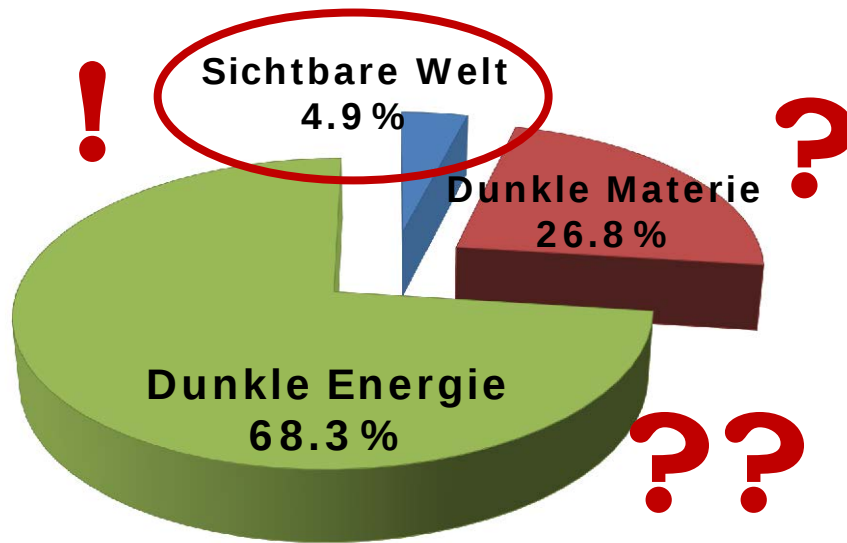
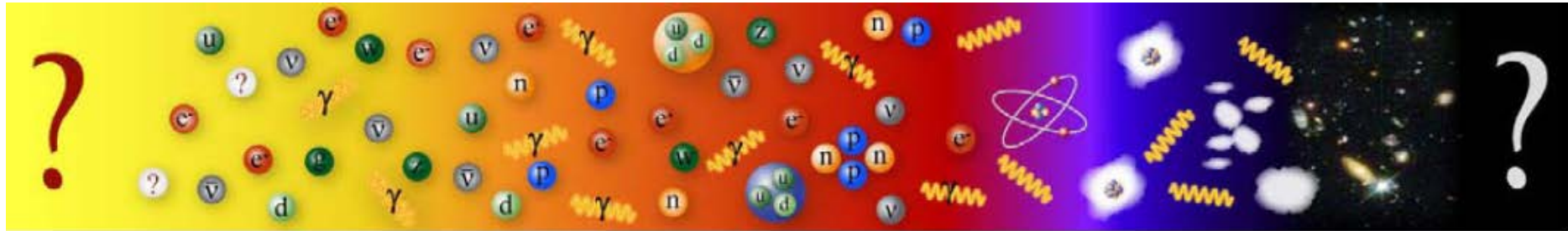


Spurensuche in der Elementarteilchenphysik

Die Entdeckungsreise am Large Hadron Collider

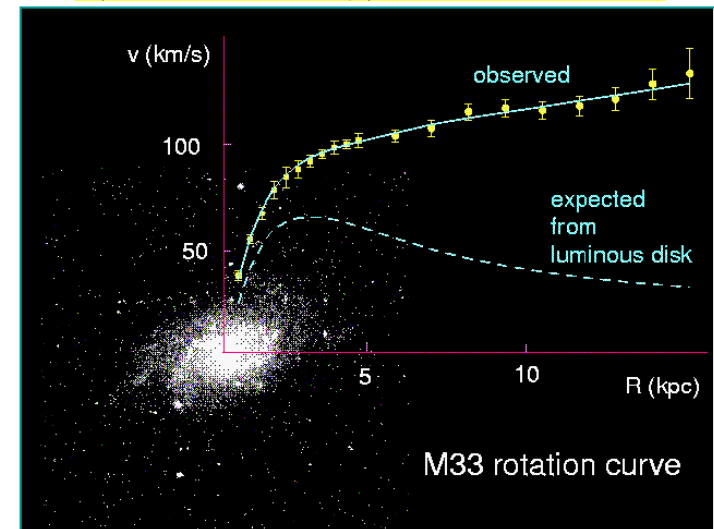
Prof. Dr. Kerstin Borras

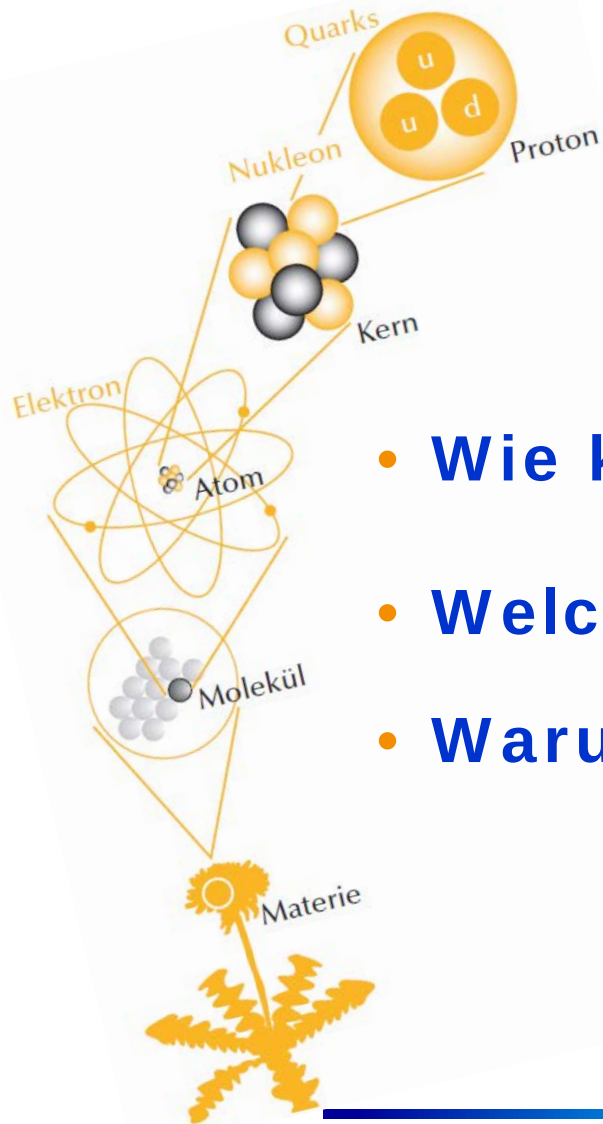
Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)
RWTH Aachen



Können wir von Bekanntem auf neue Phänomene schließen ?
Höchste Präzision ist hier gefragt !

Rotationskurven der Galaxien
(1933 – Zwicky)





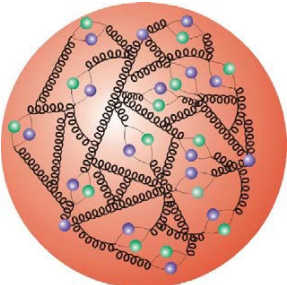
- **Wie klein sind die kleinsten Teilchen ?**
- **Welche Kräfte halten sie zusammen ?**
- **Warum habe ich Masse ?**

PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE																		
1																	18	
H	Li	Be											B	C	N	O	F	He
1	3	4											5	6	7	8	9	10
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
11	12											13	14	15	16	17	18	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Fr	Ra	Ac+	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	113	114	115	116	118		
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	118		
+ Actinoiden			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		
			90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
* Lanthanoiden			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		

Three generations
of matter (fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson

Gauge bosons



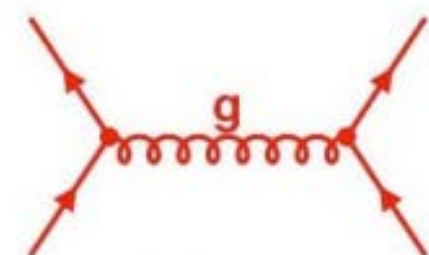
Proton

Vier Grundkräfte:

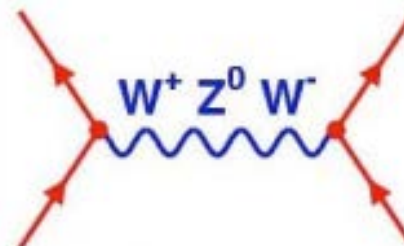
- **Elektro-magnetische Kraft**
- **Starke Kraft**
- **Schwache Kraft**
- **Gravitation**



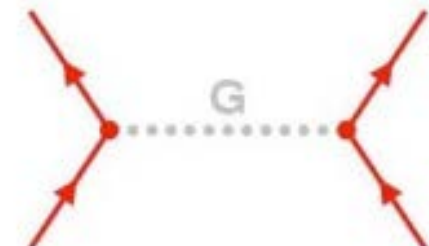
Elektro-magnetische Kraft



Starke Kraft



Schwache Kraft



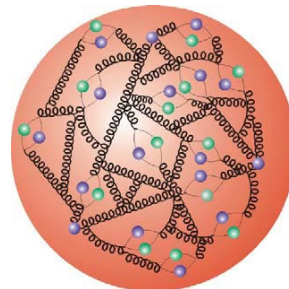
Gravitation

Das Standardmodell der Teilchenphysik

Three generations of matter (fermions)

	I	II	III	
mass →	2.4 MeV/c ²	1.27 GeV/c ²	171.2 GeV/c ²	0
charge →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
name →	u up	c charm	t top	γ photon
	4.8 MeV/c ²	104 MeV/c ²	4.2 GeV/c ²	0
	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluon
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	91.2 GeV/c ²
	0	0	0	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z⁰ Z boson
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	80.4 GeV/c ²
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	W[±] W boson

Gauge bosons



Das Proton

Vier Grundkräfte:

- **Elektro-magnetische Kraft**
- **Starke Kraft**
- **Schwache Kraft**
- **Gravitation**

Im Standardmodell sind alle Teilchen masselos.

Erst die Wechselwirkung mit dem Higgs-Feld verleiht ihnen Masse.

LEPTONS		
ν_e Electron Neutrino	ν_μ Muon Neutrino	ν_τ Tau Neutrino
e Electron	μ Muon	τ Tau
QUARKS		
u Up	c Charm	t Top
d Down	s Strange	b Bottom

Fundamental particles do not have any size. Here the different sizes are just a graphical way to show how different the masses are.

Das Higgs-Feld ist ein skalares Feld:

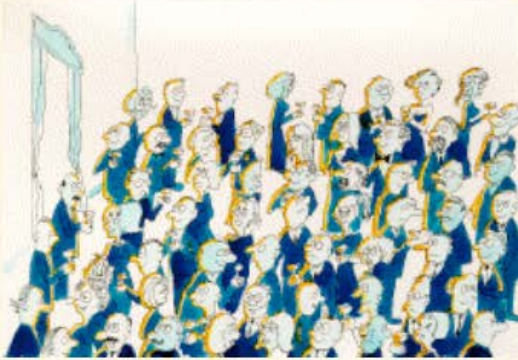
→ es wirkt in alle Richtungen

Ist die Theorie korrekt, muss es ein Higgs-Boson geben, in manchen erweiterten Theorien auch mehr.



Wie funktioniert das Higgs-Feld?

Prof. D. Miller
UC London



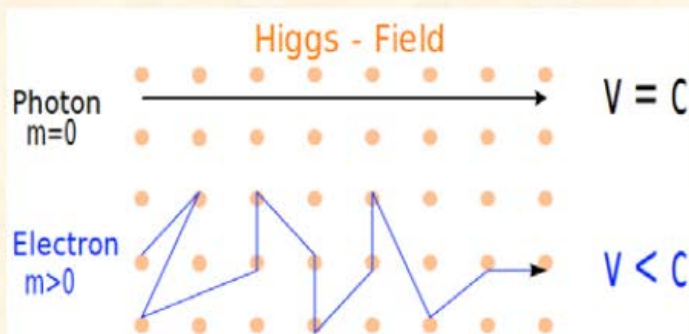
Higgs field is filling
the space



A particle is
entering the
Higgs field

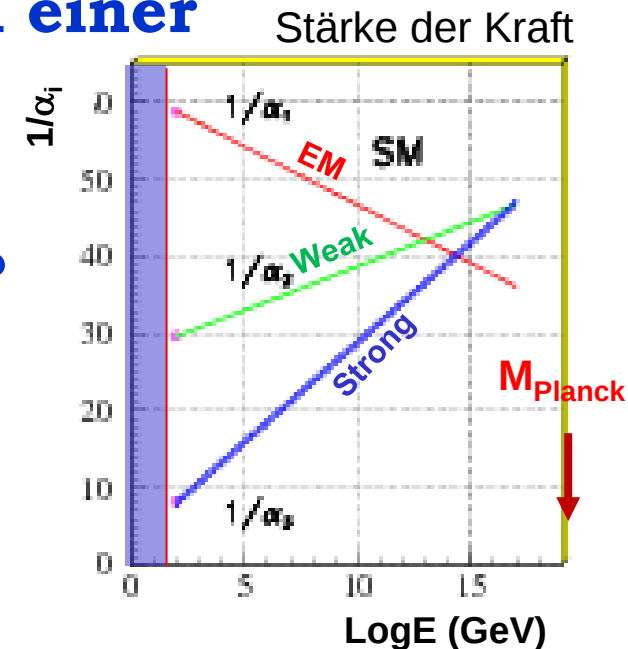


Resistance against
movement
inertia $\leftrightarrow$ mass



Drängende offene Fragen:

- Warum unterscheiden sich die Massen um 13 Größenordnungen ?
- Warum gibt es mehr Materie als Antimaterie ?
- Vereinigen sich die Grundkräfte in einer vereinheitlichten Feld-Theorie ?
- Einbettung der Gravitation
→ vereinheitlichte “Welt-Formel”?
- Was ist Dunkle Materie ?
- Was ist Dunkle Energie ?



