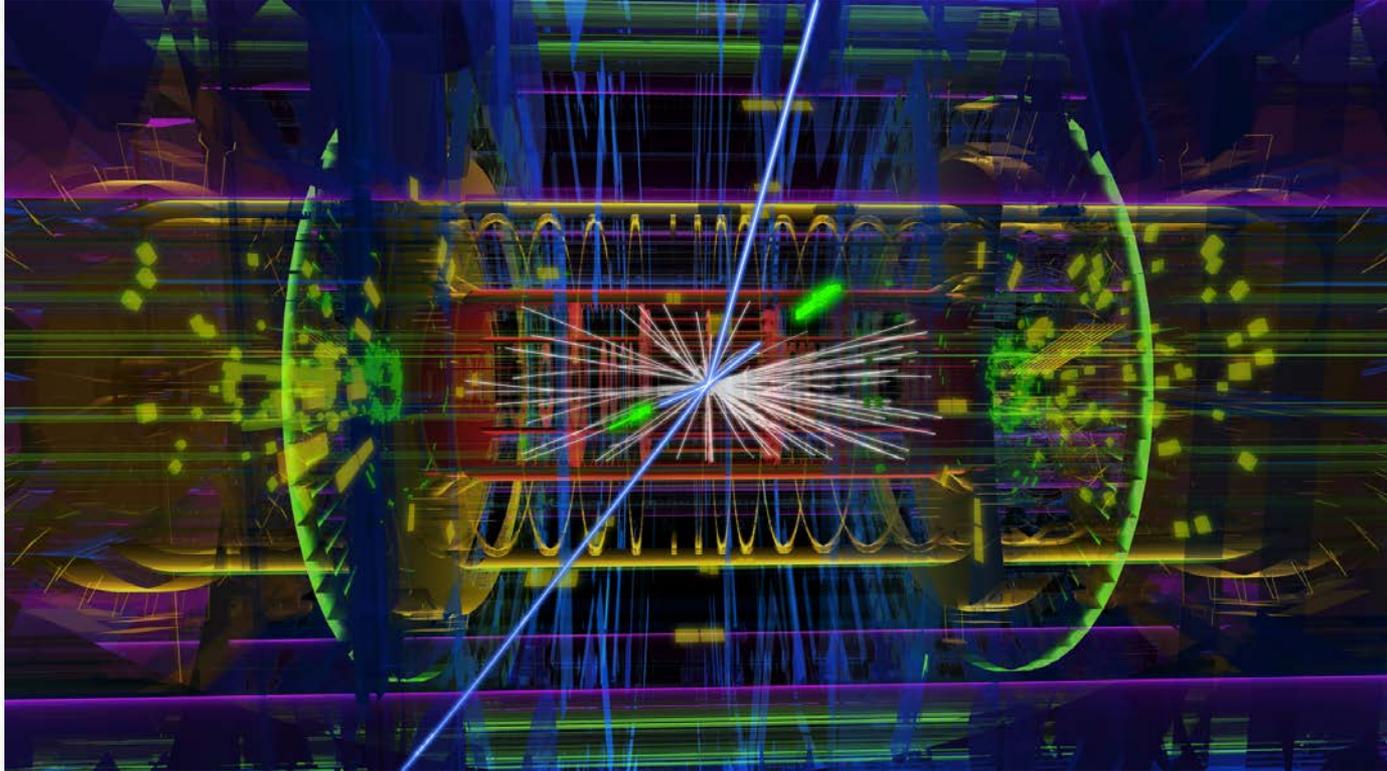
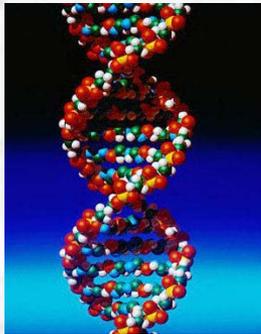


Higgs-Teilchen entdeckt?



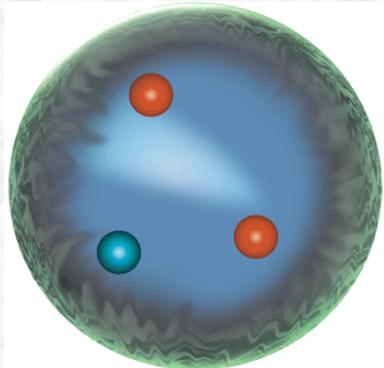
Prof. Karl Jakobs
Physikalisches Institut
Universität Freiburg

Motivation und Zielsetzung der Teilchenphysik



Einheitliche und umfassende
Beschreibung der

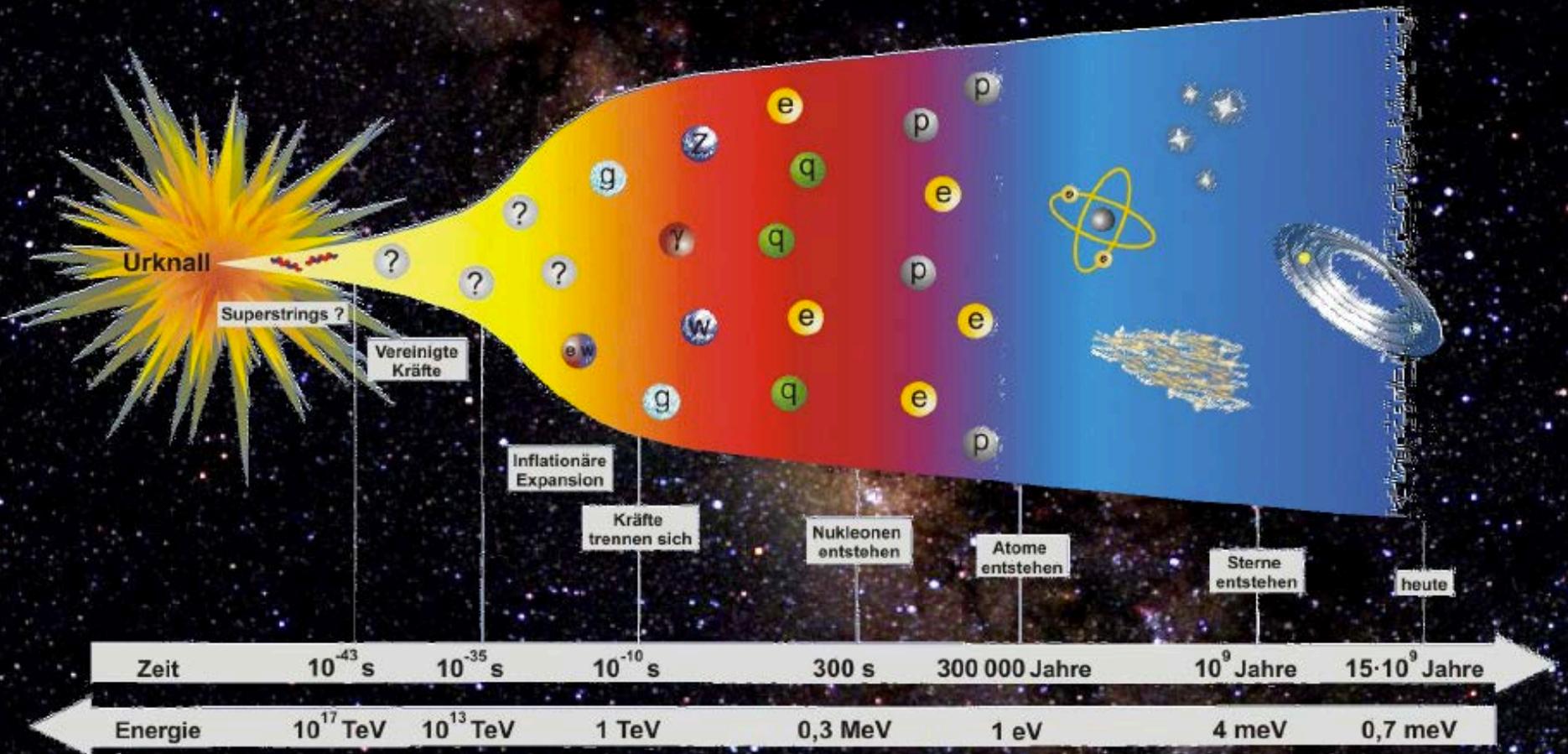
Materie und ihrer Wechselwirkungen



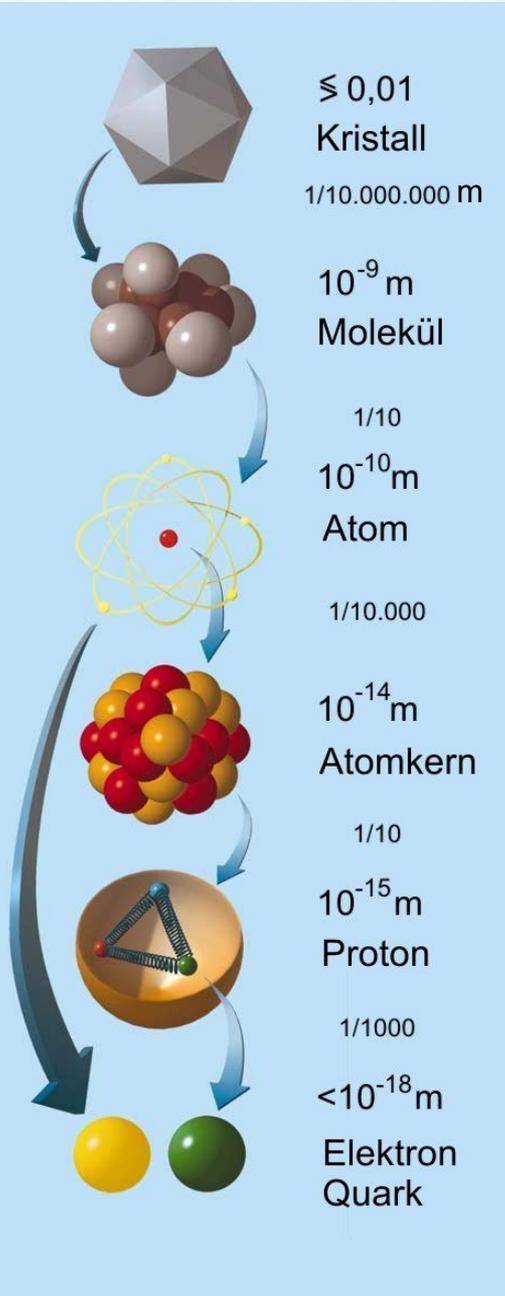
von kleinsten Abständen
(10^{-18} m)

bis zu kosmischen
Dimensionen (10^{25} m)

Entwicklung unseres Universums



Erforschung der Materie



Auge, Mikroskop
(Licht)

Elektronenmikroskop
(Elektronen)

Teilchenbeschleuniger
(Synchrotron-Strahlung)

Teilchenbeschleuniger
(Teilchen hoher Energie)

höhere Energie / Impuls

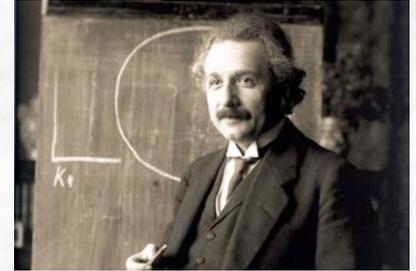
höhere Auflösung

$$\Delta x \propto \frac{1}{p}$$

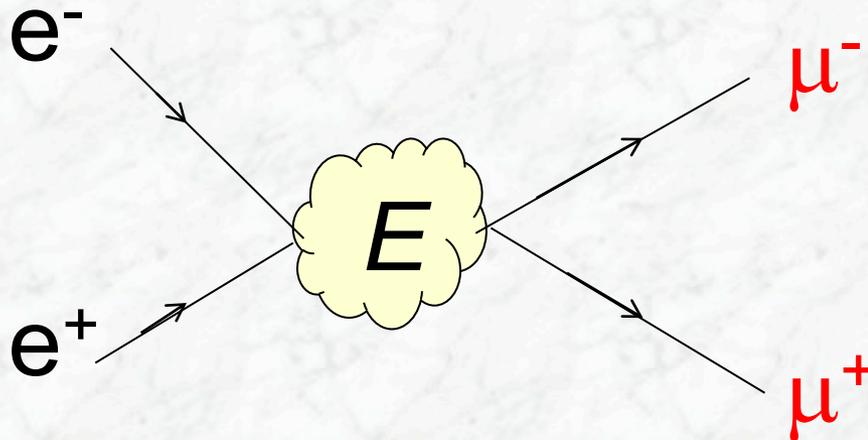


Neue Teilchen aus hohen Energien?

$$E = mc^2$$



bekannte
Teilchen



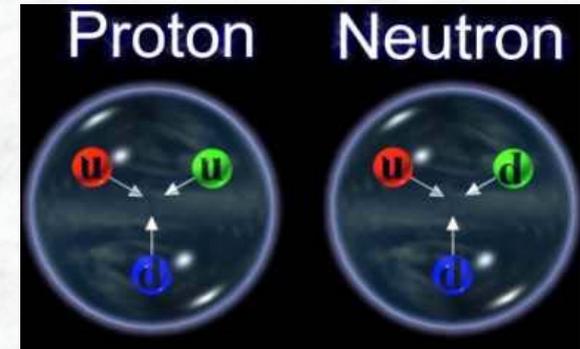
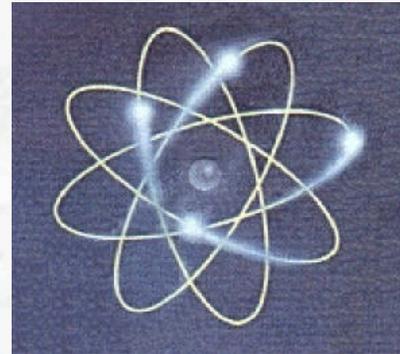
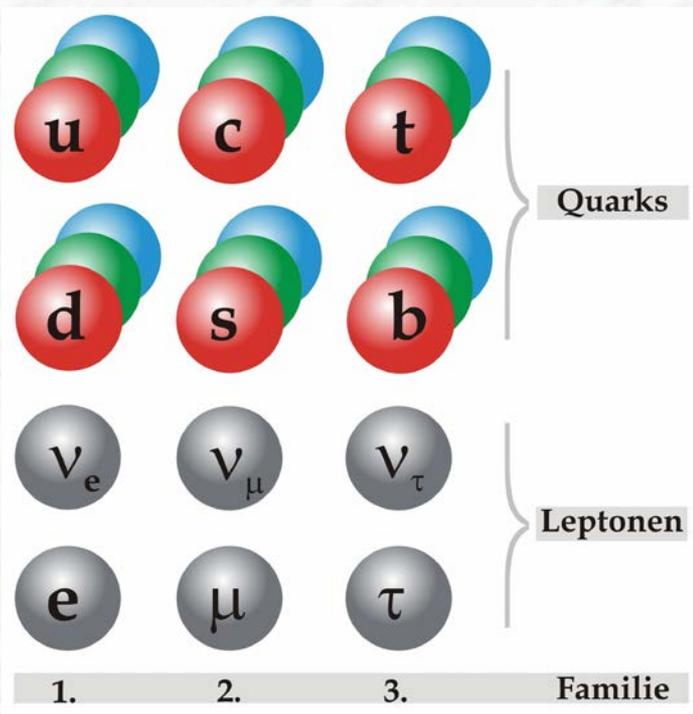
neue
Teilchen



