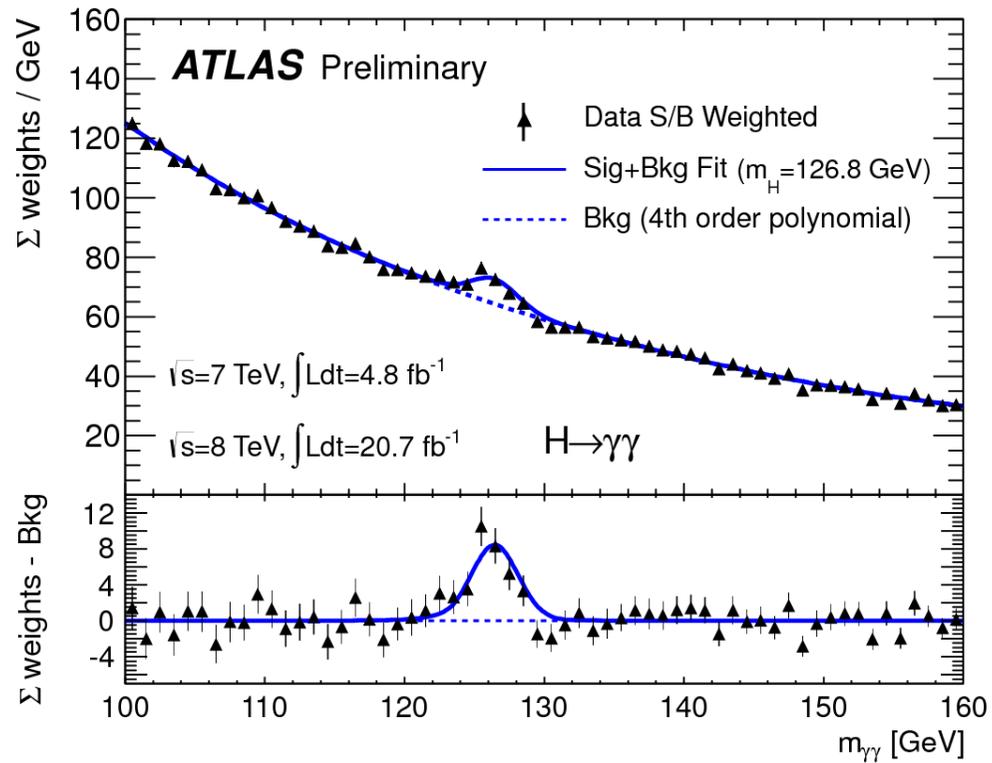
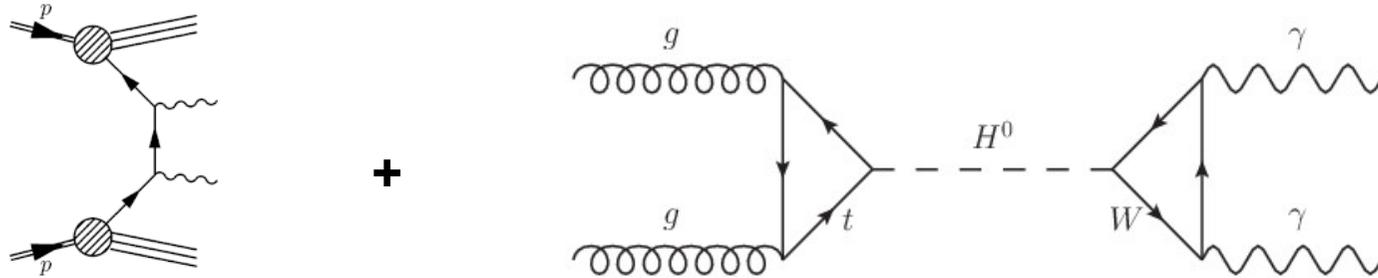