Supersymmetrie:

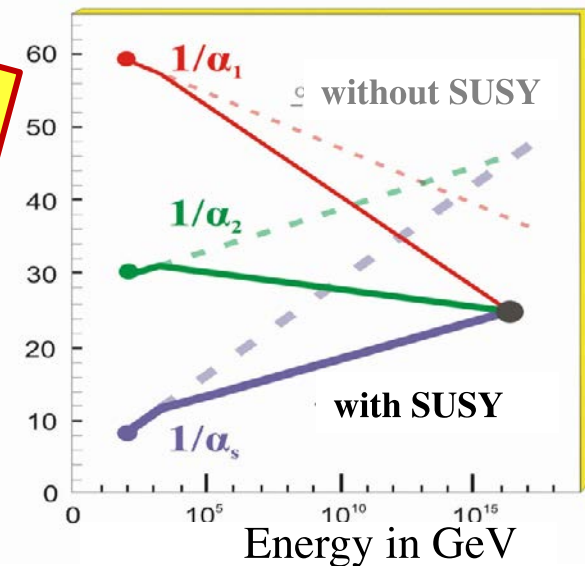
- Für jedes Elementarteilchen ein SUSY Partner



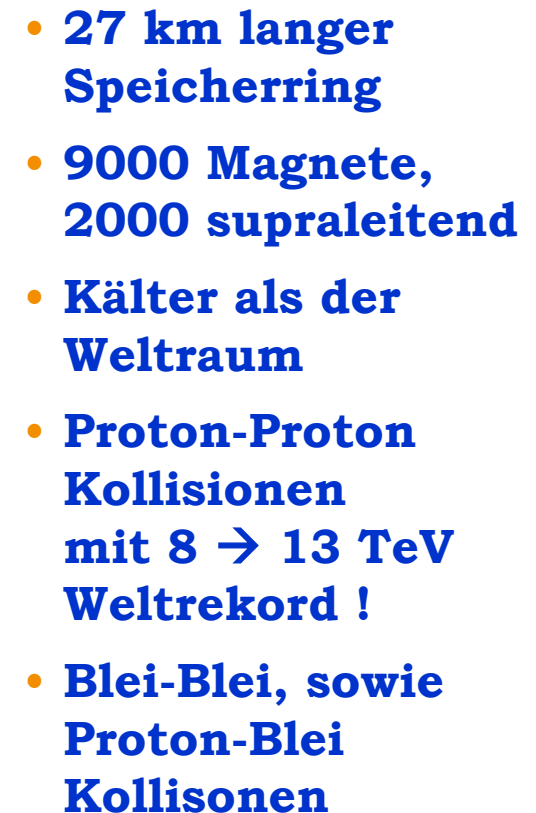
- Verschiedene Varianten mit unterschiedlich vielen Parametern

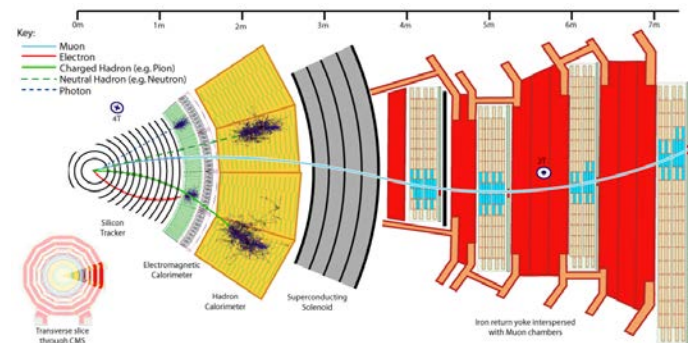
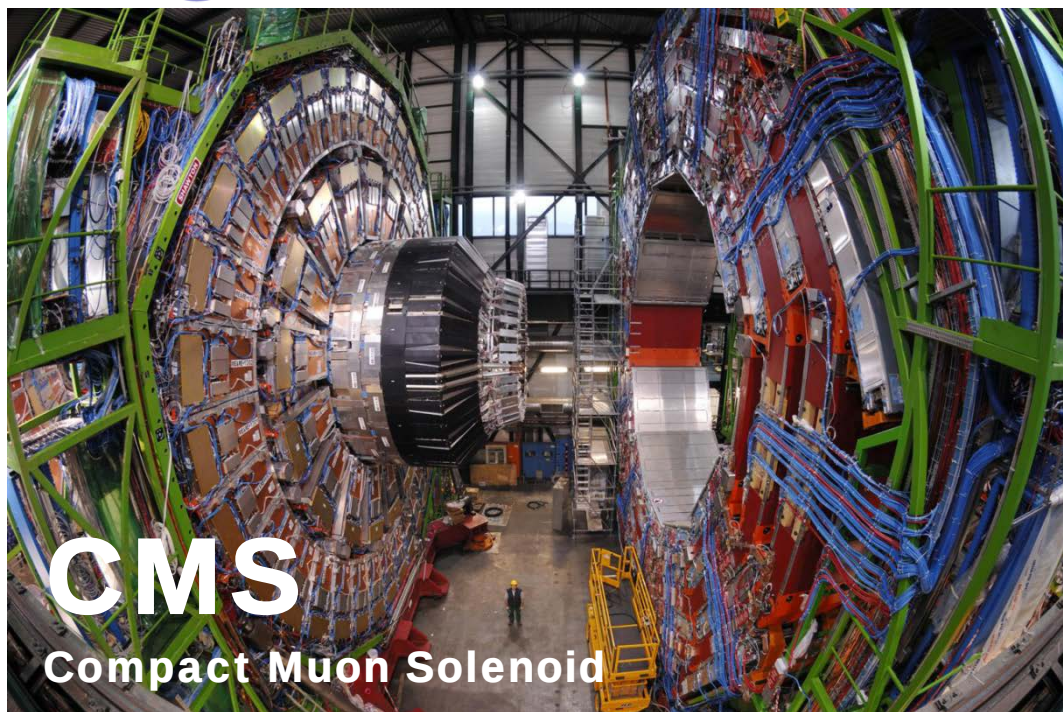
- ✓ Neutrinos haben Masse
- ✓ Vereinigung der Kräfte
- ✓ Gravitation eingebettet
- ✓ Leichtestes SUSY-Teilchen → dunkle Materie ?