$m_{\text{Elektron}} = 511 \text{ keV} = 511\,000 \text{ eV}$
 $m_{\text{Proton}} = 938 \text{ MeV} = 938\,000\,000 \text{ eV}$
üblicherweise wird $c=1$ gesetzt

$E_{\text{LHC}} = 8 \text{ TeV} = 8\,000\,000\,000\,000 \text{ eV}$

Die Bausteine der Materie: Quarks und Leptonen

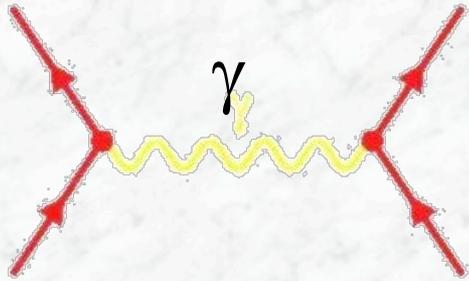


Materie, die uns umgibt: Bausteine der 1. Familie

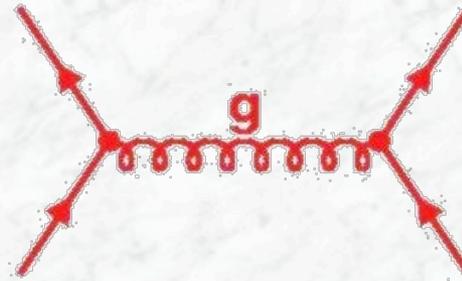
$m_p = 0.938 \text{ GeV}$
(Konstituenten + Bindungsenergie)

- Quarks und Leptonen scheinen punktförmig zu sein, Ausdehnung $< 10^{-18} \text{ m}$ (Elementarteilchen)
- Die Masse der Quarks und Leptonen steigt mit der Familienzahl an
 $m_\mu \approx 200 m_e$ $m_\tau \approx 3.500 m_e$
 Das schwerste Elementarteilchen: das Top-Quark $m_t \approx 340.000 m_e \approx m_{\text{Gold-Atom}}$

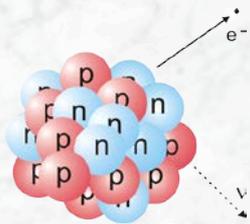
Die fundamentalen Kräfte



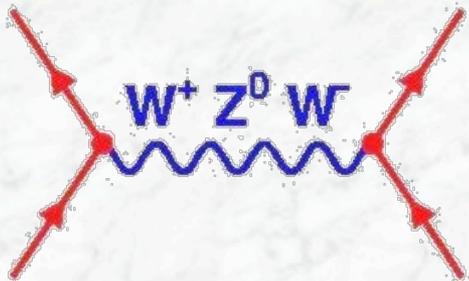
elektromagnetische Kraft



starke Kraft



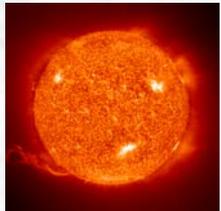
β -Zerfall



schwache Kraft



Gravitation



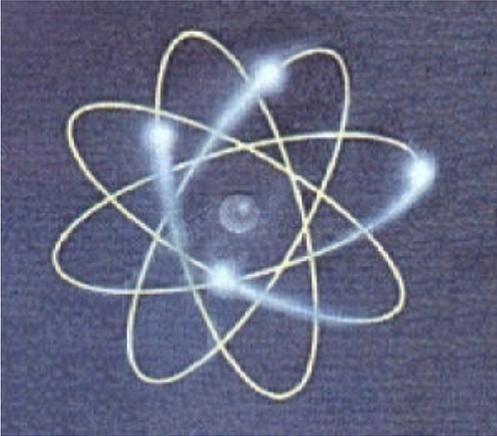
Austauschteilchen: **Photon (γ), Gluonen (g), W- und Z-Teilchen**

(Im Bild der Quantenfeldtheorie: Wechselwirkung durch Austausch dieser Teilchen)

- Photon und Gluonen sind masselos: $m_\gamma = 0$, $m_g = 0$

- W- und Z-Teilchen sind sehr schwer: $m_W = 80.4 \text{ GeV}$, $m_Z = 91.2 \text{ GeV}$

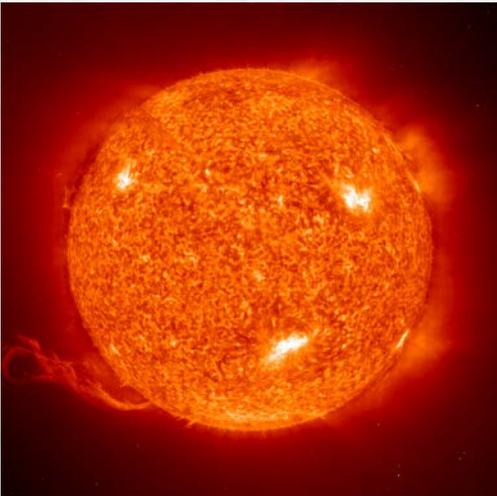
Bedeutung der Massen der Elementarteilchen



Masse von Elektronen und Protonen

→ Längenskala unserer Welt

$m_e = 0$ → keine Atombindung

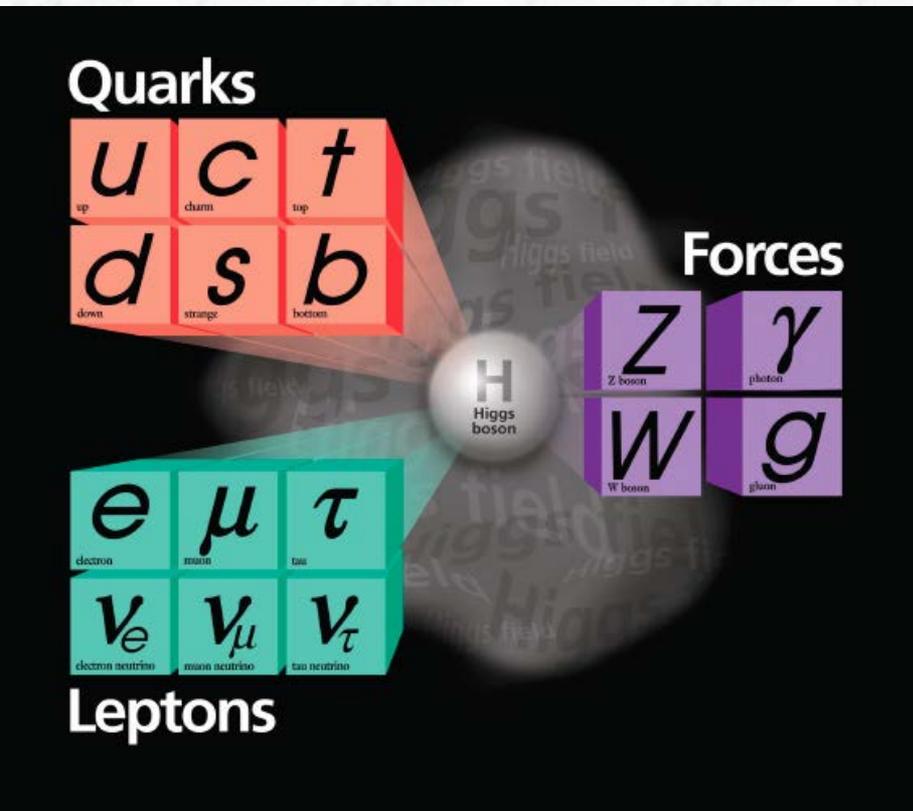


Keine/kleine Masse des W-Austauschteilchens

→ Kürzere Brennzeit der Sonne,
andere Temperaturverhältnisse

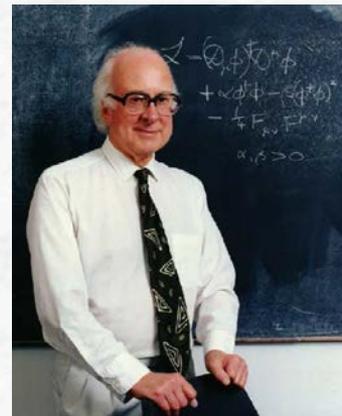
→ Keine Menschen / Leben auf der Erde

Das Problem der Masse



- Theoretische Beschreibung (Quantenfeldtheorien)
→ **masselose Teilchen**
- Ein neues Teilchenfeld (Higgs-Feld) wird postuliert, durchdringt Vakuum
- Masse wird erzeugt durch Wechselwirkung der Teilchen mit diesem Feld
- Vorhersage: Neues Teilchen, das sog. **Higgs-Teilchen**

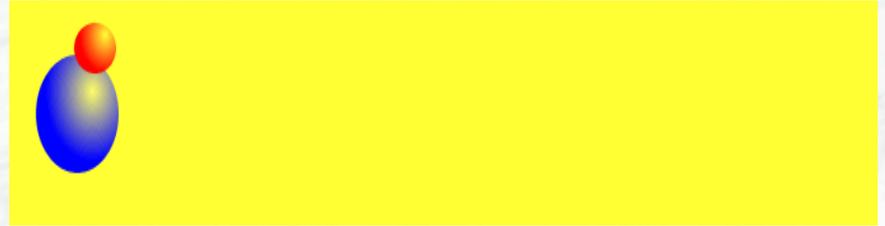
Vorgeschlagen im Jahre 1964 von Prof. P. Higgs (Univ. Edinburgh) und anderen Theoretischen Physikern:
[R. Brout, F. Englert, G. Guralnik, C. Hagen, P. Higgs, T. Kibble]



Prinzip der Massenerzeugung

Leeres Vakuum

Alle Teilchen sind masselos und bewegen sich mit derselben Geschwindigkeit, der Lichtgeschwindigkeit.



Higgs-Hintergrundfeld

Teilchen wechselwirken mit dem Higgs-Hintergrundfeld und bewegen sich langsamer.

Sie erhalten effektiv eine Masse. Die Masse hängt von der Stärke der Wechselwirkung mit dem Hintergrundfeld ab.



Der Preis: das Higgs-Teilchen

Eine Anregung des Higgs-Feldes



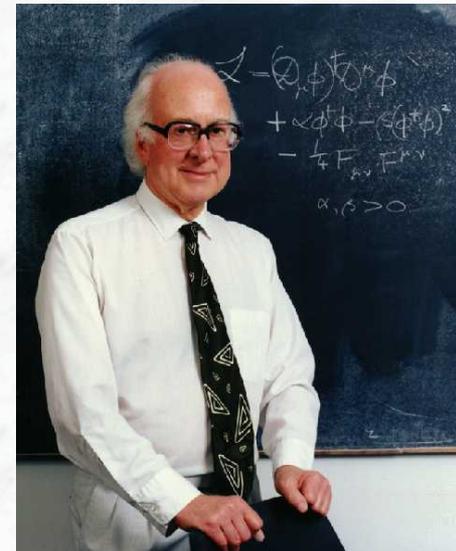
„Die Physiker wissen alles über das Higgs-Teilchen, das Einzige was sie nicht wissen ist, ob es existiert“

Die Masse des Higgs-Teilchens wird von der Theorie nicht vorhergesagt

Theoretische obere Grenze:
Aus experimentellen Suchen:
(vor LHC)

$$m_H < \sim 1000 \text{ GeV}$$

$$m_H > 114.4 \text{ GeV}$$



Die Theorie macht präzise Voraussagen über die Stärke der Wechselwirkung mit allen bekannten Teilchen und über seine Lebensdauer

Beispiel: $m_H = 125 \text{ GeV} \rightarrow$ Lebensdauer $\tau = 10^{-22} \text{ s}$

Zerfälle des Higgs-Teilchens



Die Zerfallseigenschaften des Higgs-Teilchens sind bekannt, **sobald die Masse bekannt ist:**



Zerfallsraten hängen auch von der Masse der Zerfallsprodukte ab

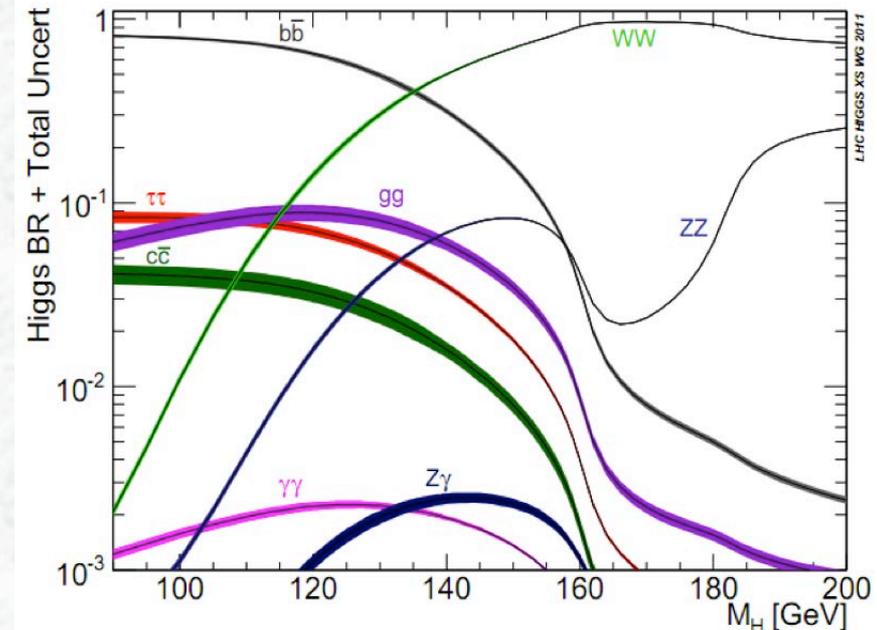
$$\Gamma(H \rightarrow f\bar{f}) = N_c \frac{G_F}{4\sqrt{2}\pi} m_f^2 (M_H^2) M_H$$

$$\Gamma(H \rightarrow VV) = \delta_V \frac{G_F}{16\sqrt{2}\pi} M_H^3 (1 - 4x + 12x^2) \beta_V$$

where: $\delta_Z = 1$, $\delta_W = 2$, $x = M_V^2 / M_H^2$, $\beta = \text{velocity}$

$$\Gamma(H \rightarrow gg) = \frac{G_F \alpha_a^2 (M_H^2)}{36\sqrt{2}\pi^3} M_H^3 \left[1 + \left(\frac{95}{4} - \frac{7N_f}{6} \right) \frac{\alpha_a}{\pi} \right]$$

$$\Gamma(H \rightarrow \gamma\gamma) = \frac{G_F \alpha_a^2}{128\sqrt{2}\pi^3} M_H^3 \left[\frac{4}{3} N_c e_t^2 - 7 \right]^2$$



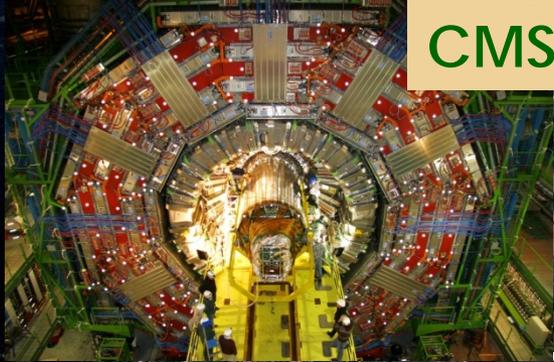
Der Large Hadron Collider (LHC)

An aerial photograph of a rural landscape with a patchwork of green and brown fields. A large, circular white line is overlaid on the image, representing the path of the Large Hadron Collider (LHC) tunnel. The tunnel starts in the lower right, loops around a small town, and then extends in a large circle across the upper half of the image. A smaller circular line is also visible in the lower right quadrant, near a town. The overall scene is a mix of agricultural fields, small villages, and a large-scale engineering project.