Run: 182796
Event: 74566644
2011-05-30 07:54:29 CEST

Higgs Resultate: 2 Photonen

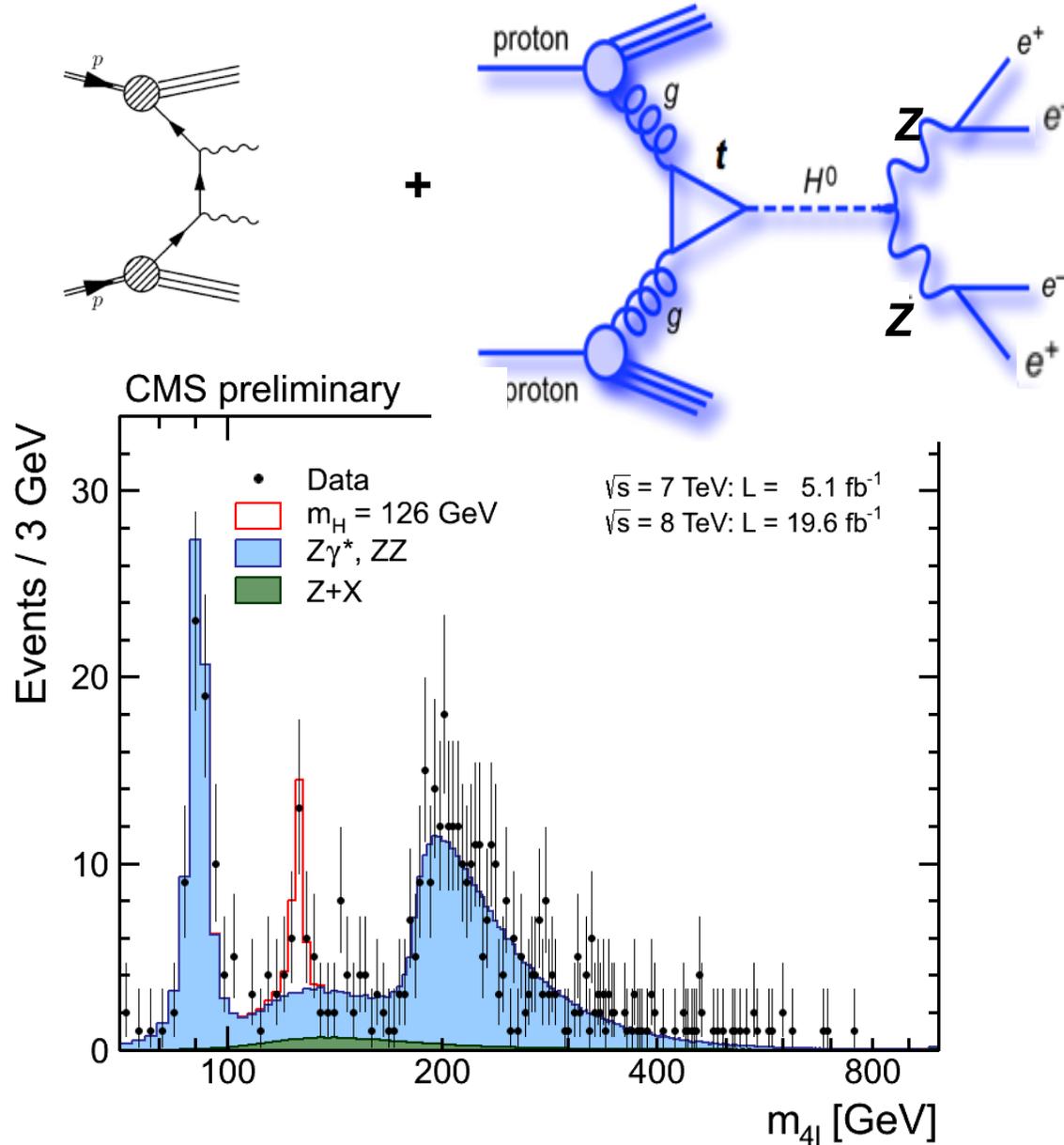
Berechne $M_{\gamma\gamma}$ und vergleiche mit Erwartung mit/ohne Higgs