Stärke der Kraft

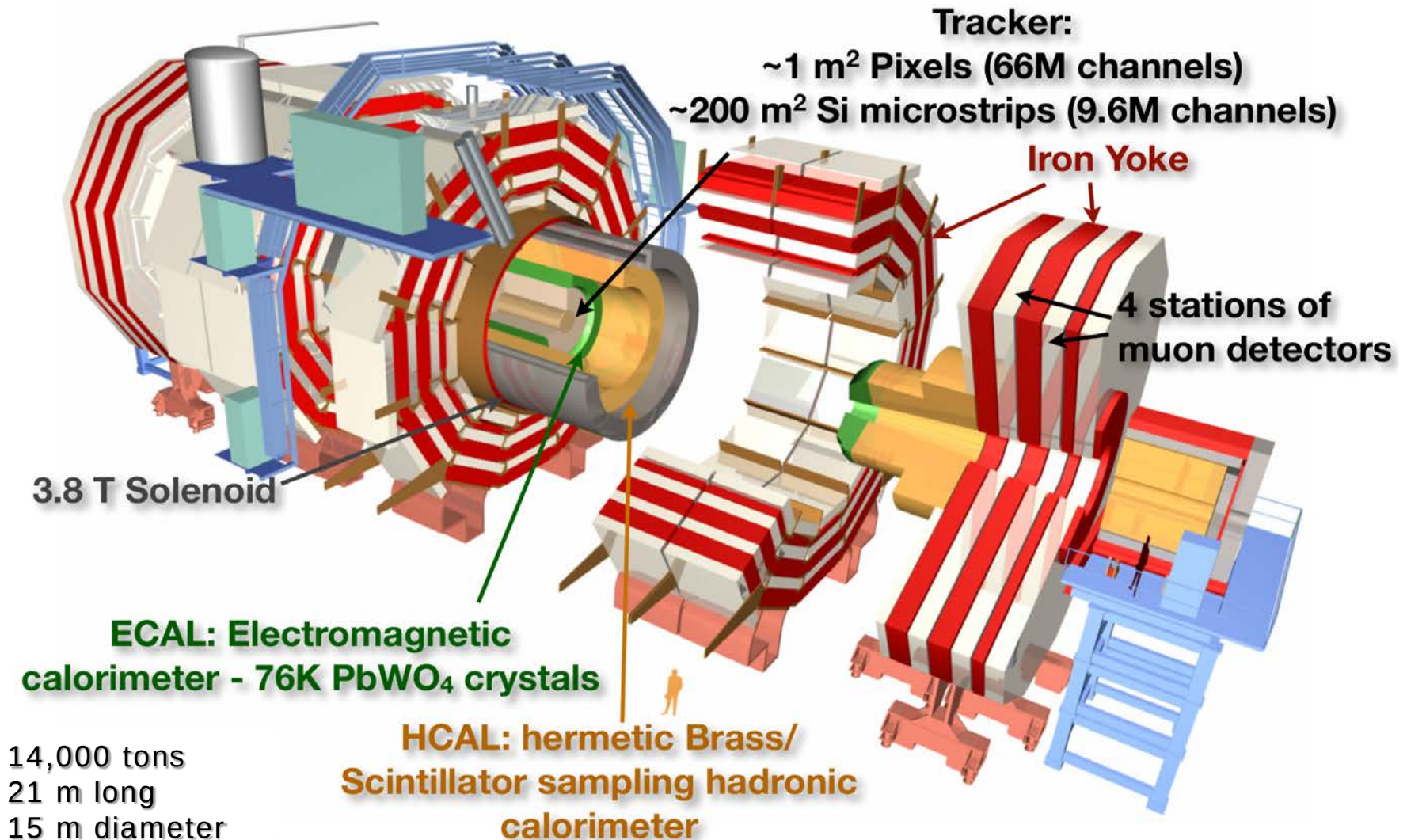


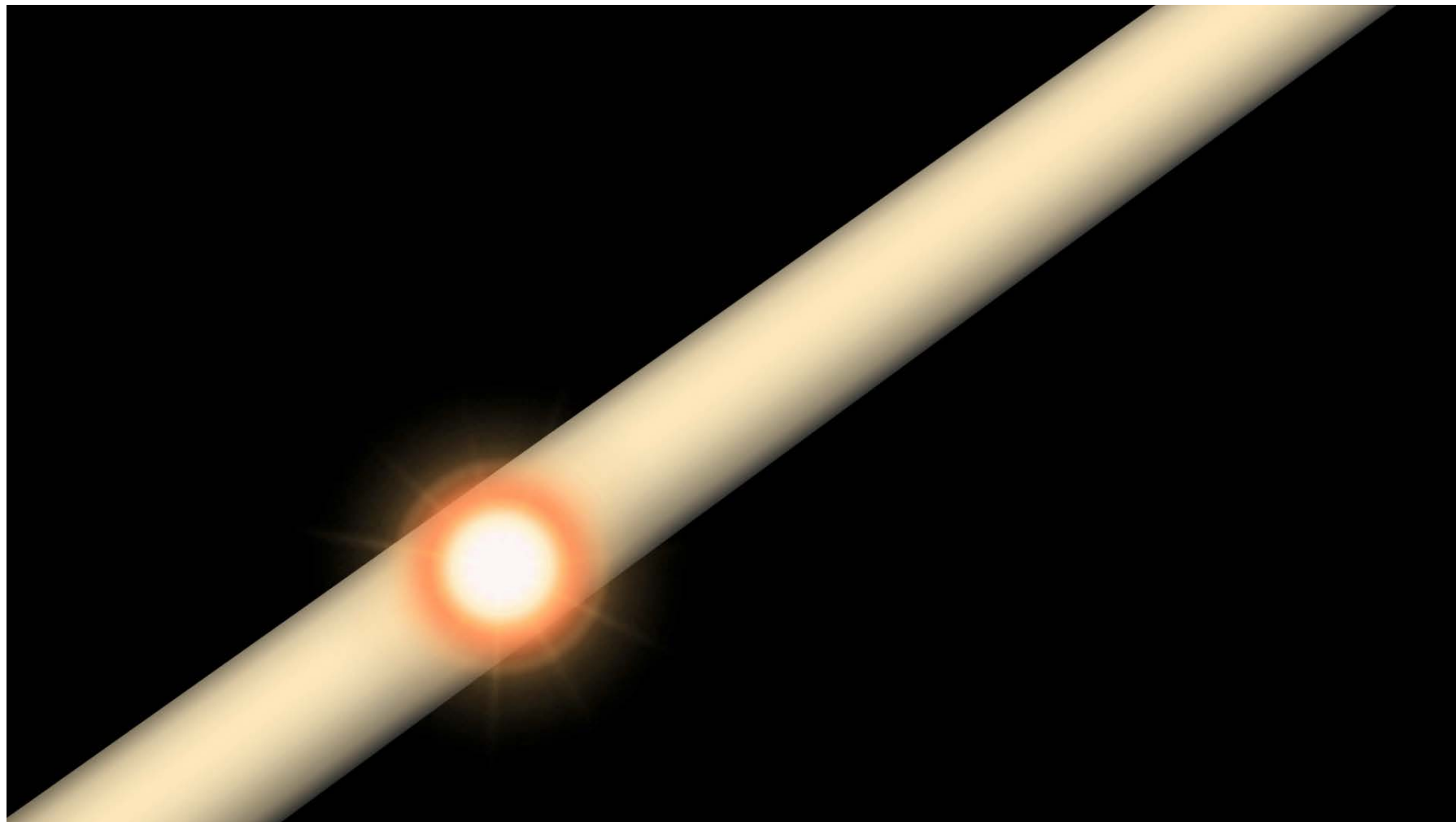
Large Hadron Collider





- **Riesig:** 21 m lang, 15 m $\varnothing$, 14 000 t (> Eiffelturm!)
- **Mikro:** Spurvermessung mit 10 Millionen haarfeinen Si-Streifen auf 20 mikro-m
- **Viele:** >5000 Mitglieder, 1900 Physiker, 1800 Studenten, 950 Ingenieure
- **Global:** 200 Institute aus 43 Ländern
- **Ein Ziel:** Wie ist unsere Welt aufgebaut ?





Copyright CERN

Google zum LHC Start in 2008



Higgs Entdeckung im Juli 2012



Discovery 2012, Nobel Prize in Physics 2013

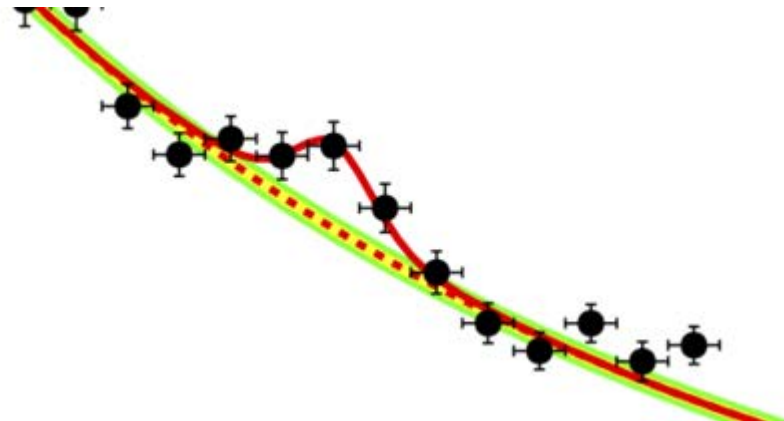
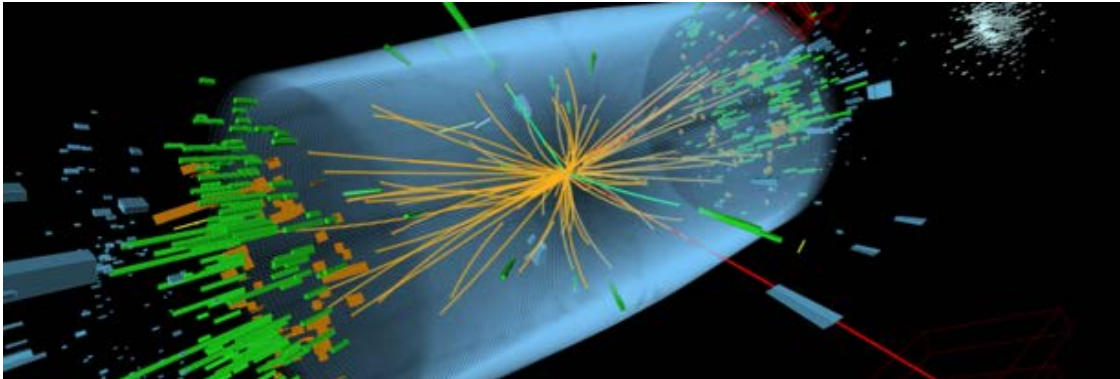


The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs *"for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"*.

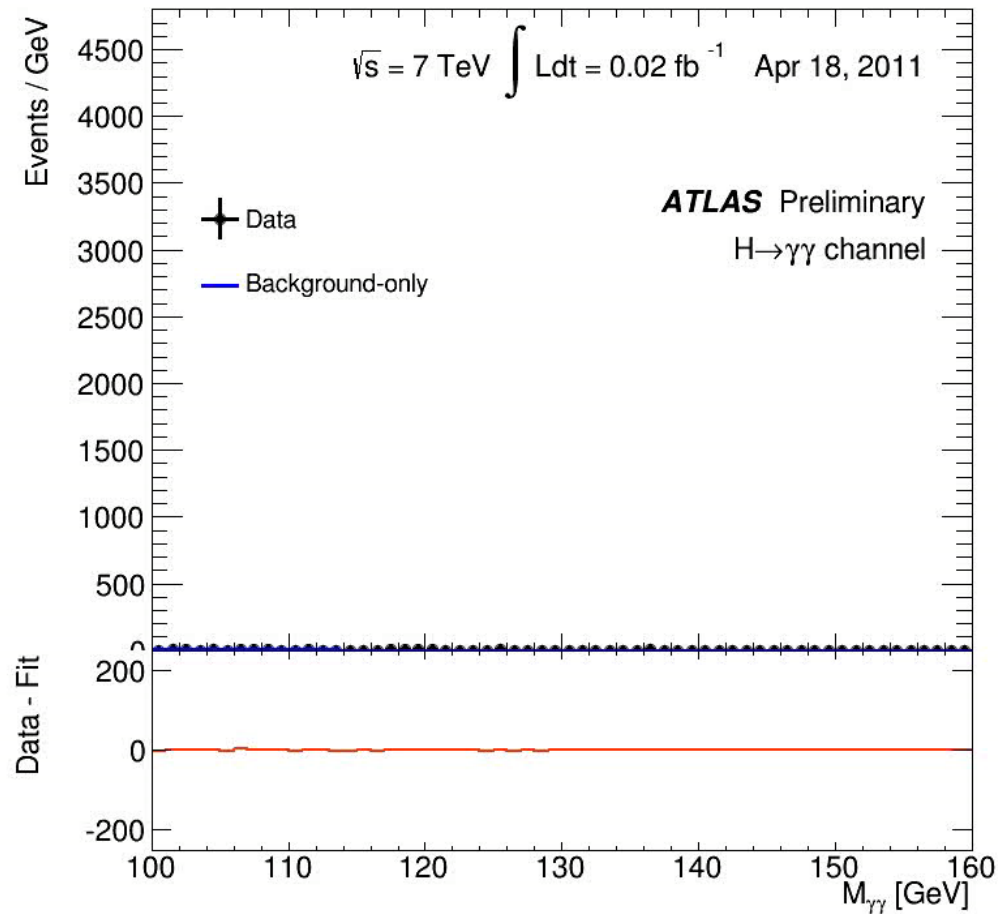
1964 von Peter Higgs und weiteren Kollegen vorgeschlagen

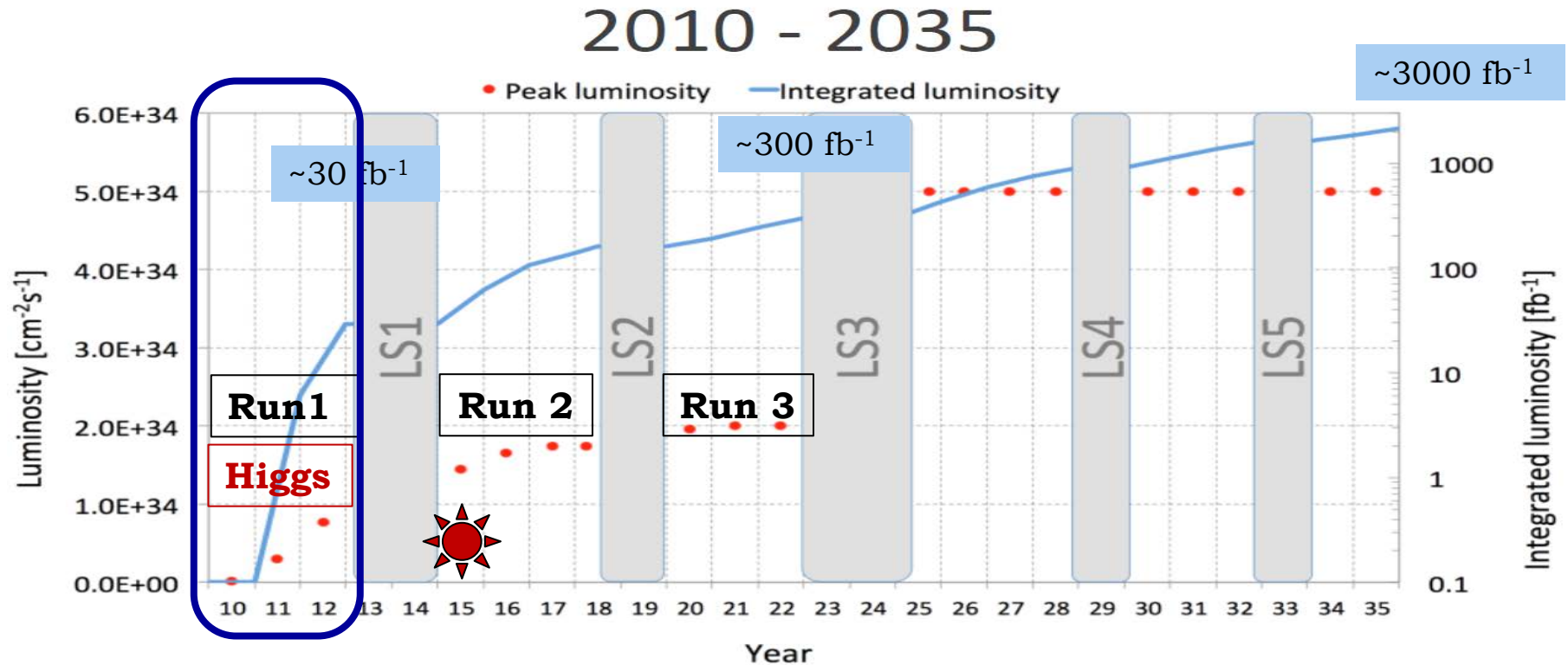
Fast 50 Jahre Suche an vielen Beschleunigern mit immer höheren Energien

4.Juli 2012: Bekanntgabe der Entdeckung eines Higgs-ähnlichen Teilchens
am Large Hadron Collider



Entdeckungen brauchen viele Daten!