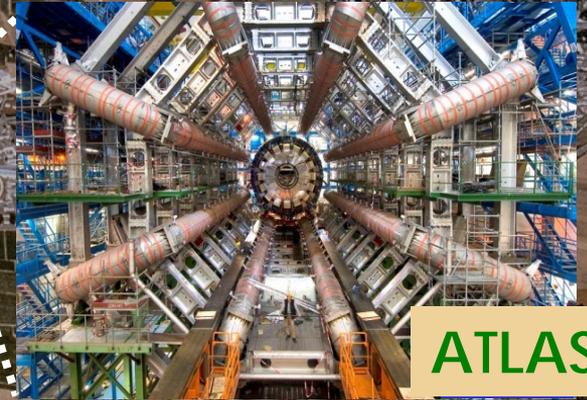
Beginn einer neuen Ära,
richtungweisende Experimente

Ein Blick in den Beschleunigertunnel





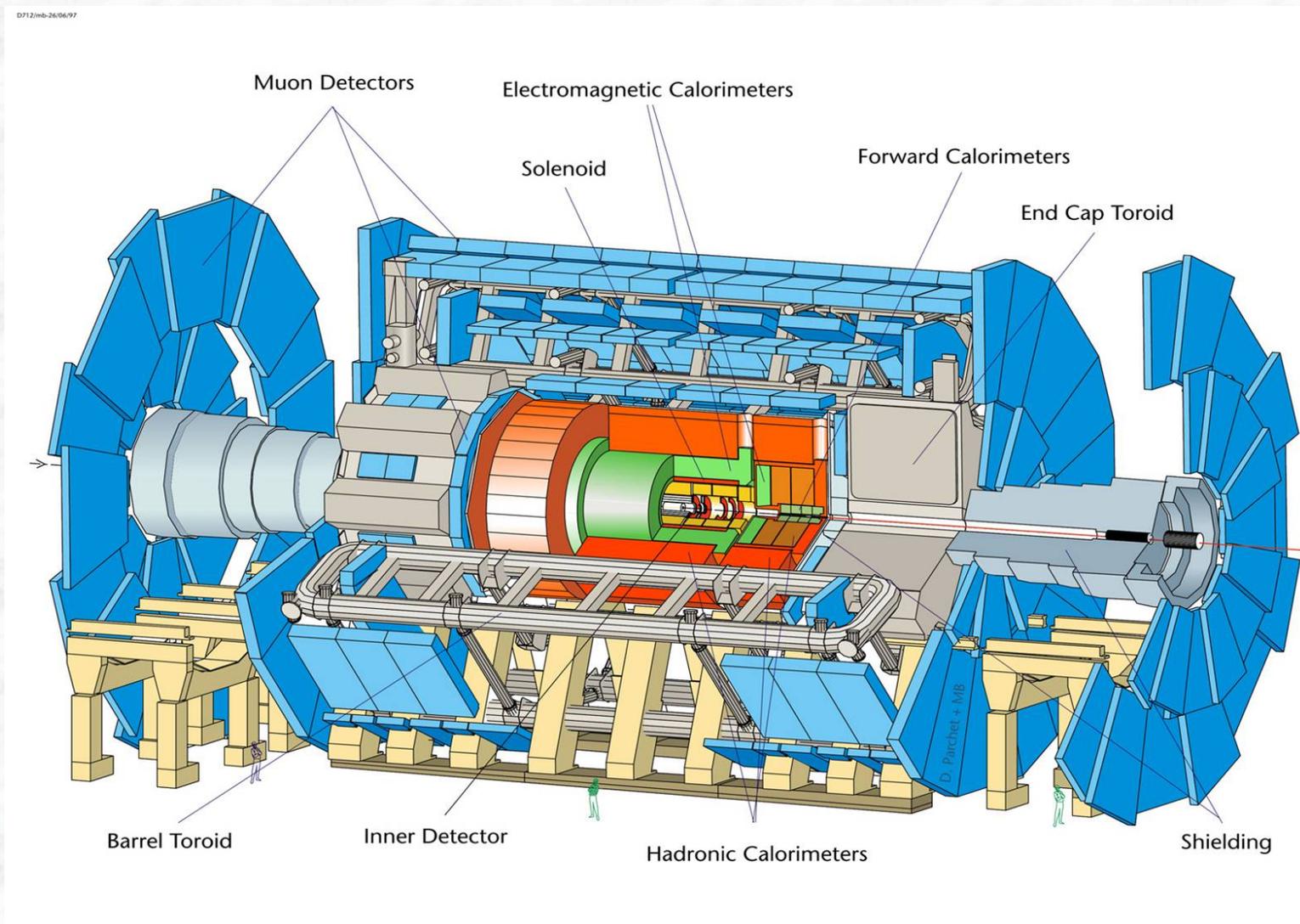
CMS



ATLAS



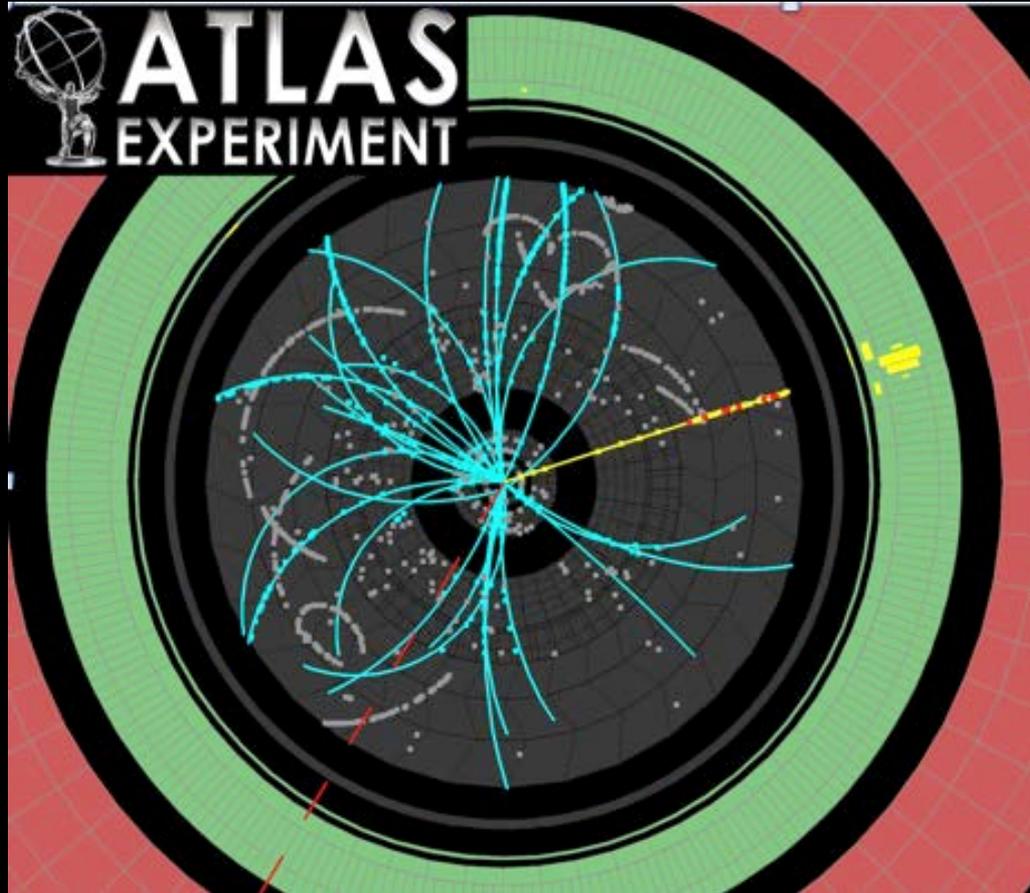
Der ATLAS-Detektor



Durchmesser
Gesamte Länge (incl. Myondetektoren)
Gesamtgewicht

25 m
46 m
7000 t

200 Mio. Auslesekanäle
40 Mio. Mal pro Sekunde
aufnahmebereit



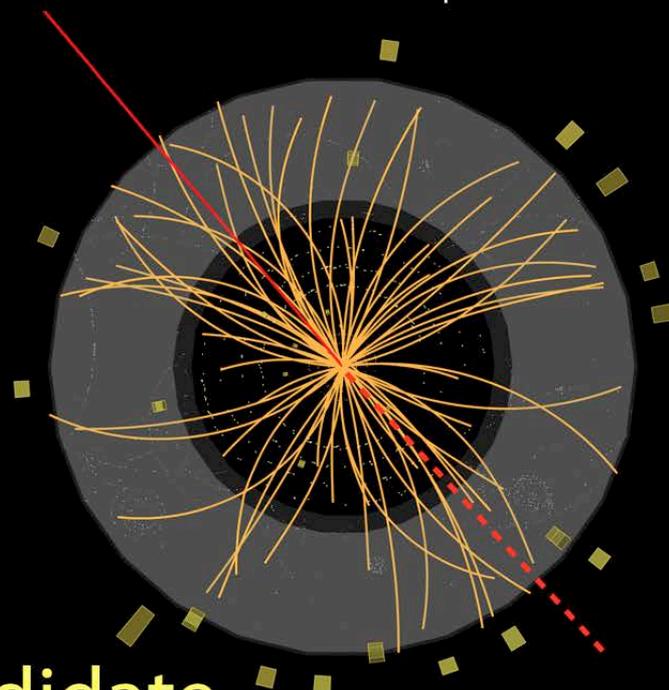
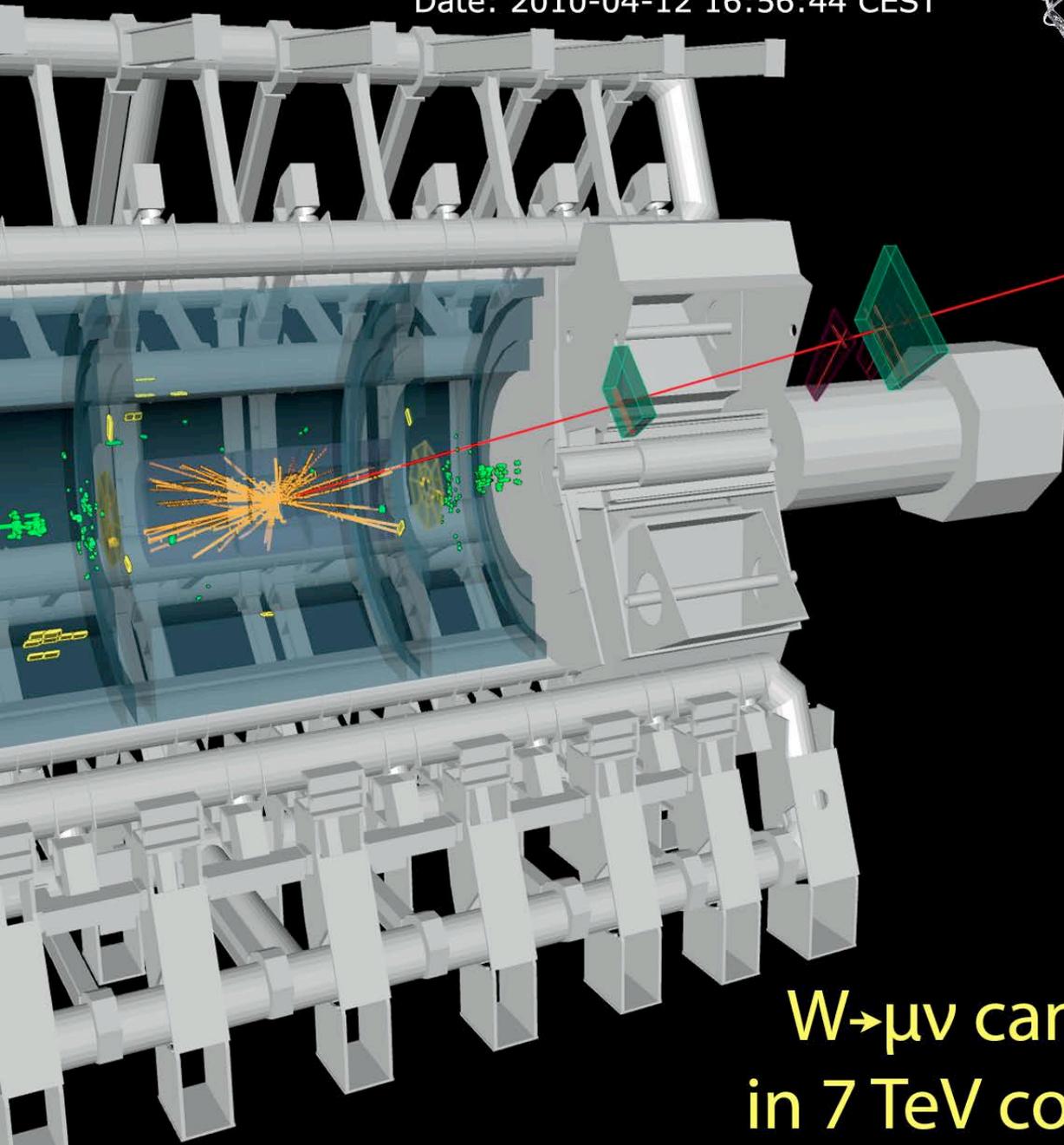
Ein Kandidat für ein $W \rightarrow e \nu$ Zerfall im ATLAS-Experiment

Run: 152845, Event: 3338173
Date: 2010-04-12 16:56:44 CEST



ATLAS EXPERIMENT

$p_T(\mu^-) = 40 \text{ GeV}$
 $\eta(\mu^-) = 2.0$
 $E_T^{\text{miss}} = 41 \text{ GeV}$
 $M_T = 83 \text{ GeV}$



$W \rightarrow \mu\nu$ candidate
in 7 TeV collisions

Argentina	Morocco
Armenia	Netherlands
Australia	Norway
Austria	Poland
Azerbaijan	Portugal
Belarus	Romania
Brazil	Russia
Canada	Serbia
Chile	Slovakia
China	Slovenia
Colombia	South Africa
Czech Republic	Spain
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Georgia	Taiwan
Germany	Turkey
Greece	UK
Israel	USA
Italy	CERN
Japan	JINR

ATLAS Collaboration



Etwa 3000 Wissenschaftler, davon etwa 1000 Studenten,
aus 174 Instituten und 38 Ländern



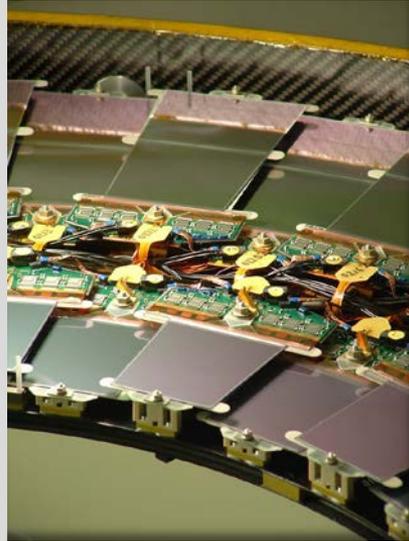
Freiburger Beiträge zum ATLAS-Experiment