- Beachtet: Ereignisse bei $M_{\gamma\gamma}=125$ GeV in CMS & ATLAS



Higgs Resultate: 4 Leptons

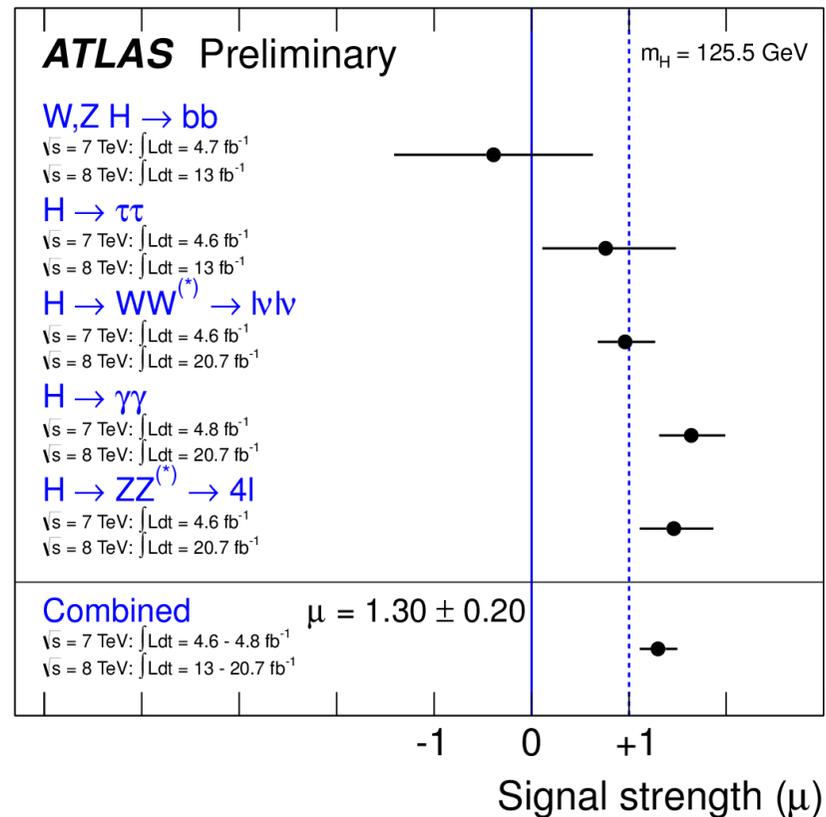
- Beobachtet: Ereignisse mit $M_{4l}=125$ GeV in CMS & ATLAS



Higgs Resultate

Signal in verschiedenen Zerfällen \rightarrow Test des Higgs- Modells

- Vorhersage \sim Masse²
- Fehler noch groß \rightarrow benötigt viel mehr Daten
- Spin des Higgs = 0 (?)
- **Ein Higgs entdeckt** (nicht notwendigerweise das einzige)



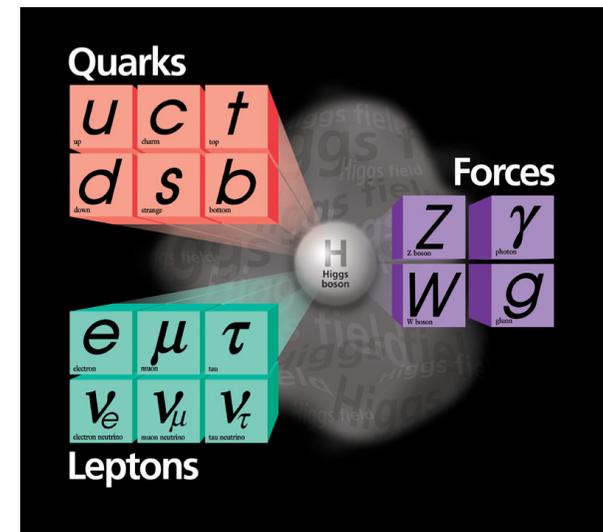
Kritik des Standard – Modells

Erfolge:

- Wenige Grundprinzipien: **Relativität + Quantenphysik**
Symmetrie + Symmetriebrechung
- Vorhersage neuer Quanten in der Natur
- Vorhersage aller bisherigen Labor - Resultate (+ Higgs ?)
- Erstmals komplette Beschreibung der Naturgesetze der Physik ?

Probleme:

- 17 Teilchen, 26 Naturkonstanten für 5 % der Energie
- Beitrag zur dunklen Energie ?
- Beitrag zur dunklen Materie ?
- 22 der Konstanten durch Higgs !?
- Keine Erklärungen ?
- Quantenkorrekturen zum Higgs
- Bessere Prinzipien ?
- Supersymmetrie ? Substrukturen ?



Zusammenfassung

Teilchenphysik:

- Elektronen, ..., Quarks und Kräfte
- LHC Beschleuniger und Experimente

Higgs:

- Postuliert Higgs – Feld
- Erklärt Masse als Wechselwirkung

Standard – Modell: der einfachste Fall:

- Vorhersagekraft: Antimaterie, top- Quarks, W, Z
- Eigenschaften des Higgs vorausgesagt
- Ein Higgs – Masse gefunden bei $M = 125 \text{ GeV}$ Masse

Offene Fragen:

- Keine Erklärung warum die Natur so ist wie sie ist ?
- Asymmetrie Materie – Antimaterie, Gravitation, Dunkle Materie / Energie
- Viele Alternativen zum Standard – Modell:
Supersymmetrie, Compositeness, Technicolour