Wichtige Entdeckung: Higgs und seine Charakterisierung

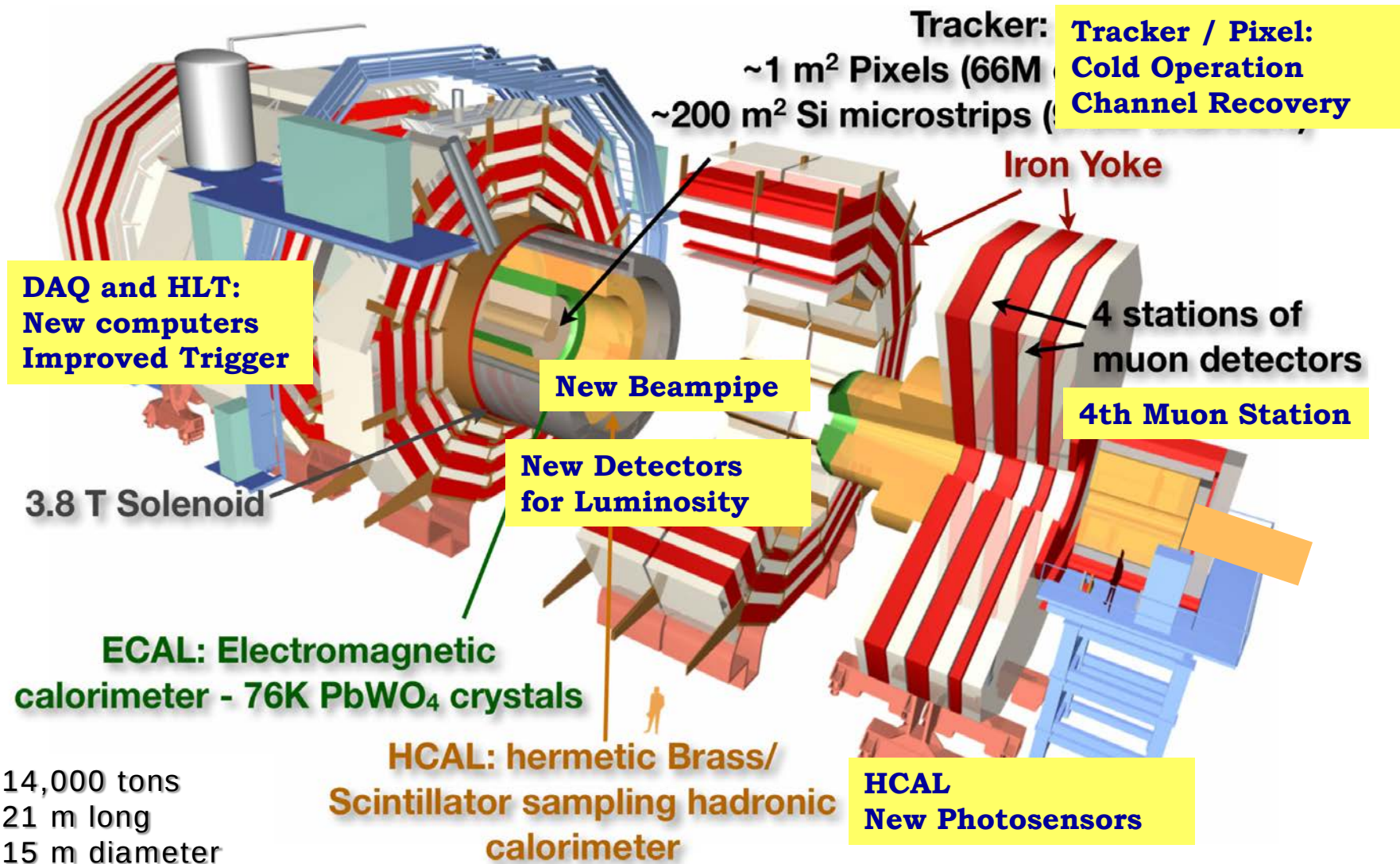
→ Masse, Spin (0), Kopplung an andere Teilchen

Top Quark: LHC ist ein top-quark “factory”

→ Genügend Statistik für Präzision: Masse, Zerfälle, Spin,...

Suchen: nach SUSY und anderen exotischen Teilchen

→ Viele Grenzen gesetzt für mögliche Massen und Kopplungen.



LHC: Neustart am 3. Juni 2015

Science & Environment

Large Hadron Collider turns on 'data tap'

By Paul Rincon
Science editor, BBC News website

3 June 2015 | Science & Environment

**BBC
NEWS**



Sciences

Tous les jours à 5h30, découvrez les titres de l'actualité dans votre newsletter « À la une »

E-mail :

☐ Oui, je souhaite recevoir les informations du Monde

L'accélérateur de particules CERN : quatre questions d'un géant

Le Monde.fr | 04.06.2015 à 14h41 • Mis à jour le 04.06.2015 à 15h01

Par David Larousserie

5 132 personnes le recommandent. Inscription pour voir ce que vos amis recommandent.



Le Monde

DIE WELT zur Startseite machen

Home | Politik | Wirtschaft | Geld | Sport | Wissen | Panorama | Kultur | Reise | Motor | Re

IN DEN NACHRICHTEN: NSA und Snowden | Syrien | Unwetter | Uli Hoeneß

Home | Wissen | Die Weltmaschine wird mächtig aufgerüstet

Lesen Sie DIE WELT auf allen digitalen Kanälen. Jetzt mit ePaper testen. Nur 0,99 € im 1. Monat

12:44 Teilchenbeschleuniger

Die Weltmaschine wird mächtig aufgerüstet

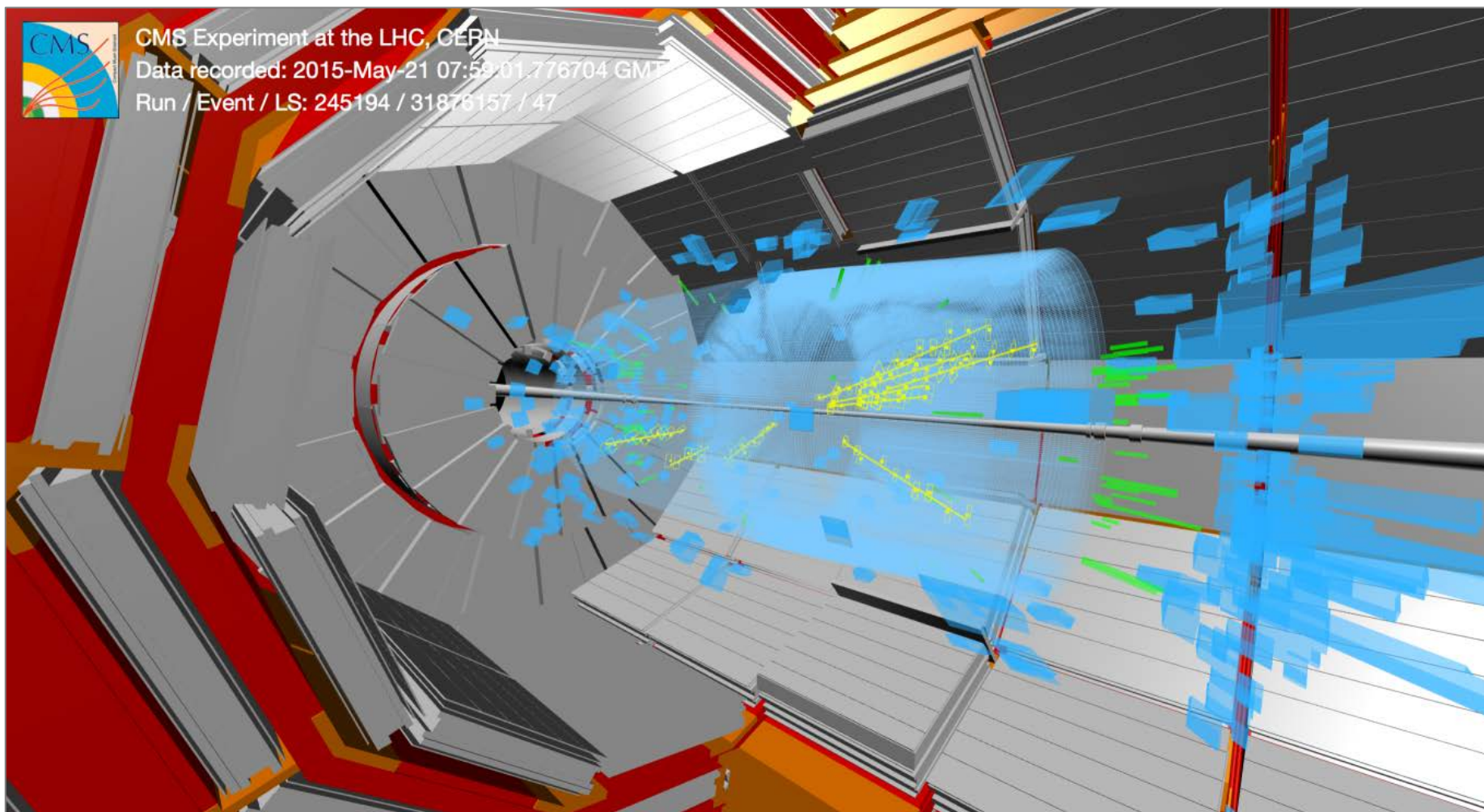
SPiegel ONLINE

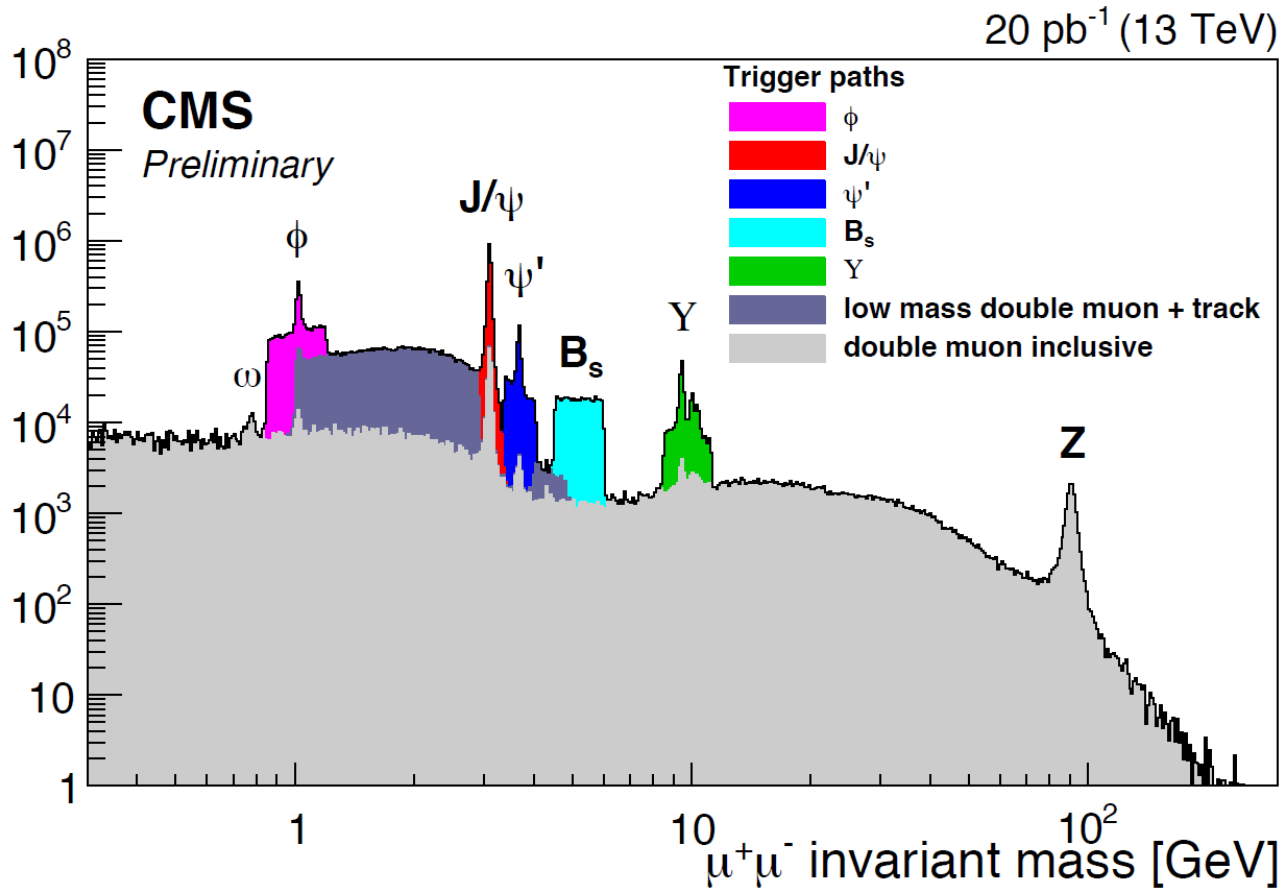
Politik | Wirtschaft | Panorama | Sport | Kultur | Netzwerk | Wissenschaft | Gesundheit