(Zweitgrößte Gruppe der Kollaboration, nach CERN)

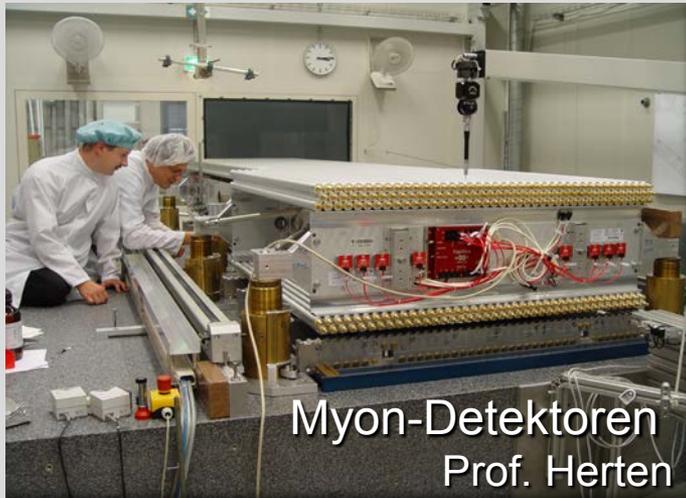


3 Professoren
20 Wissenschaftler (Dr.)

25 Doktoranden
(9 / 25 weiblich, 36%)
(10/25 aus dem Ausland)
14 Diplom- / Master -Studenten



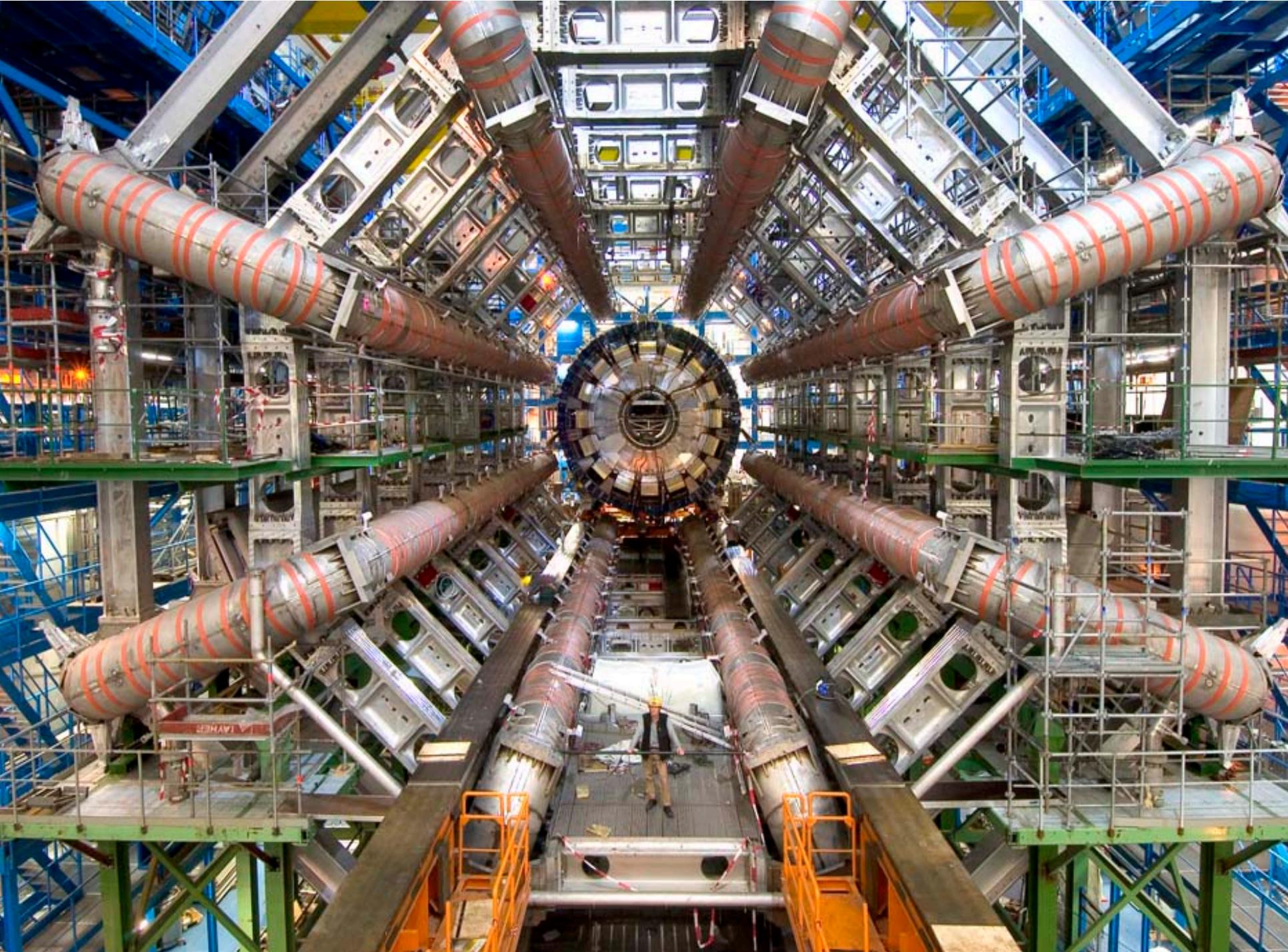
Silizium-Spurdetektoren
Prof. Jakobs

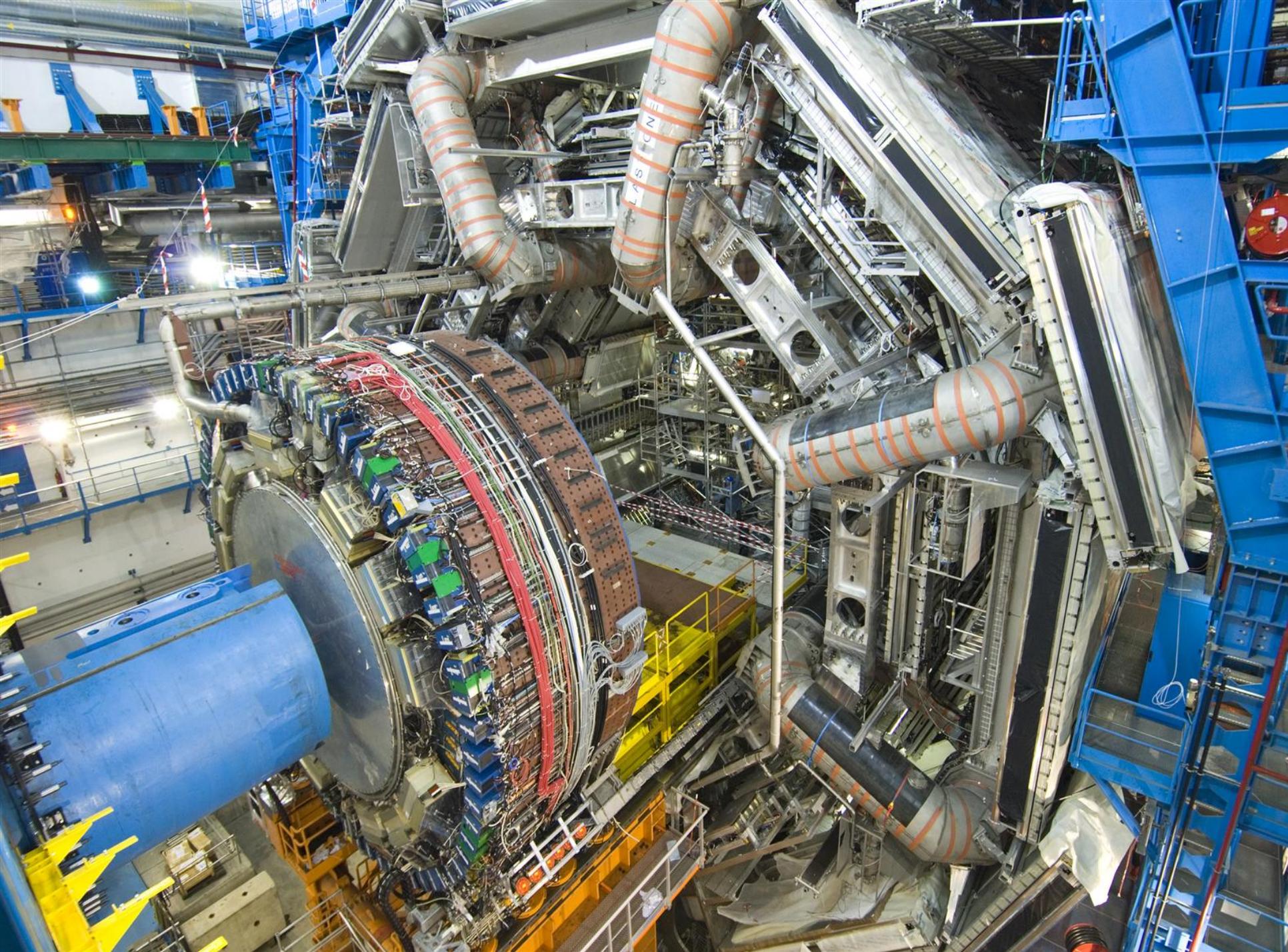


Myon-Detektoren
Prof. Herten

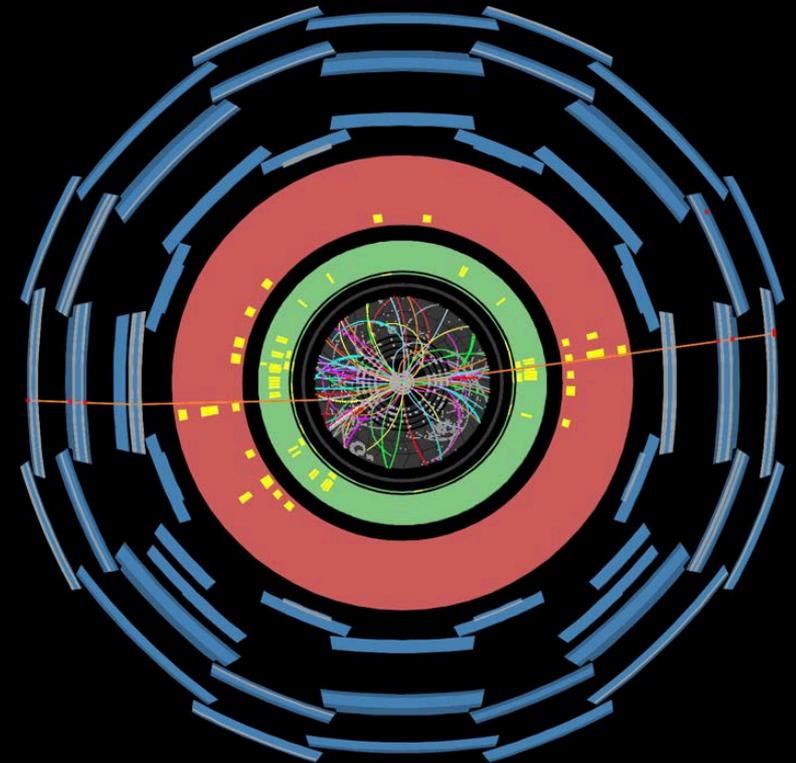


GRID-Rechenzentrum
Prof. Schumacher



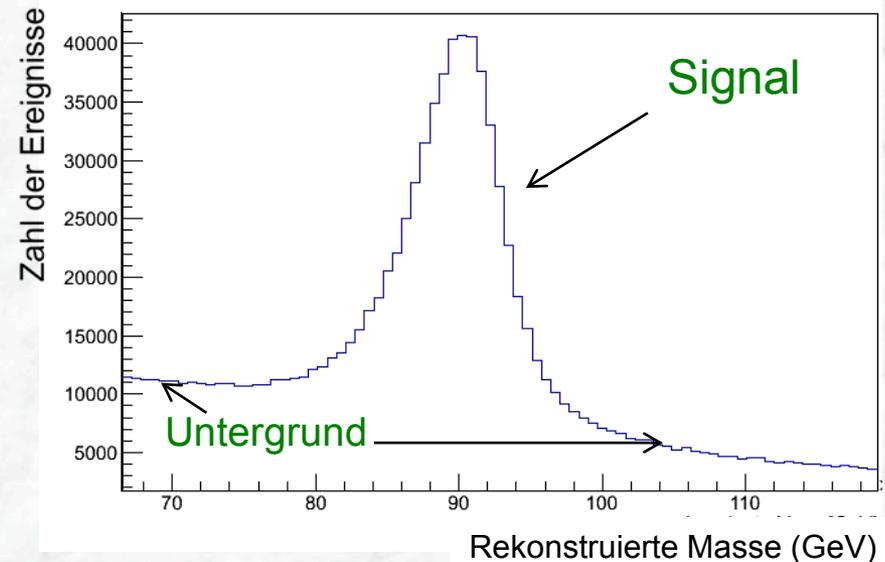
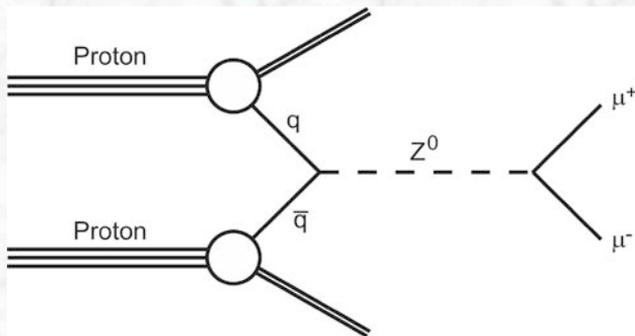


Seit 30. März 2010: Kollisionen bei den bislang höchsten erreichten Energien (7 TeV / heute 8 TeV)



Wie rekonstruiert man kurzlebige, schwere Teilchen?

- Suche nach charakteristischen Zerfallsprodukten
z.B. nach Leptonen oder Photonen (stabile Zerfallsprodukte)
- Vermessung der Impulse / Energien der Teilchen
(Magnetfeld im zentralen Bereich, Myon-Detektor)
- Aus den Impulsen / Energien der Teilchen kann die Masse des Mutterteilchens rekonstruiert werden
- Beispiel: $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$

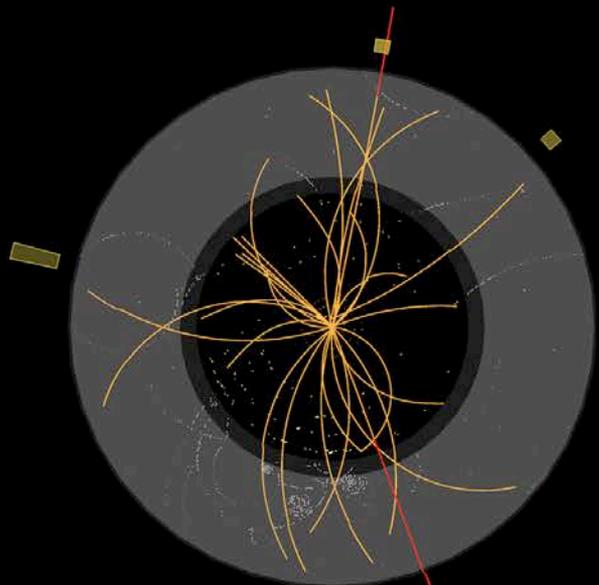
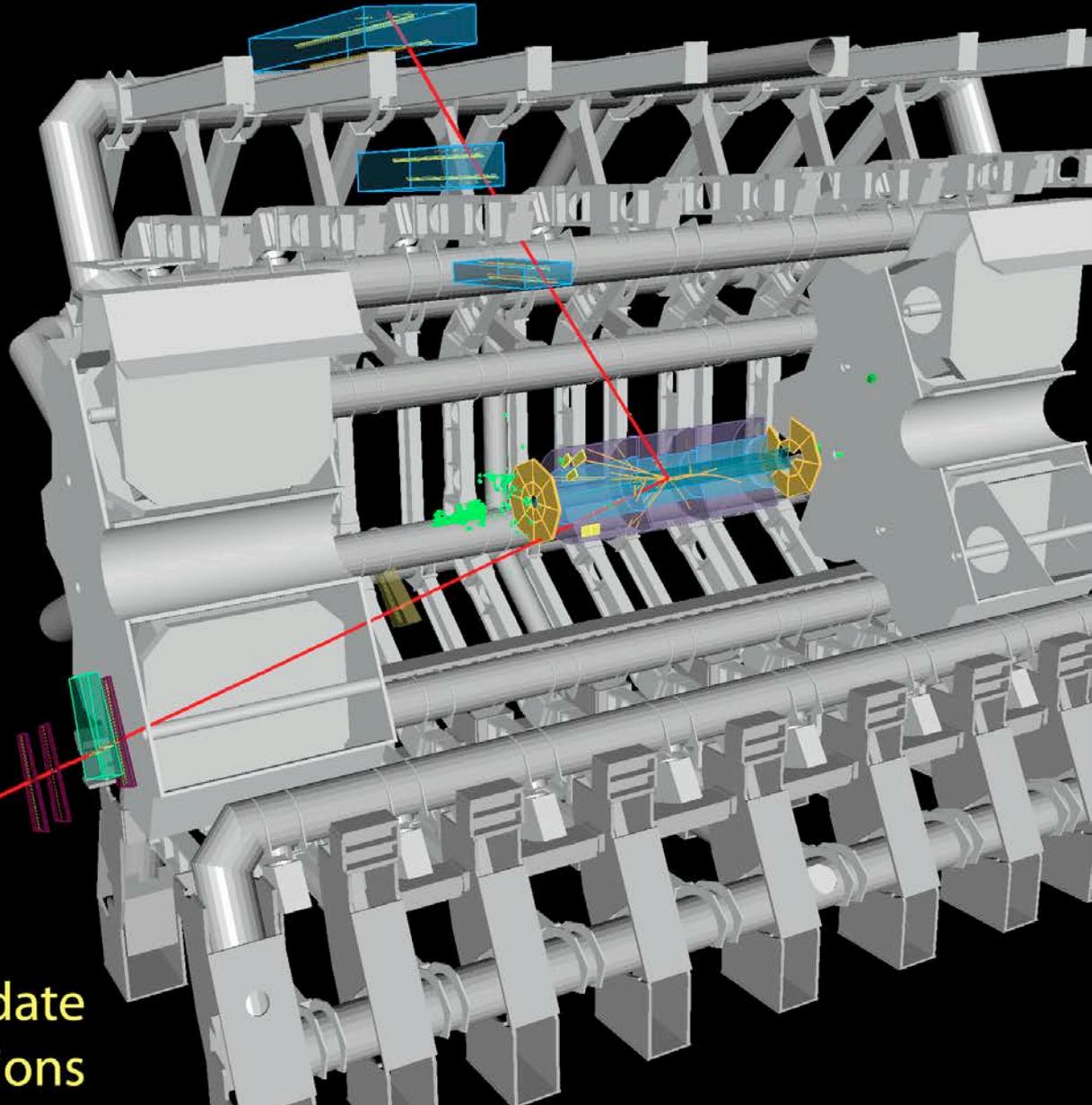


Ein Kandidat für $Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ Ereignis



ATLAS EXPERIMENT

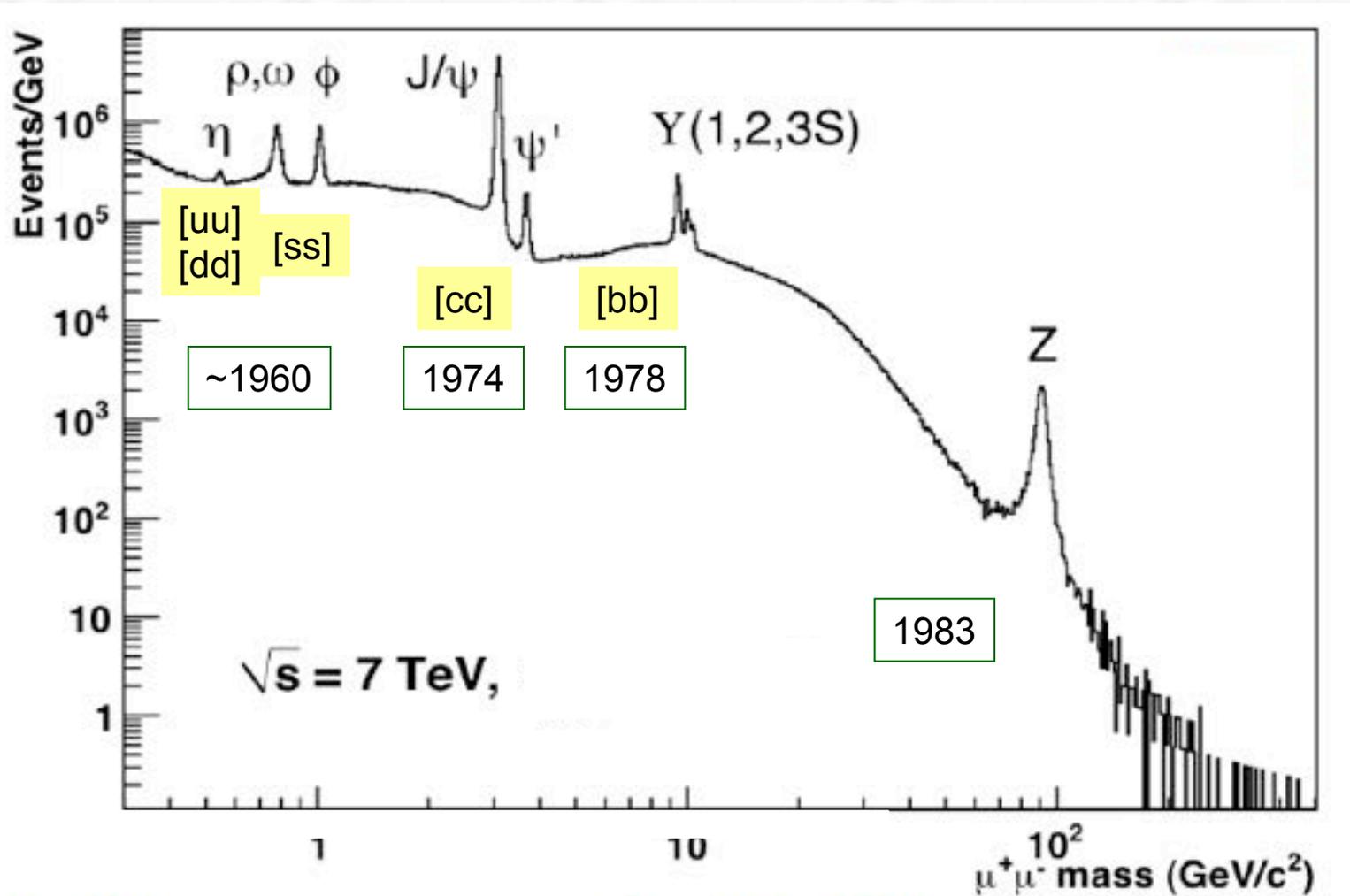
Run: 154822, Event: 14321500
Date: 2010-05-10 02:07:22 CEST



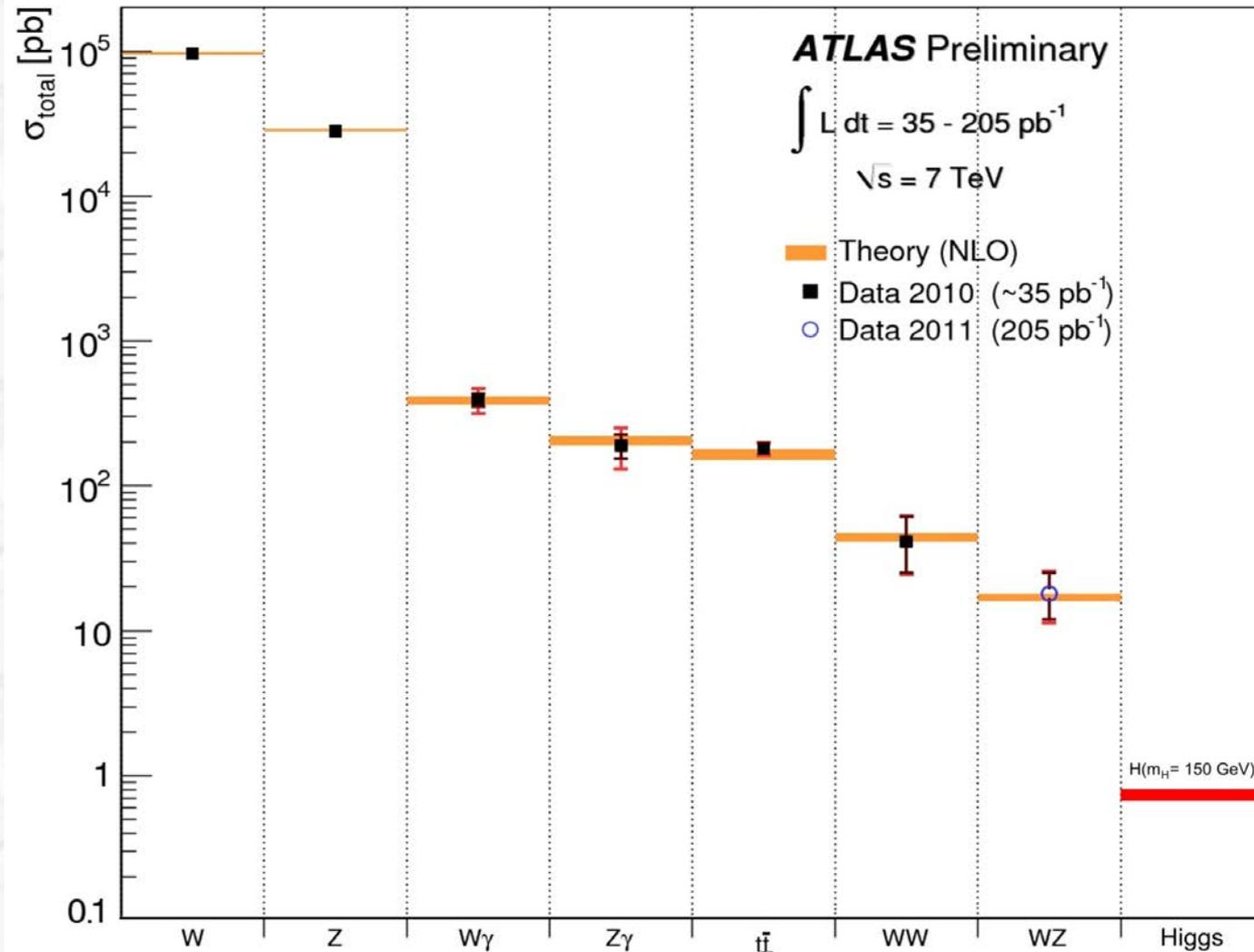
$p_T(\mu^-) = 27 \text{ GeV}$ $\eta(\mu^-) = 0.7$
 $p_T(\mu^+) = 45 \text{ GeV}$ $\eta(\mu^+) = 2.2$
 $M_{\mu\mu} = 87 \text{ GeV}$

**Z $\rightarrow\mu\mu$ candidate
in 7 TeV collisions**

Nach nur einem Jahr (Ende 2010) waren alle bis dahin bekannten Teilchen wiederentdeckt !



Vergleich Daten – Theorie (Frühjahr 2011)



Für
Experten



* Wirkungsquerschnitt σ ist ein Maß für die Produktionsrate

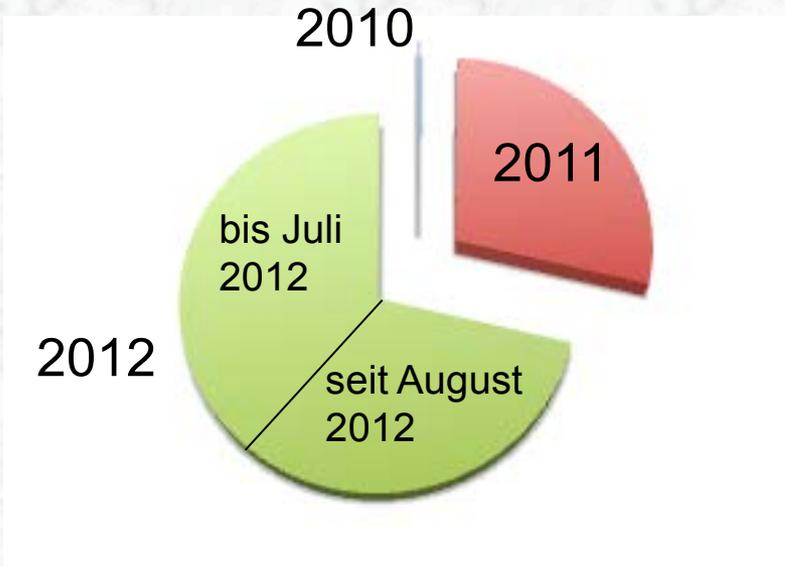
Wo ist das Higgs-Teilchen ?