12. März 2015 Themen: Islamischer Staat (IS) | Griechenland | Ukraine | Boris Nemzow

FUSSBALL Liveticker | Spielplan | Tabellen | Statistik | Top/Flo

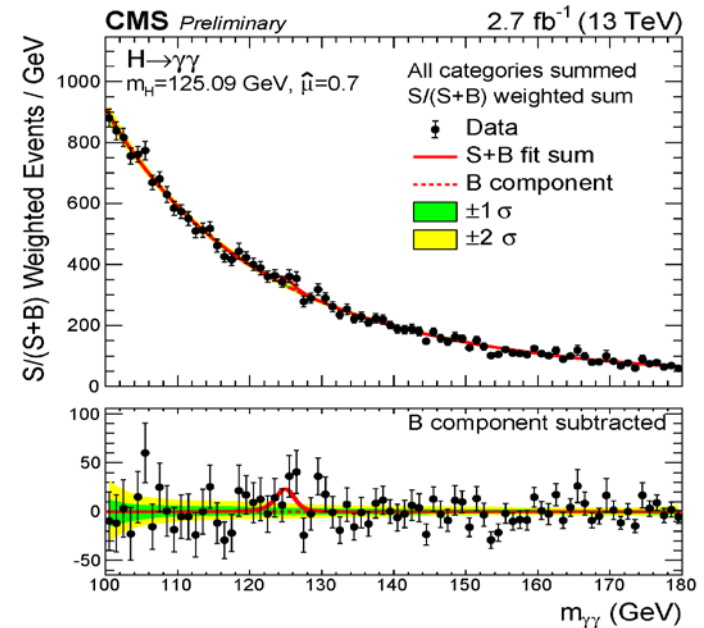
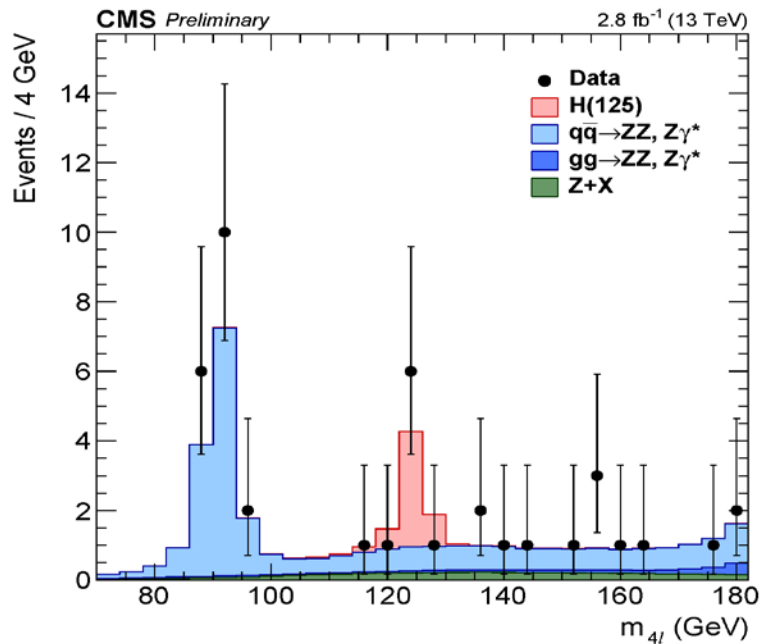
Teilchenbeschleuniger LHC Neustart für die Weltmaschine





Di-muon Massen-Spektrum:

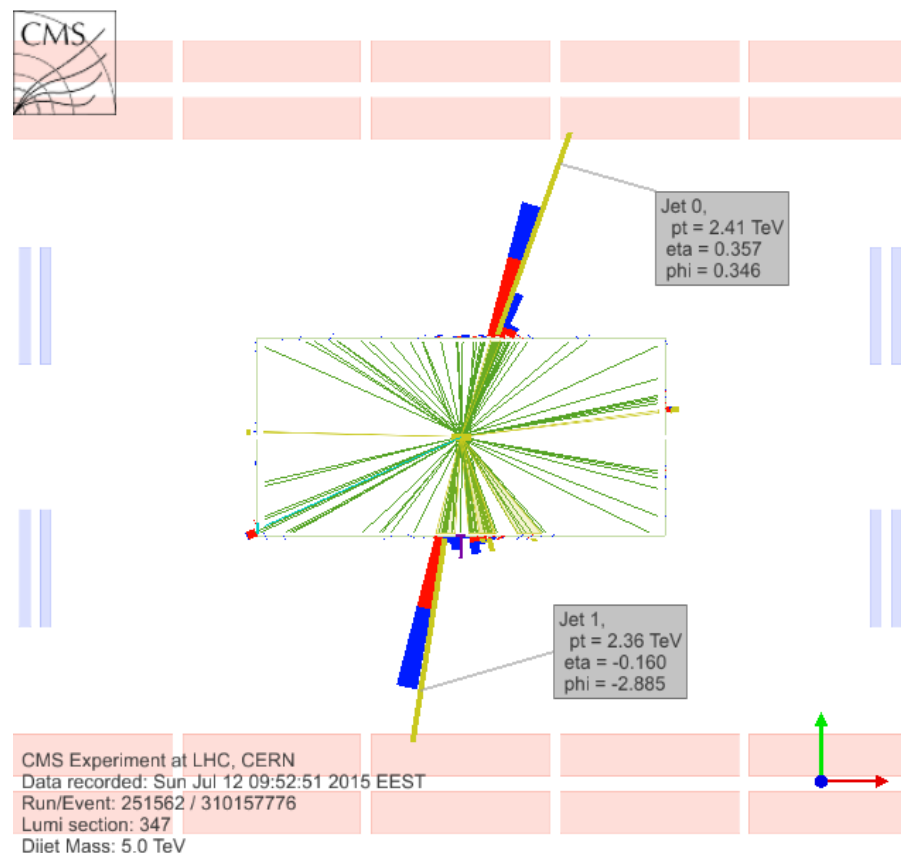
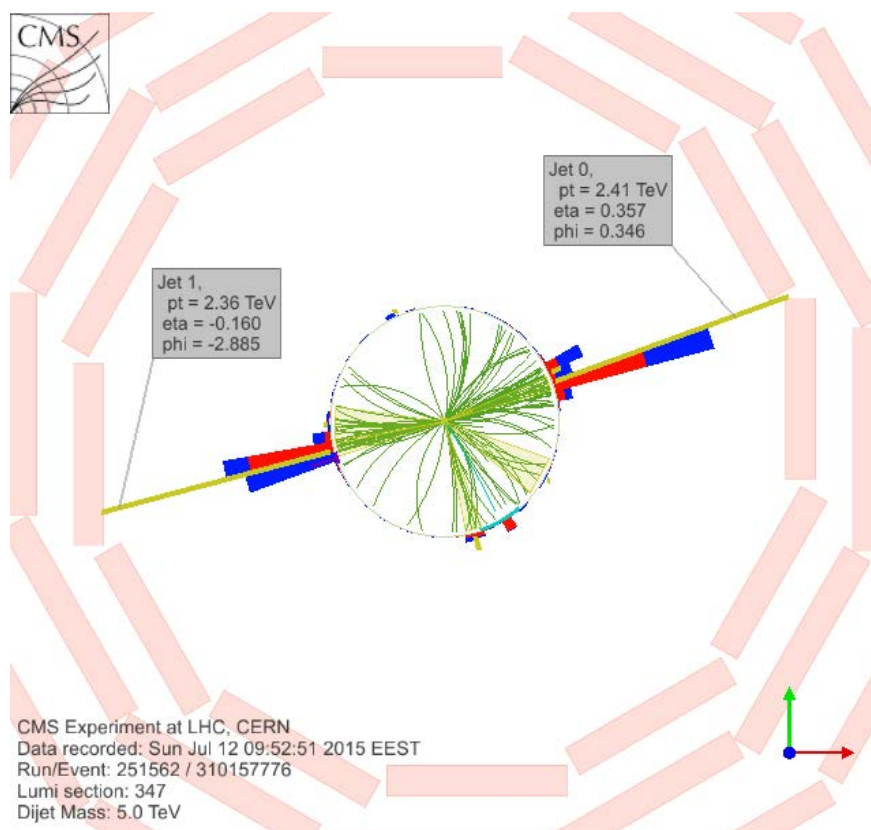
spezielle Selektionstrigger in begrenzten Massenbereichen mit verschiedener Auswahl an p_T (transversalem Impuls)



Erste Hinweise, aber noch verträglich mit SM:

- **Der 'goldene' Kanal with $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \text{ Leptonen}$:**
 - 8 Ereignisse im Massenbereich $118 < m_{4l} < 130 \text{ GeV}$, erwartet sind $2.80^{(+0.25)}_{(-0.22)}$ Untergrund-Ereignisse.
 - Beobachtete (erwartete) lokale Signifikanz: 2.5 (3.4) σ
- **Di-Photon Kanal: $H \rightarrow \gamma\gamma$:**
 - Beobachtete (erwartete) lokale Signifikanz: 1.7 (2.7) σ

High Score schon nach einem Monat: $M_{jj} = 5 \text{ TeV}$





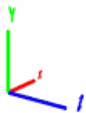
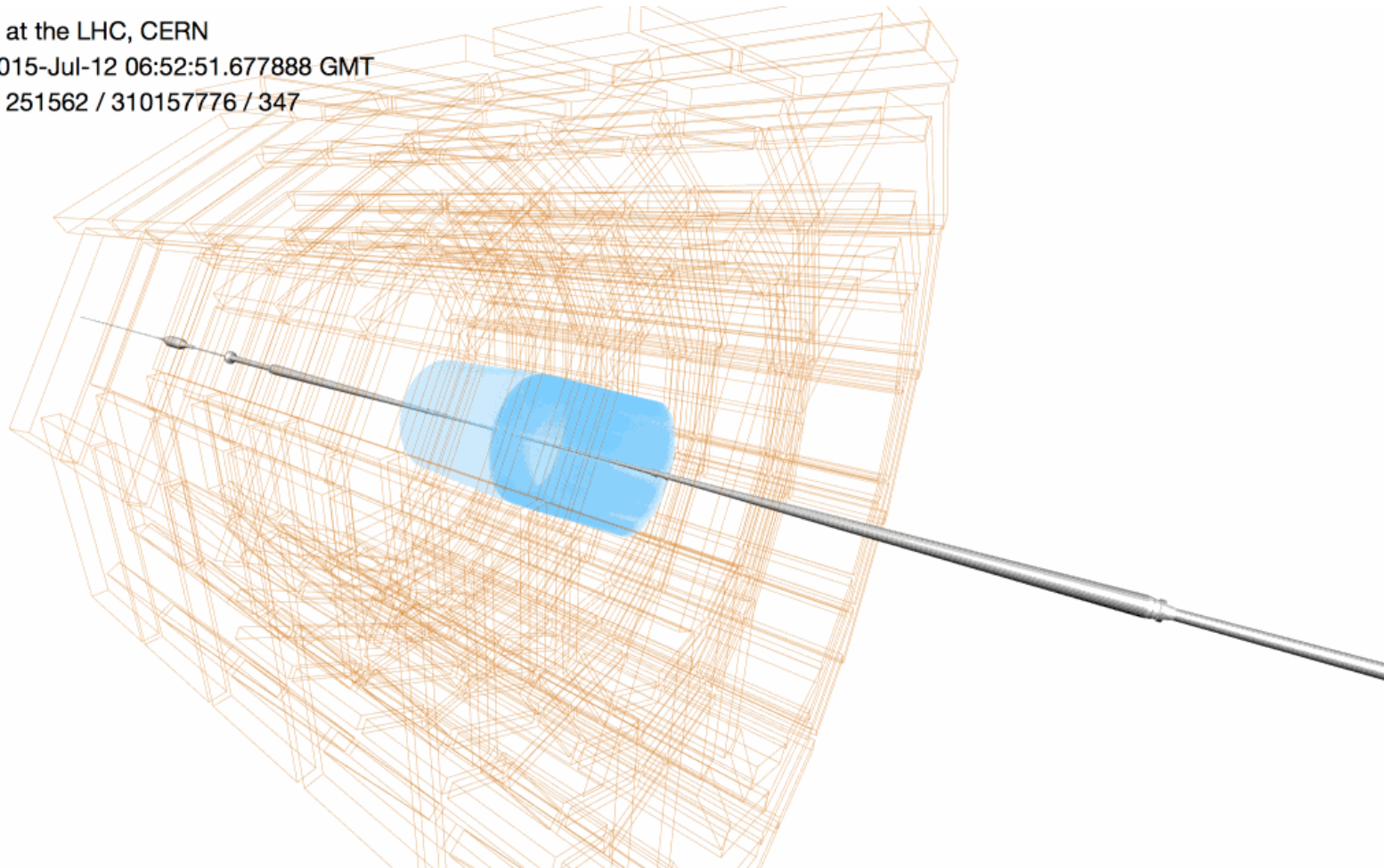
Di-Jet Event mit $M_{jj} \sim 5 \text{ TeV}$