- Theorie-Kollegen sagen kleine Produktionsraten voraus

→ lange Messzeiten

oder erhöhte Strahlintensität im LHC-Beschleuniger

Datennahme in den Jahren 2011 und 2012



Bis Mitte 2012:

700 Billionen pp-Kollisionen

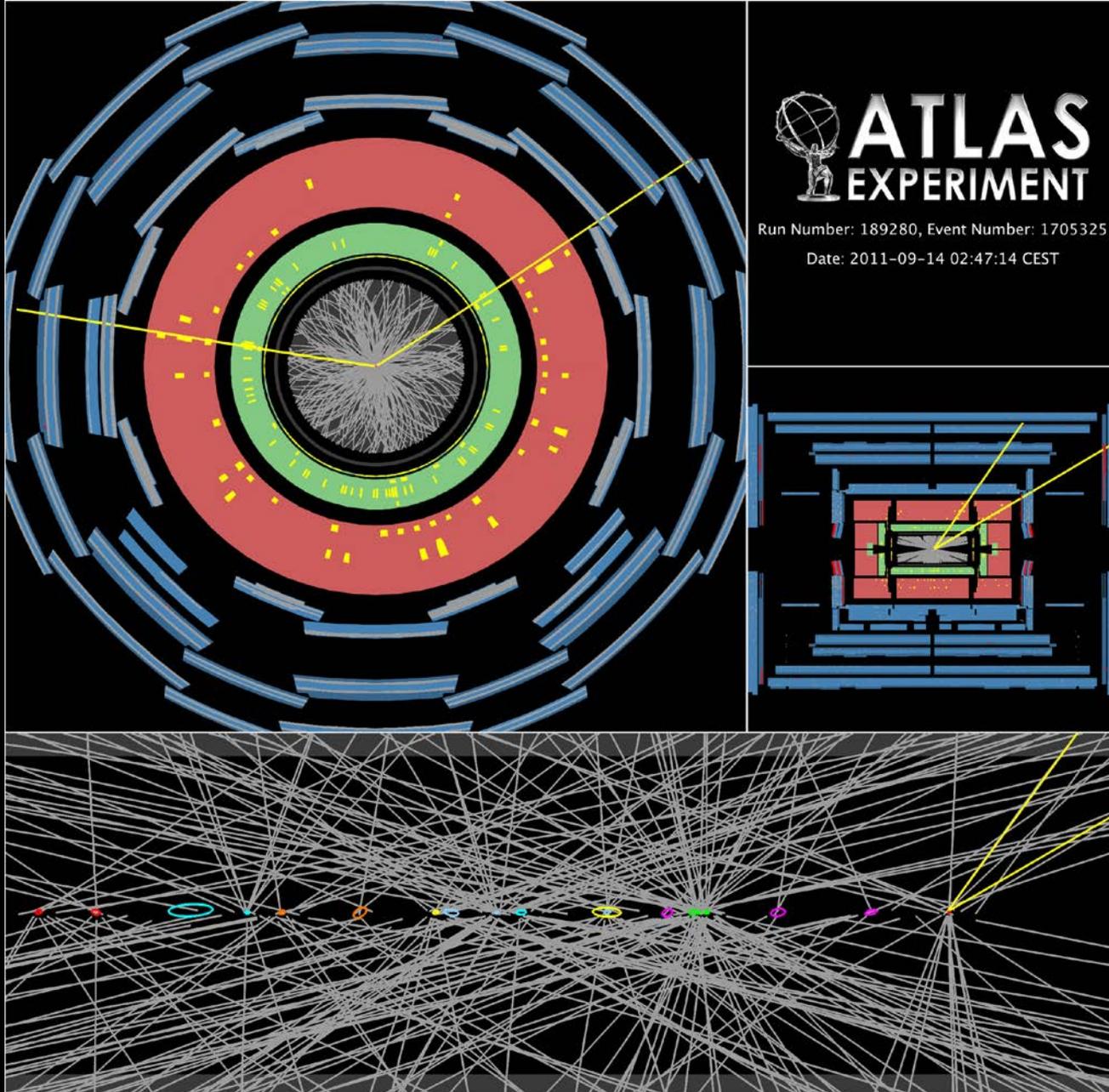
4 Milliarden aufgezeichnet

12 Millionen $Z \rightarrow \mu\mu$ Zerfälle produziert

Jenseits aller Erwartungen;

Strahlintensität so hoch, dass mehrere pp-Kollisionen während einer Strahlkreuzung auftreten

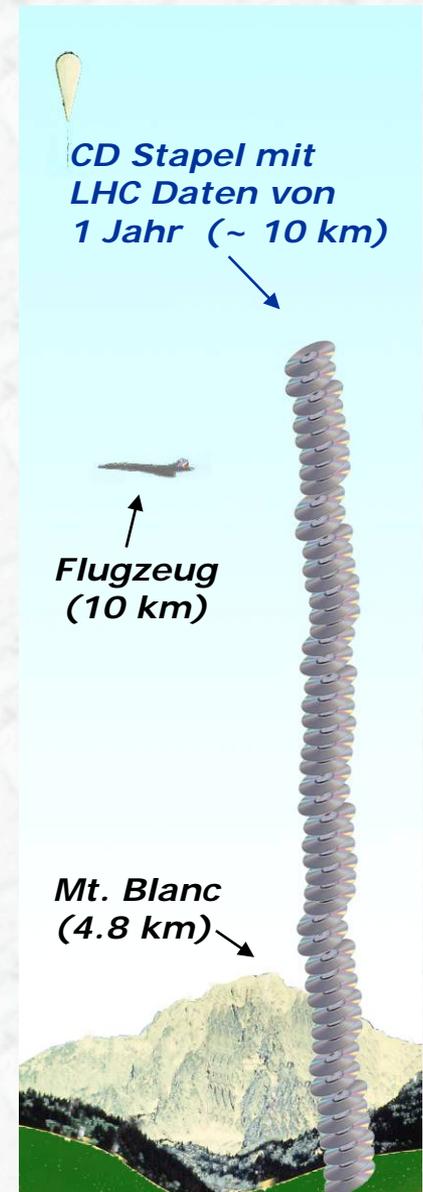
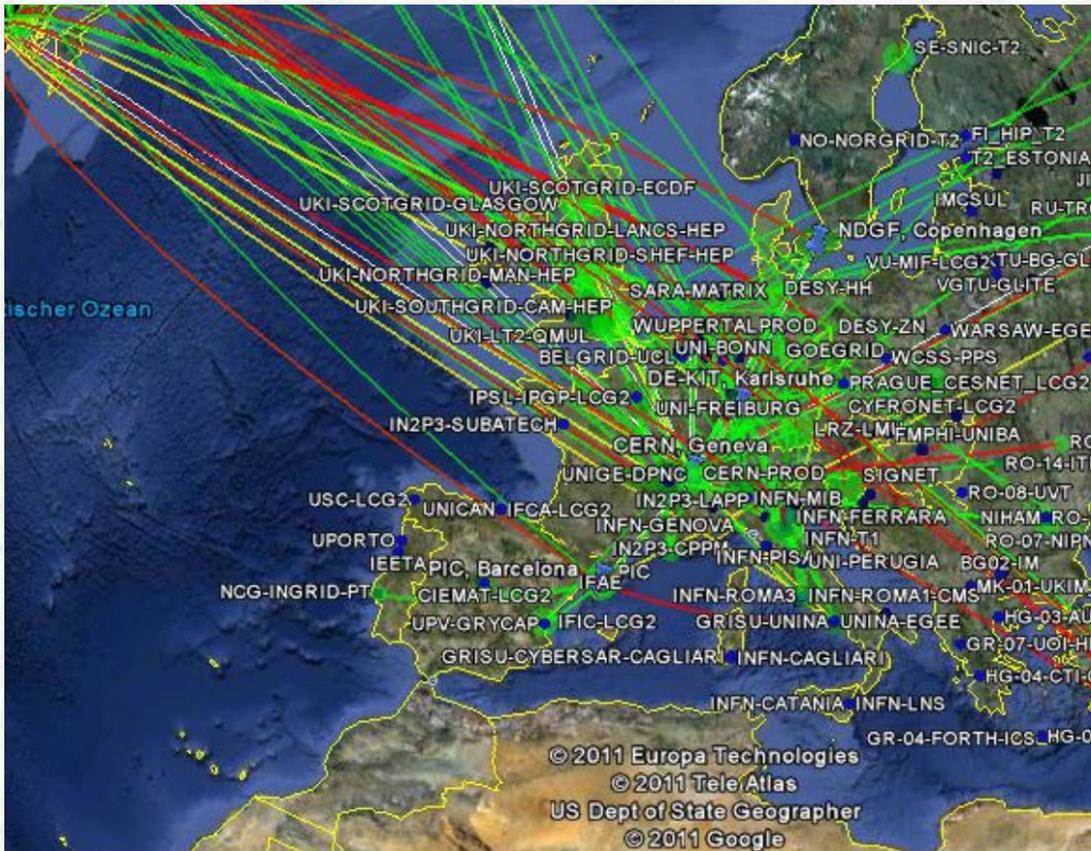
$Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ Ereignis mit 20 überlagerten Kollisionen



Datenmenge: 320 Megabyte pro Sekunde

3 Petabyte pro Jahr

(1 PB = 10^9 MB = 10^{15} Byte)



4. Juli 2012

Higgs boson-like particle discovery claimed at LHC

COMMENTS (1665)

By Paul Rincon

Science editor, BBC News website, Geneva



The moment when Cern director Rolf Heuer confirmed the Higgs results

Cern scientists reporting from the Large Hadron Collider (LHC) have claimed the discovery of a new particle consistent with the Higgs boson.

Aktuell > Wissen > Physik & Chemie

Erfolg bei Suche nach Higgs-Teilchen

„Eine wissenschaftliche Sensation“

04.07.2012 · Wissenschaftler im Teilchenforschungszentrum Cern in Genf glauben, das jahrzehntelang gesuchte Higgs-Teilchen gefunden zu haben. Monatelang war im weltgrößten Teilchenbeschleuniger danach gefahndet worden – jetzt liegen die bahnbrechenden Ergebnisse vor.

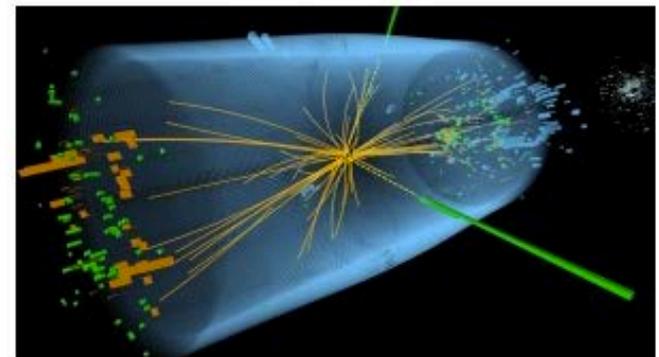
Von MANFRED LINDINGER

Artikel

Bilder (3)

Lesermeinungen (190)

Selten waren die Erwartungen am europäischen Forschungszentrum Cern bei Genf, dem Mekka der Teilchenphysik, so groß wie an diesem Mittwoch morgen. Alle drängten in den großen Hörsaal und wollten dem Seminar beiwohnen, zu dem der Generaldirektor des Cern, Rolf-Dieter Heuer, eingeladen hatte. Im Hörsaal saßen viele Veteranen des Cern,



© DAPD

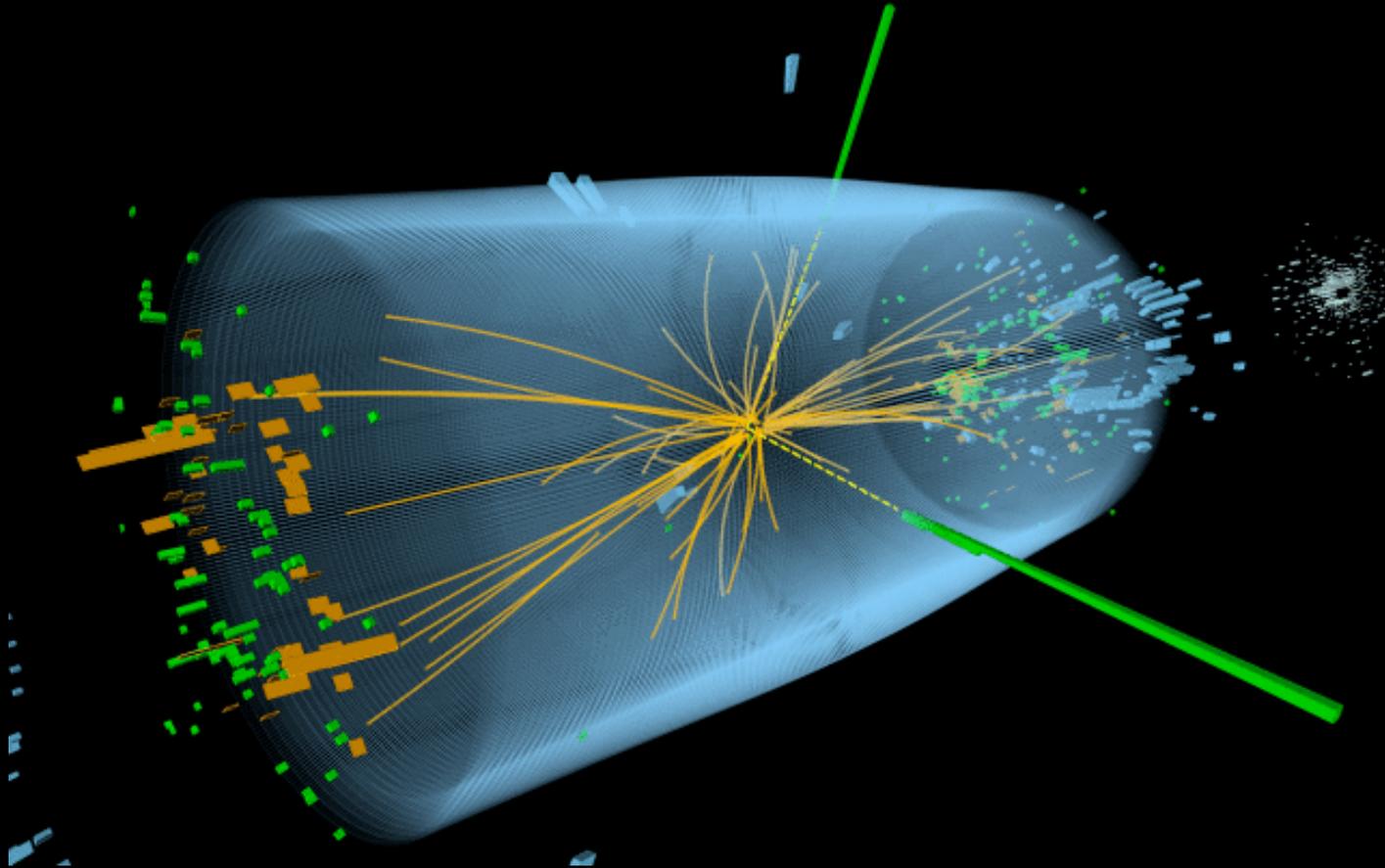
Die Grafik einer Proton-Proton-Kollision im Experiment stellt die zu erwartenden Charakteristiken zweier hochenergetischer Photonen beim Zerfall des