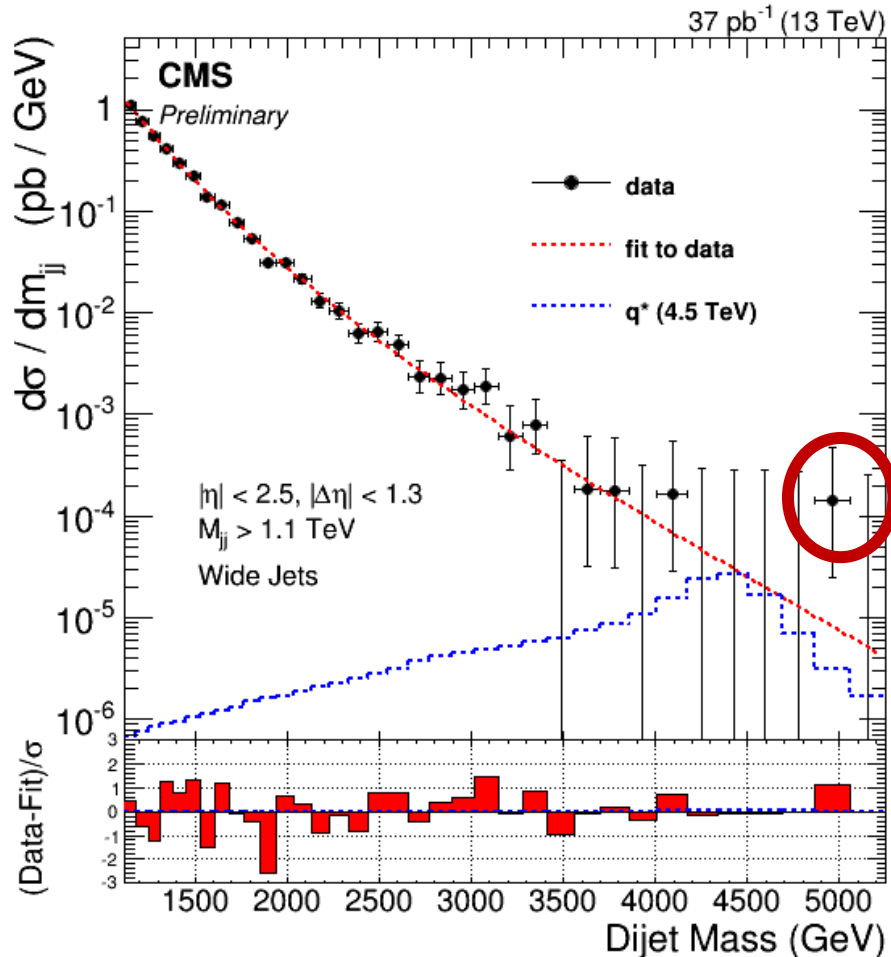
CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2015-Jul-12 06:52:51.677888 GMT

Run / Event / LS: 251562 / 310157776 / 347



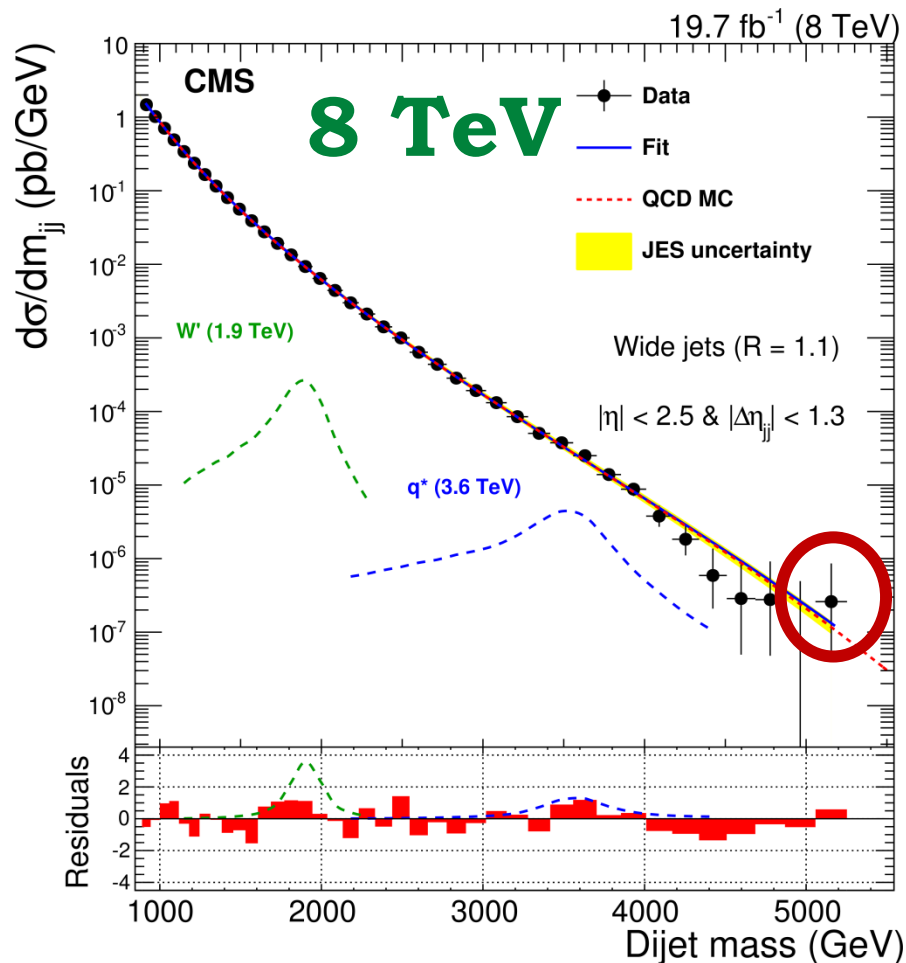
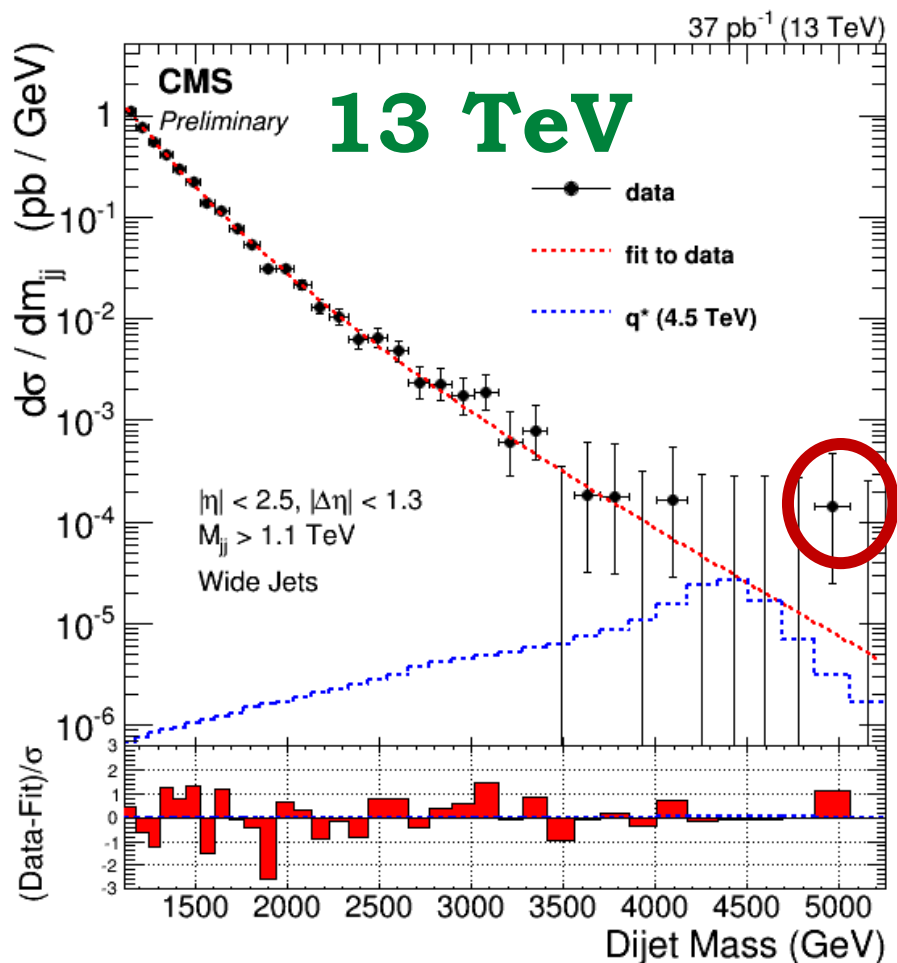
Di-Jet Massen-Spektrum



- **Luminosität: 37 pb⁻¹**
- **Anpassung einer Funktion mit 4 Parametern an die di-jet Massen-Verteilung:**

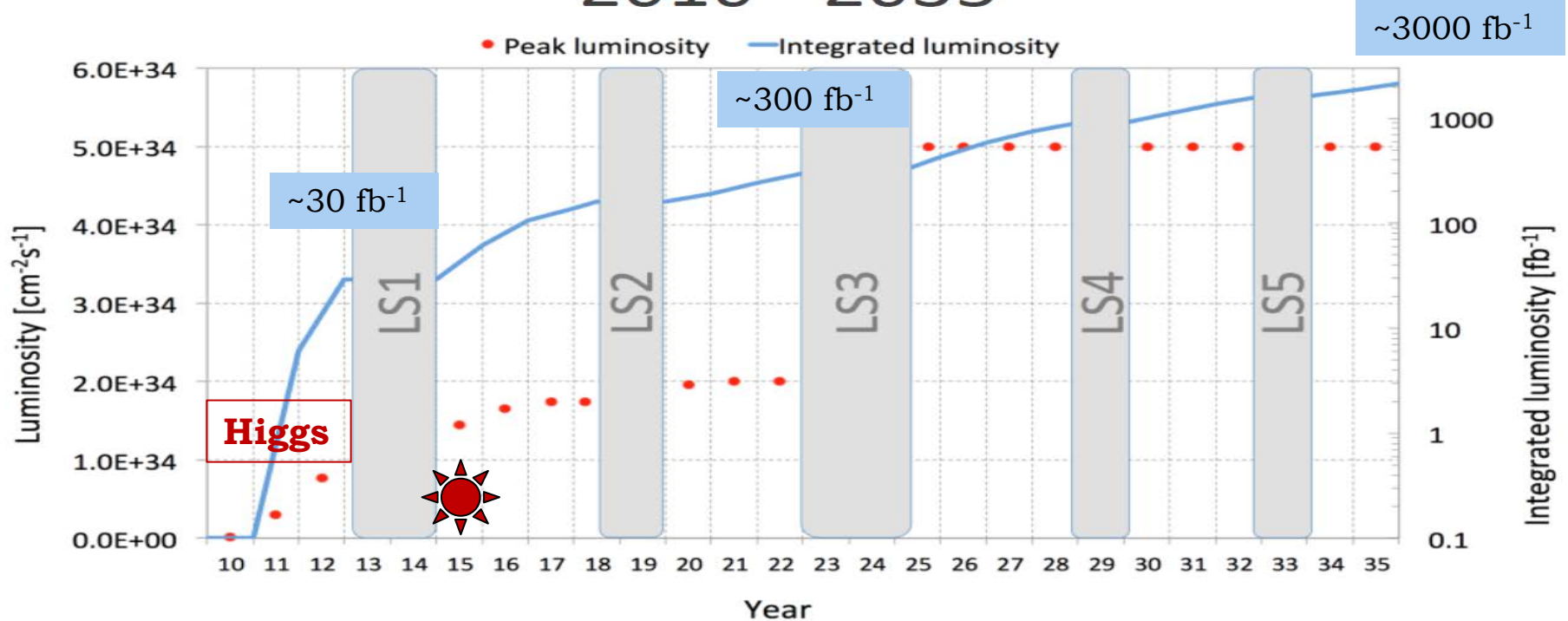
$$\frac{d\sigma}{dm_{jj}} = \frac{p_0 \left(1 - \frac{m_{jj}}{13000}\right)^{p_1}}{\left(\frac{m_{jj}}{13000}\right)^{p_2} + p_3 \ln\left(\frac{m_{jj}}{13000}\right)}$$

- Als Beispiel überlagert **$q^* \rightarrow qg$ signal** mit einer Resonanz Masse $M=4.5$ TeV (blau gestrichelt).
- **Mit 37 pb⁻¹ bei 13 TeV kann die Sensitivität der 8 TeV Daten nur für Resonanzen mit Massen $>\approx 5$ TeV erreicht werden.**



- 13 TeV: 37 pb⁻¹, $M_{jj} = 5$ TeV, 8 TeV: 19.7 fb⁻¹, $M_{jj} = 5.15$ TeV
- Sehr nahe an der Run 1 Grenze → interessante Zeiten 😊 !

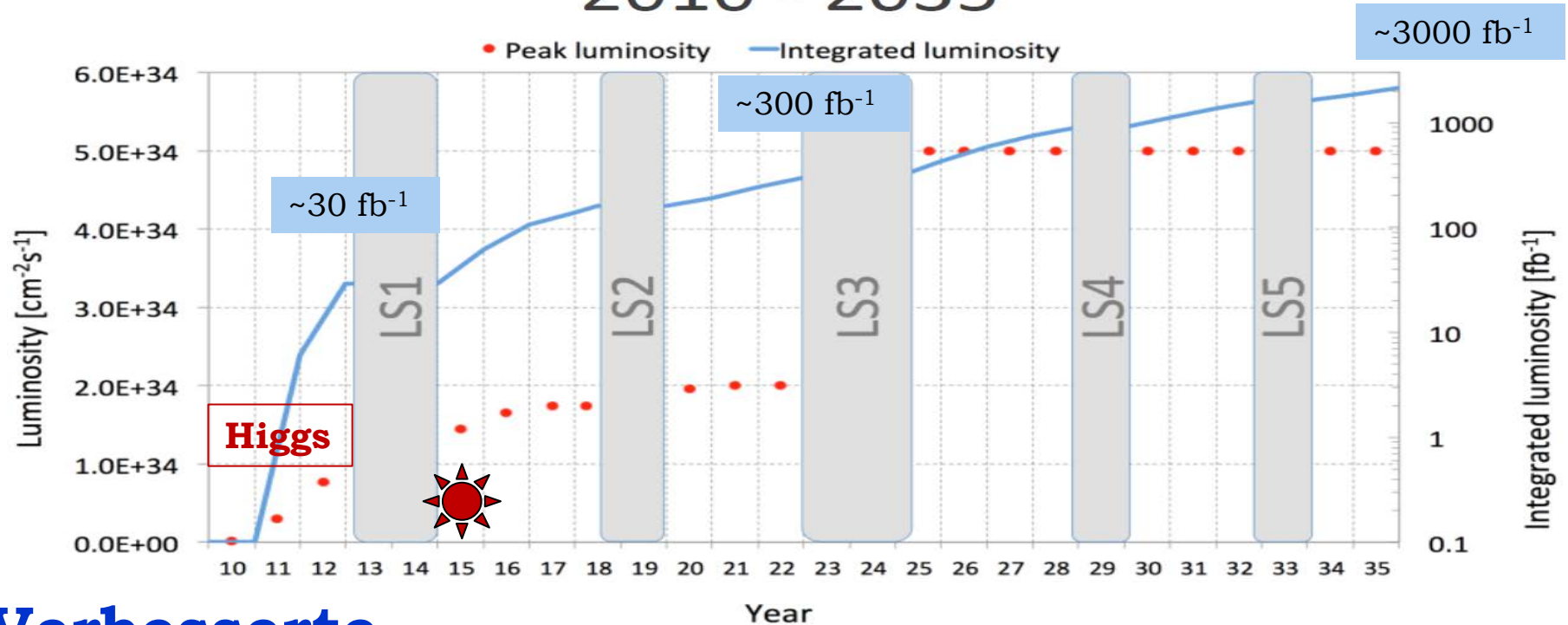
2010 - 2035



Jetzt: neue (Weltrekord-) Energie und viel mehr Statistik

- Eröffnung von unerforschten Massenbereichen für unbekannte Teilchen und Kräfte
- Neue Physik
- Dunkle Materie ? SUSY ? Extra-Dimensionen ?
- Präzisionsmessungen für Higgs-Teilchen

2010 - 2035



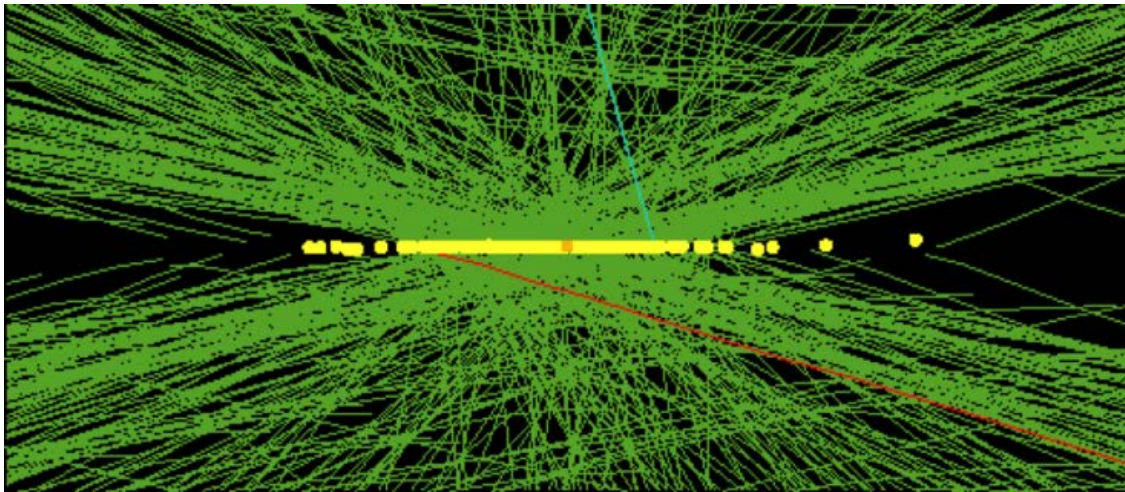
Verbesserte Detektoren

Fertig 😊

Konstruktion

Planung und Beantragung

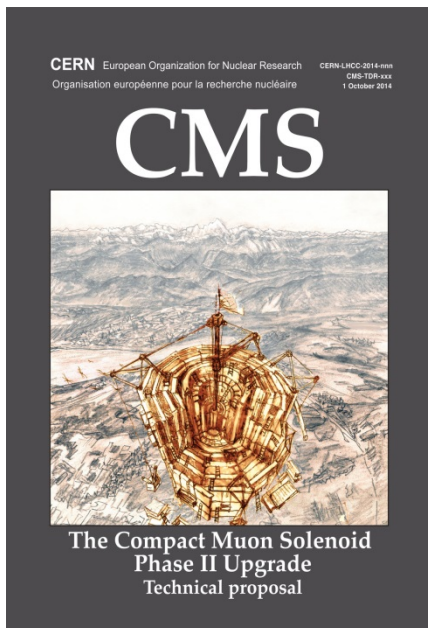
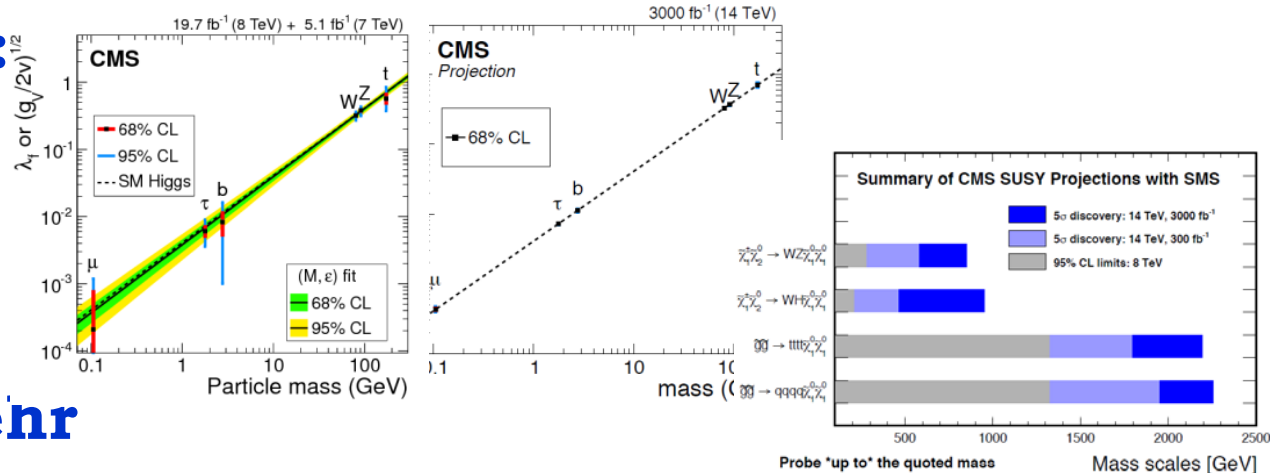
- **Höchste Energien**
 - **Intensive Strahlen**
- } extremer Teilchenfluß
- **Überlagerungsrate von 20 → 50 → 200 → Komplexe Analyse**
 - **Extreme Strahlenhärte der Detektoren**
 - **Extrem hohe Ausleserate (DAQ, Computing)**



- **Brauchen neue Technologien und Denkansätze: Detektoren, Computing, Analyse**
→ Enge Zusammenarbeit mit den Universitäten

Physik Themen:

- Higgs
- Suche nach neuer Physik
- ... und viel mehr



Technical Proposal for the CMS Phase II Upgrade:

- Physics motivation
- Detector Upgrades & Performance
- Physics Object Performance
- Physics Performnace
- Core Costs

CERN-LHCC-2015-010 <https://cds.cern.ch/record/2020886>

Trigger/HLT/DAQ

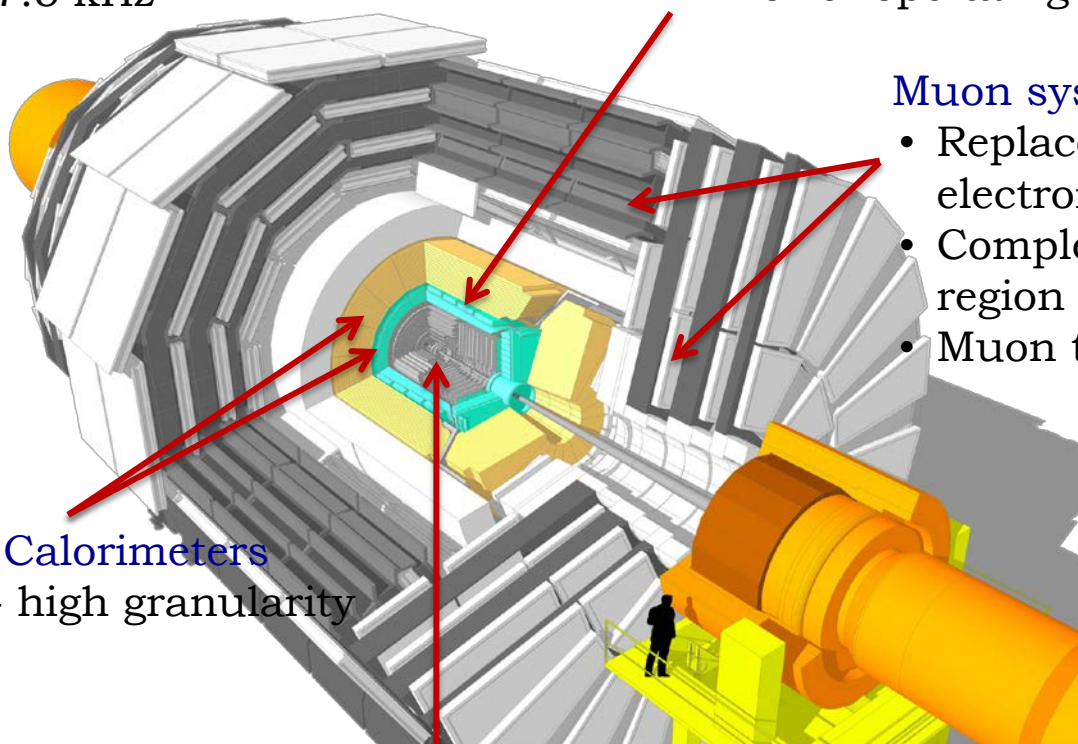
- Track information at L1-Trigger
- L1-Trigger: 12.5 μ s latency - output 750 kHz
- HLT output $\approx$ 7.5 kHz

Barrel EM calorimeter

- Replace FE/BE electronics
- Lower operating temperature (8°)

Muon systems

- Replace DT & CSC FE/BE electronics
- Complete RPC coverage in region $1.5 < \eta < 2.4$
- Muon tagging $2.4 < \eta < 3$

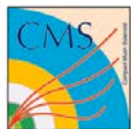


Replace Endcap Calorimeters

- Rad. tolerant - high granularity
- 3D capability

Replace Tracker

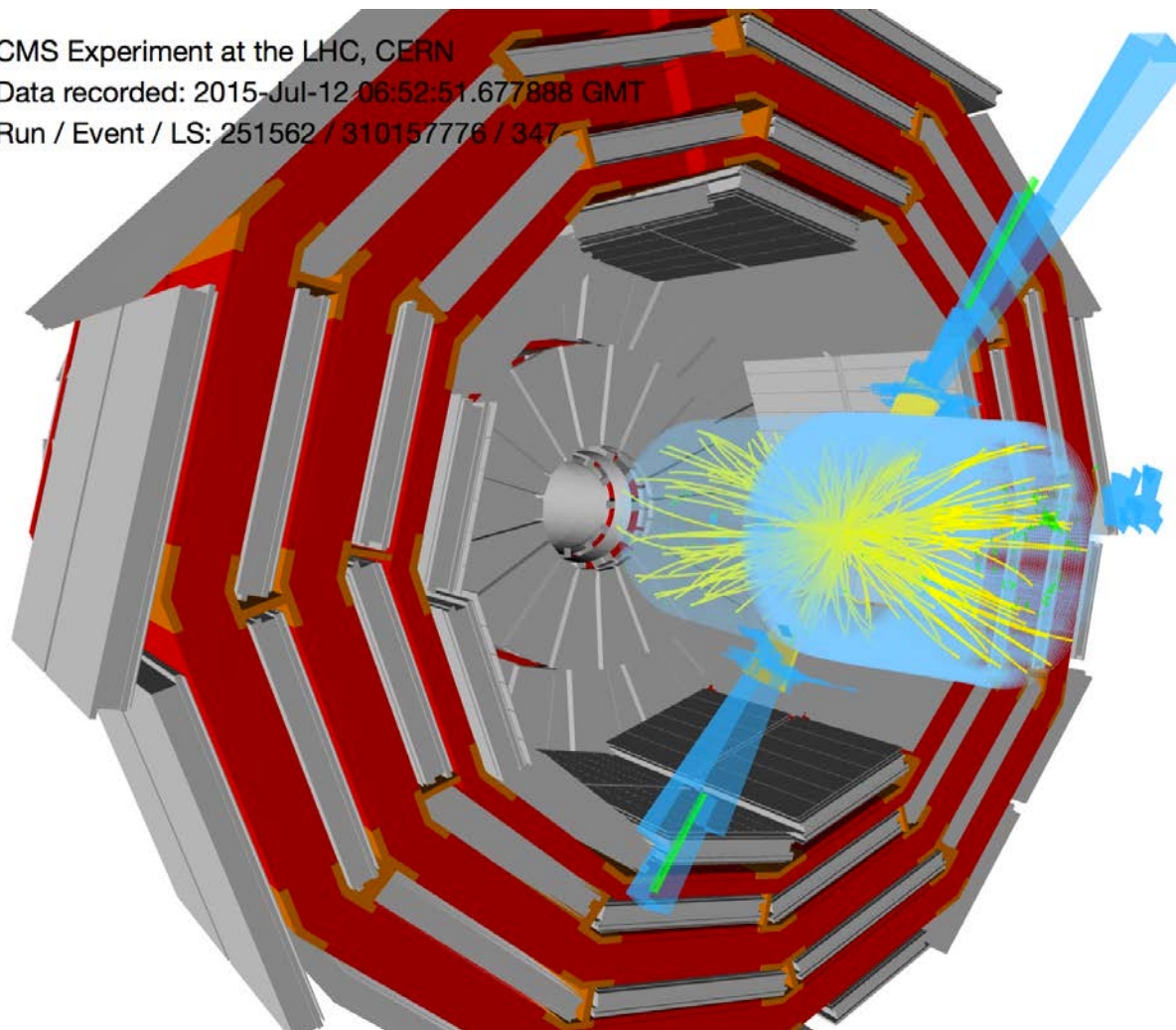
- Rad. tolerant - high granularity - significantly less material
- 40 MHz selective readout ($P_t \geq 2$ GeV) in Outer Tracker for L1-Trigger
- Extend coverage to $\eta = 3.8$



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2015-Jul-12 06:52:51.677888 GMT

Run / Event / LS: 251562 / 310157776 / 347



**Wir sind
gespannt,
was die
Natur für
uns auf
Lager
hat !**

Gemeinsame Professur DESY / RWTH Aachen

Deputy Spokesperson of the CMS Collaboration

Leiterin der DESY-CMS Gruppe (~ 100 members)

Topic-Sprecherin für LHC

Co-Leiterin der DESY-CMS Gruppe (~40 members)

Stellv. Leiterin der DESY-ZEUS Gruppe

Internationale wissenschaft. Komitees

Koordination: Physik & Detektor

Wissenschaftl. Angestellte am DESY (Dauerstelle)

Lise-Meitner Habilitationsstipendium

Max-Kade Stipendium in USA

PostDoc Team-Leiterin

& detector coordination

Doktorarbeit & Diplom

@ TH Dortmund

Mathematisch.-Techn. Assist.



W2/W3
Programm
in Helmholtz

Helmholtz Akademie
für Führungskräfte

PI in Helmholtz-Russia
Joint Research Group
DESY interne Trainingskurse

Mentoring & eigene Weiterbildung

Mentoring & eigene Weiterbildung

NRW: Unterstützung „Tele-Heimarbeit“ (Kind)

Mentoring & eigene Weiterbildung

Studienstiftlerin nach Vor-Diplom

Sommerstudentin @ DESY (Helmholtz)

Ausbildung @ Helmholtz Forschungszentrum Jülich

- **K. Nagel:** Erfolg, R.Oldenbourg Verlag, ISBN 3-486-222-16-3
- **L.J.Seiwert:** (Deutschlands Zeit-Management Experte Nr.1)
 - Mehr Zeit für das Wesentliche, u.A. als Hörbuch, Rusch Verlag
 - Simplify your life, ..., → Internet-Seiten
- **Literatur zur Karriereförderung von Frauen**
 - gilt alles genauso für die Herren !
- **P. Modler:** Das Arroganz Prinzip, Krüger Verlag, ISBN 978-3-8105-1294-9
- **P. Bock:** Mindfuck – Warum wir uns selbst sabotieren und was wir dagegen tun können, Knaur Verlag, ISBN 978-3-426-65507-8
- R.Fisher Roffer, Goodbye, Mrs. Nobody, Heyne Verlag, ISBN 3-453-19070-X
- U.Erhardt, Gute Mädchen kommen in den Himmel – böse überall hin, Fischer Verlag, ISBN 3-596-14751-4
- **Übliche „Fast-Food“ Manager-Literatur:**
 - S.Lundin, FISH !, Wirtschaftsverlag Ueberreuter, ISBN 3-7064-0756-6
 - B.Jensen, Simplicity, Perseus Books, ISBN 0-7382-0210-X
- **Tipps in Zeitschriften** → gut zur Wiederholung zwischendurch
- **S. Molcho:** Körpersprache, Mosaik Verlag, ISBN 3-570-04973-6
- **H.Rückle:** Körpersprache für Manager, Verlag Moderne Industrie, ISBN 3-478-54100-X

BACKUP

In December, CMS presented a large number of first searches for new physics in the 13 TeV data, with results including a small excess above background in the di-photon channel near a mass of 750 GeV.

Since then, CMS has reanalyzed the data using final calibrations obtained from the 2015 dataset, also including 0.6fb^{-1} of additional data collected while the solenoid was switched off. With these improvements, the sensitivity of the di-photon search increases by 20% relative to the previous result.

Figure 1 shows the di-photon mass spectrum in the central region of CMS, separately for the field-on and field-off data. From a fit to the combined data over the range 500 – 4500 GeV, the largest excess is observed for a resonance of width $\Gamma/m = 1.4 \times 10^{-2}$ at a mass of 760 GeV, corresponding to a local significance of $2.8 - 2.9\sigma$ depending on the spin hypothesis (0 or 2). The search at 13 TeV is also combined with results of similar searches in the 8 TeV data, yielding a local significance of 3.4σ for a mass of 750 GeV under the narrow width assumption ($\Gamma/m = 1.4 \times 10^{-2}$).

More data is needed to determine the nature of this excess.

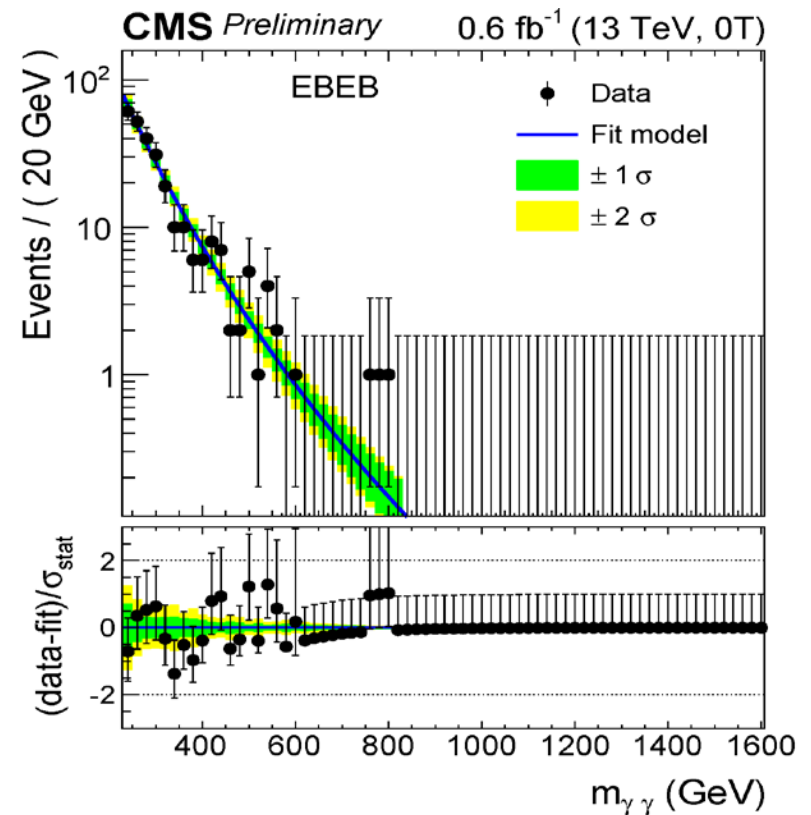
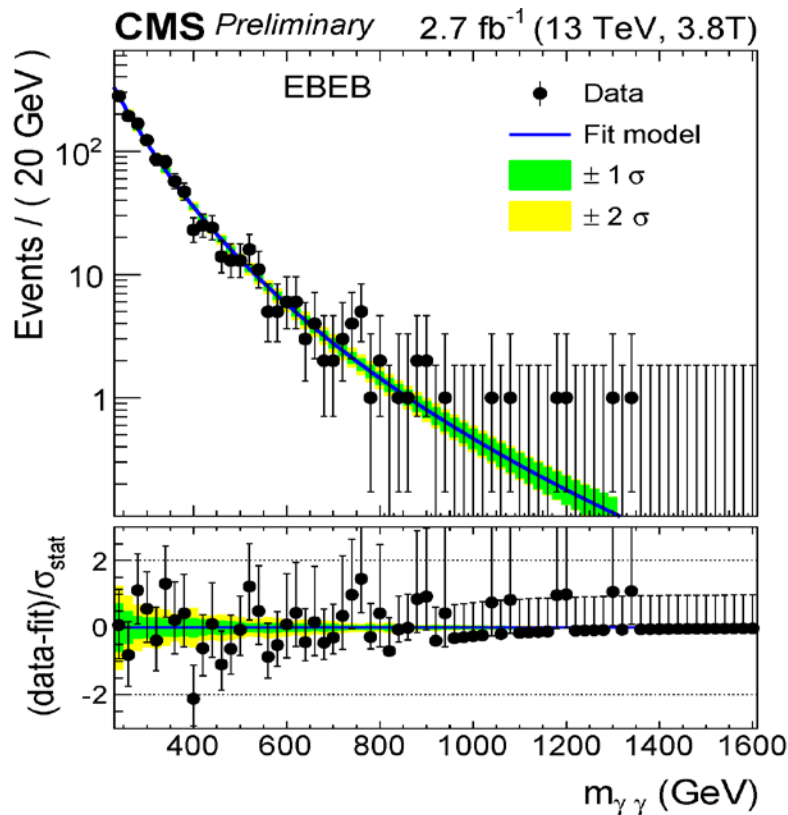
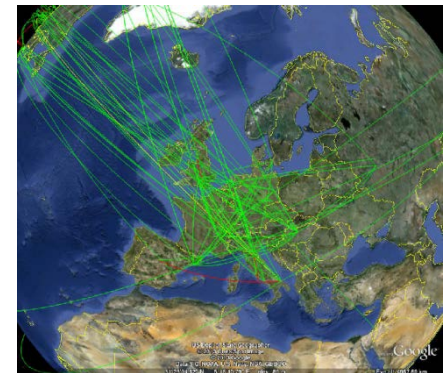


Figure 1: Invariant mass of photon pairs reconstructed in the central region of CMS collected in 2.7 fb^{-1} of 3.8 T data (left) and 0.6 fb^{-1} of 0 T data (right). Results of simultaneous parametric fits to the data, with uncertainty bands, are also shown.

- **CERN: globales Forschungslabor**
 - 21 Mitgliedstaaten
 - Jahresbudget 2013: ca. 900 Millionen Euro
 - über 100 aktive Experimente an sechs Beschleunigern
 - ~11 000 Nutzer aus über 100 Ländern
- **Deutschland @ CERN:**
 - Gründungsmitglied
 - größter Beitragszahler (20,3%)
 - > 1100 Nutzer (10%)
 - Beteiligungen(Wissenschaftler/Institute):
 - ATLAS (420/15), CMS (280/4)
 - ALICE (120/9), LHCb (60/4)
 - GRIDKA am KIT eines der 13 global verteilten primären Großrechenzentren des LHC Computing Grid (TIER-1)
 - Sekundäre Großrechenzentren: DESY, Universitäten mit Helmholtz Unterstützung





- Viele Universitäten
- Viele Forschungslabore
- Mehr Information:

www.weltmaschine.de

www.ketweb.de

http://www.ketweb.de/veroeffentlichungen/broschuere_2012/e201476/121002_KET_Broschuere_fin.pdf