.... die Physiker wussten schon am Abend vorher,
dass es spannend werden würde



....vor dem CERN-Auditorium

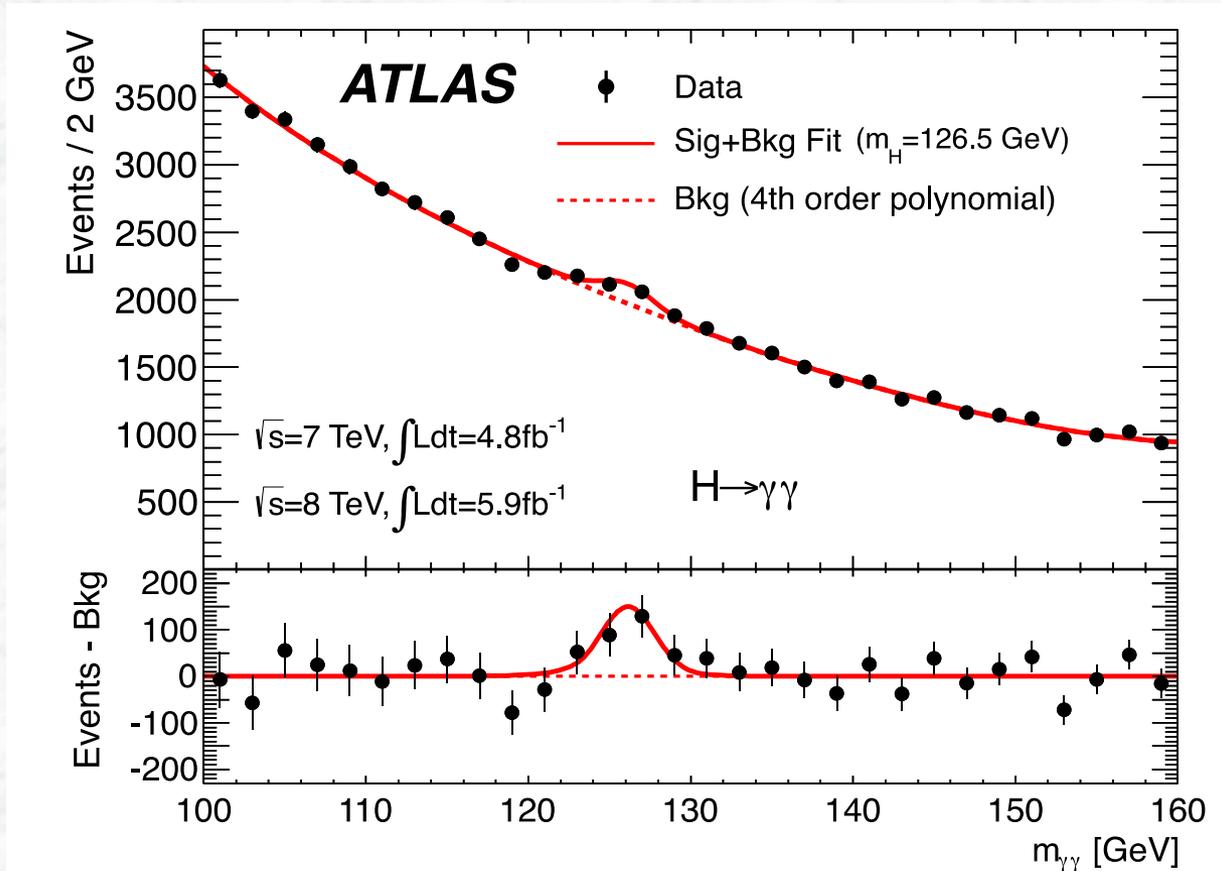
Hinweise auf das Higgs-Teilchen



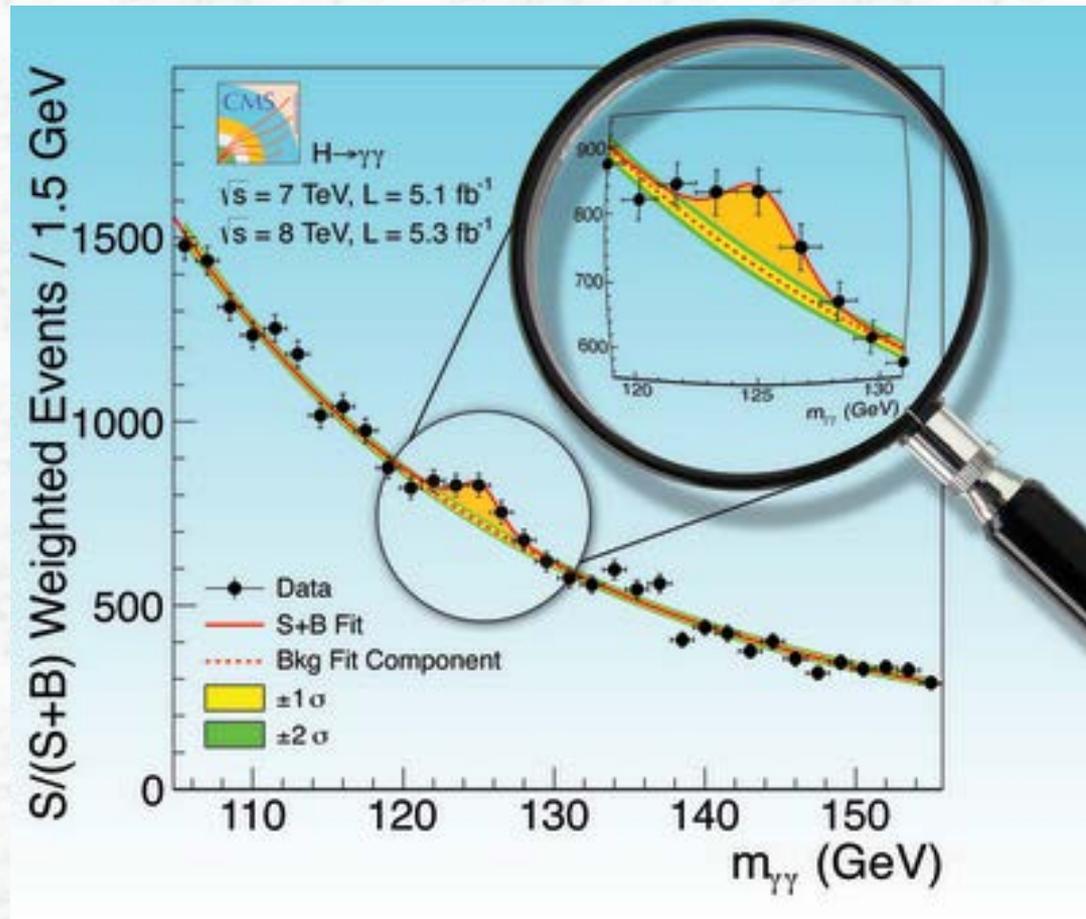
Erwartete Anzahl von Zerfällen in den Daten:
 $m_H = 125 \text{ GeV}$

- ~ 480 $H \rightarrow \gamma\gamma$
- ~ 30 $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$
- ~ 4400 $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$

Ergebnis der ATLAS-Suche für $H \rightarrow \gamma\gamma$

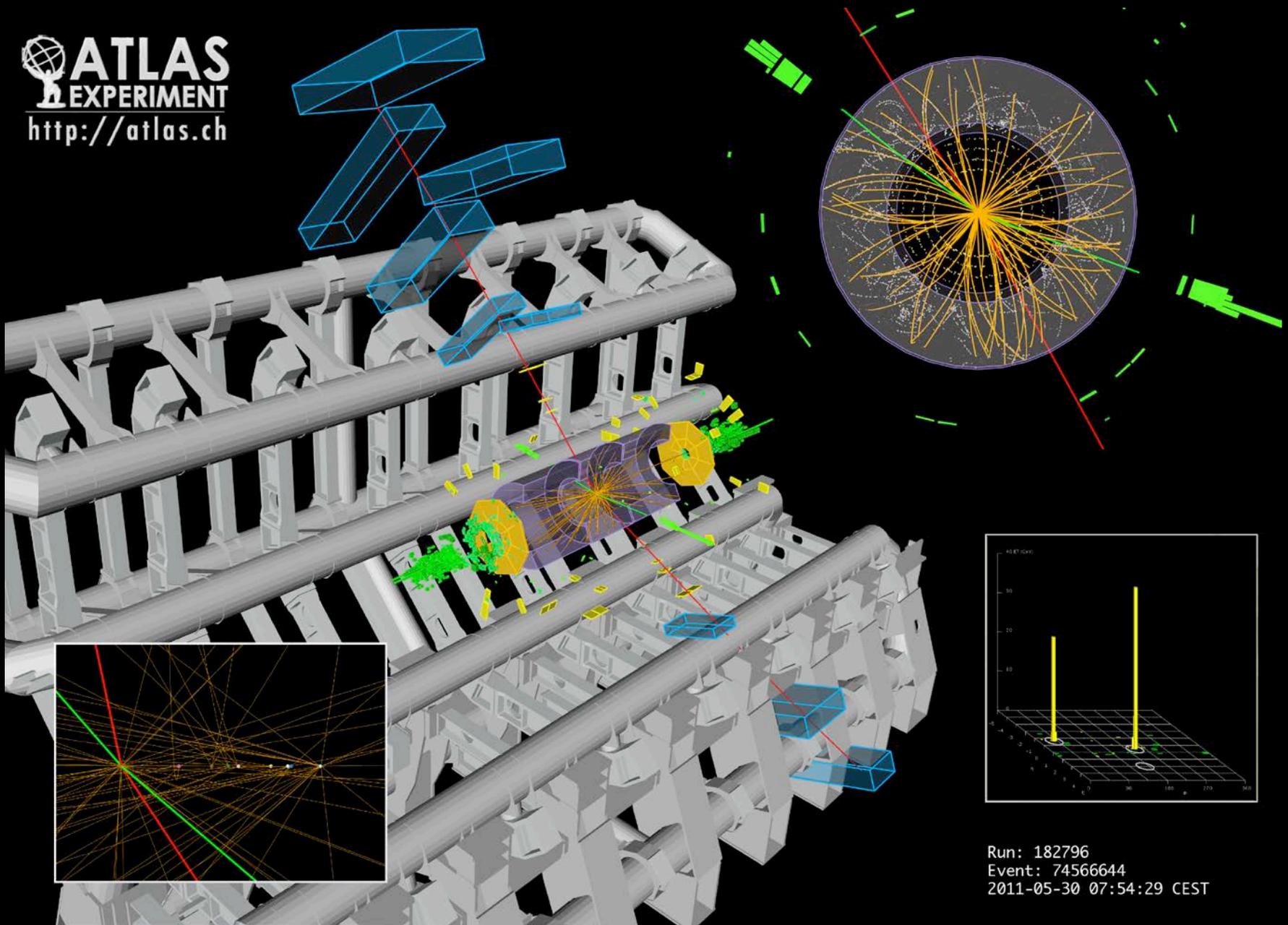


Was sieht unser Konkurrenz-Experiment ?



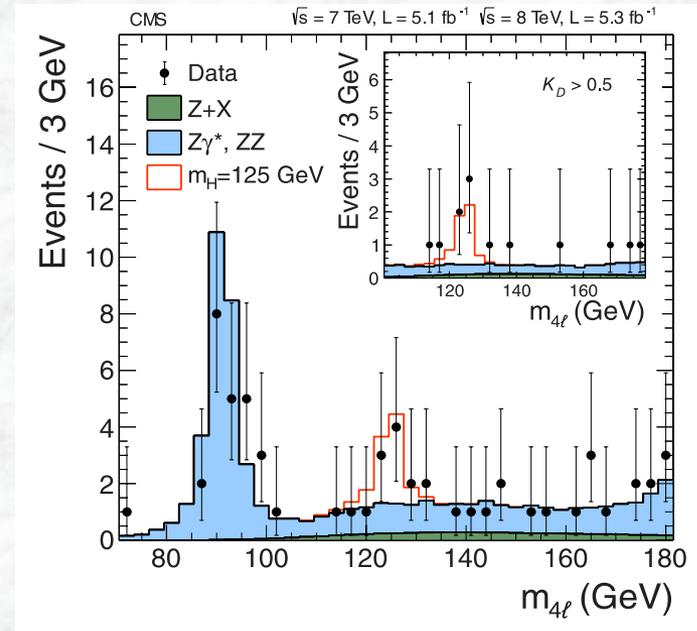
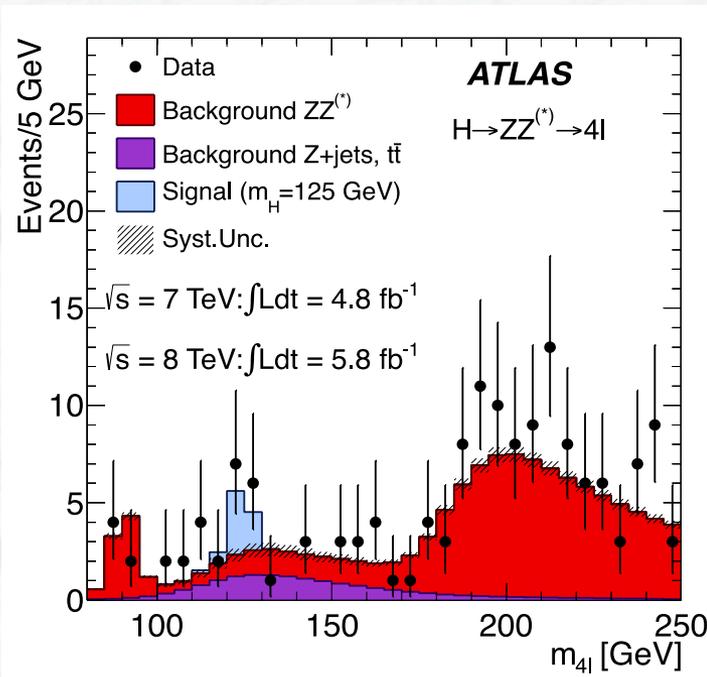
Kandidat für einen $H \rightarrow ZZ \rightarrow e^+e^- \mu^+ \mu^-$ Zerfall

ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

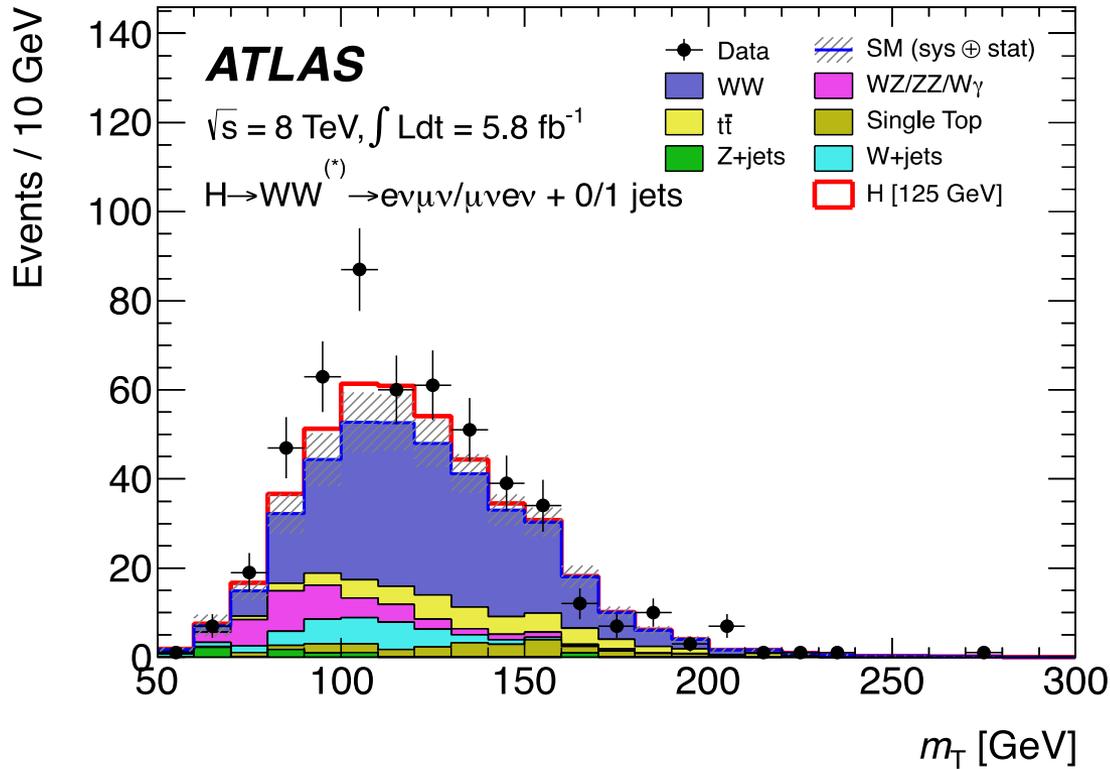


Run: 182796
Event: 74566644
2011-05-30 07:54:29 CEST

Ergebnis der Suche für $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$



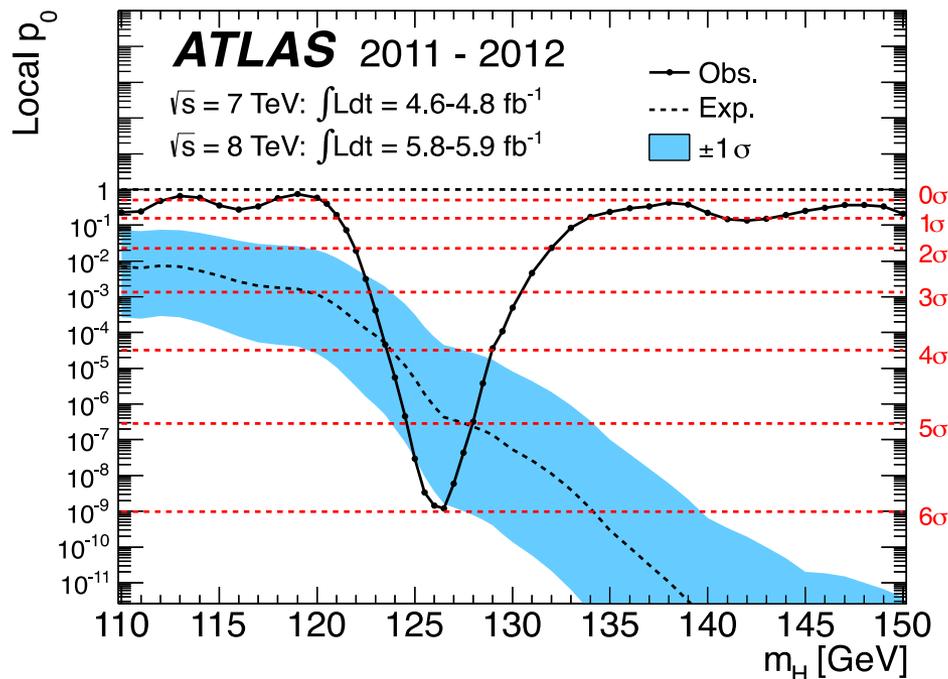
Ergebnis der Suche für $H \rightarrow WW \rightarrow 2l 2\nu$



Signifikanz des Signals ?

Handelt es sich um eine Entdeckung?

Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Signale durch Fluktuationen des Untergrunds vorgetäuscht werden?



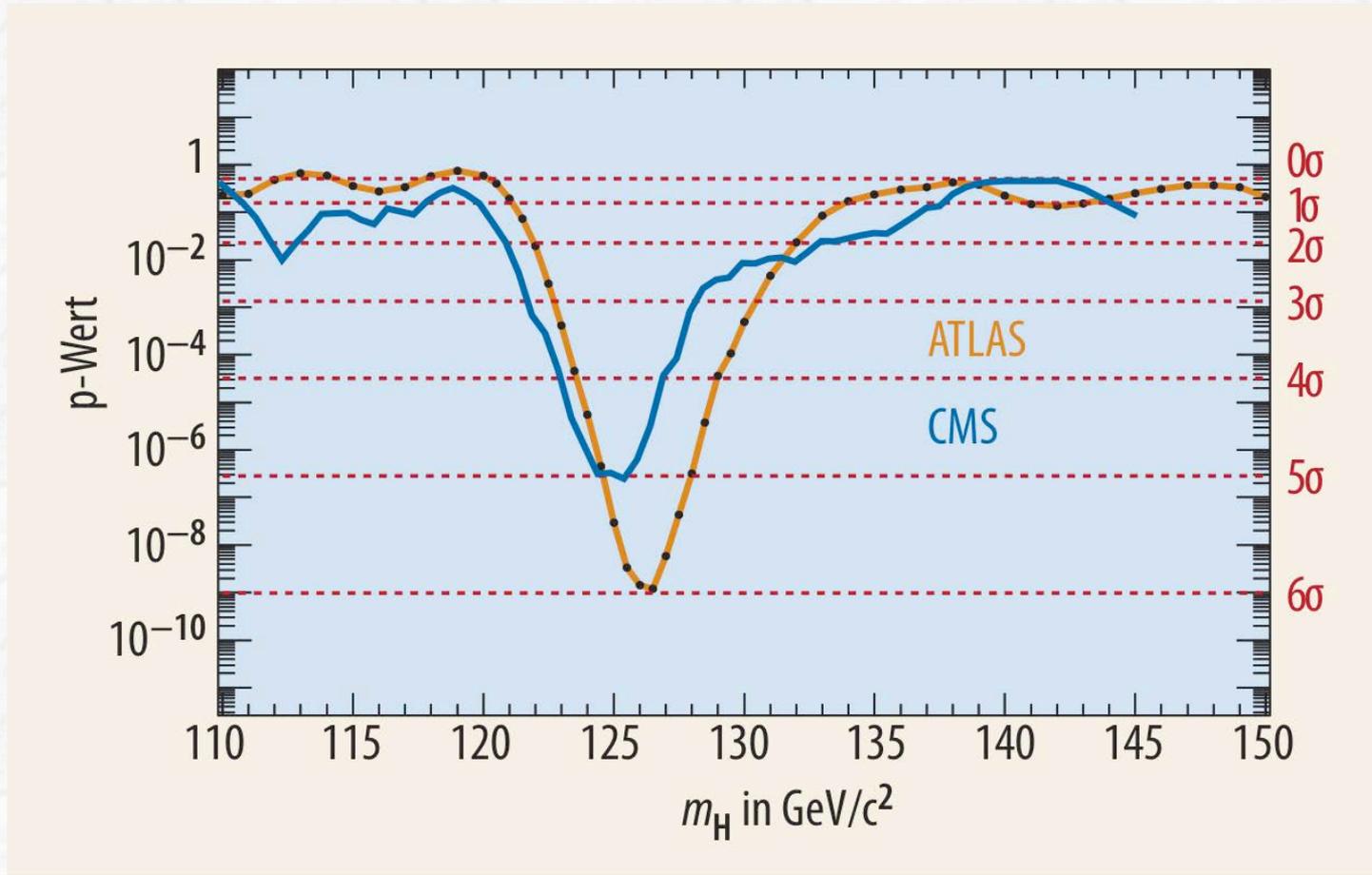
Signifikanz in Standardabweichungen einer Gaußverteilung:

6σ

**Konvention: $> 5\sigma$
→ Entdeckung**

Wahrscheinlichkeit für Untergrundfluktuation: $10^{-9} = 1 : 1\,000\,000\,000$

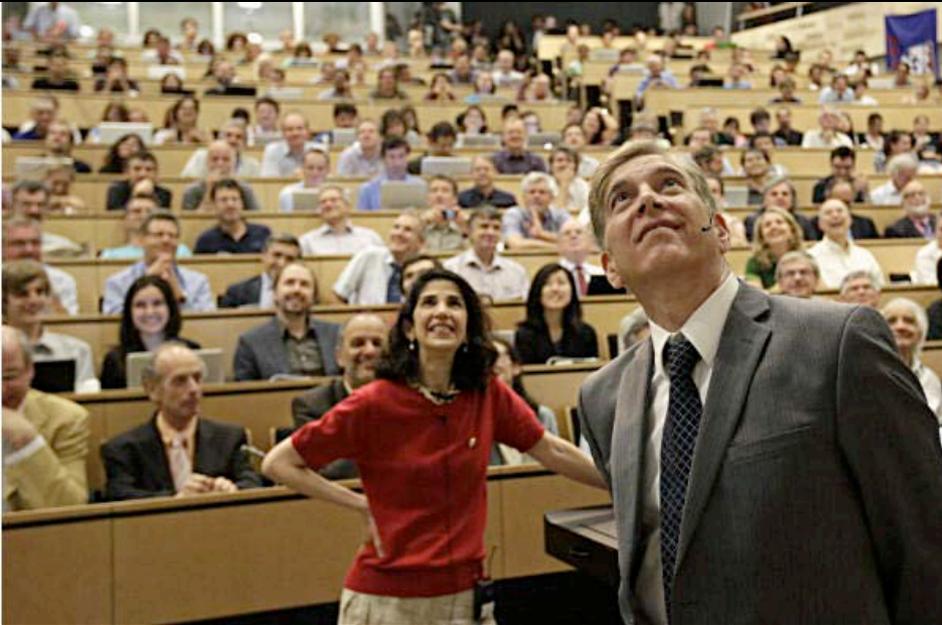
Signifikanz des Signals ?



Wahrscheinlichkeit für Untergrundfluktuation: $10^{-9} = 1 : 1\,000\,000\,000$



CERN-Auditorium, 4. Juli 2012
Ein historischer Tag für die Physik



Dr. Fabiola Gianotti (CERN) und
Dr. Joseph Incandela (UC Santa Barbara)

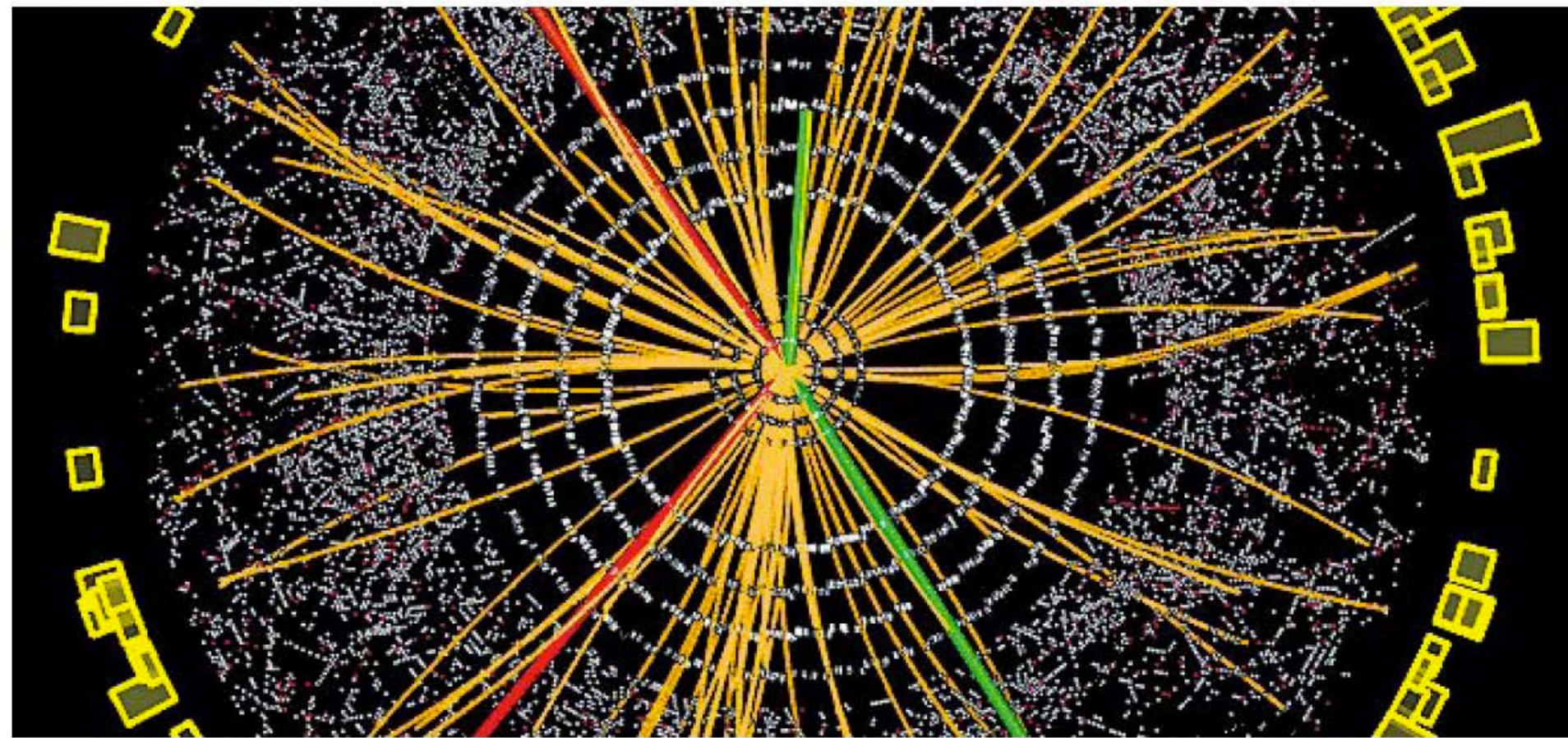
-Sprecher der ATLAS und CMS
Experimente-



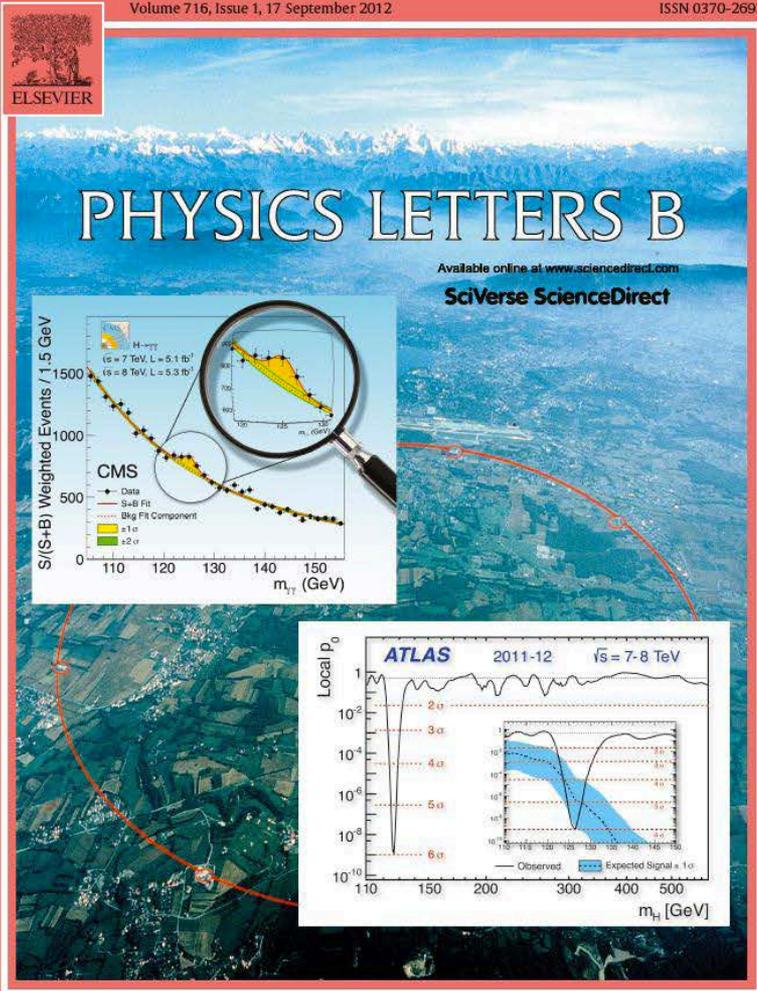
Live-Übertragung nach Melbourne

zur Int. Conference on High Energy Physics

Higgs was right Picture that changes the way we see the universe for ever



Ian Sample Geneva



Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC \star

Universally Available

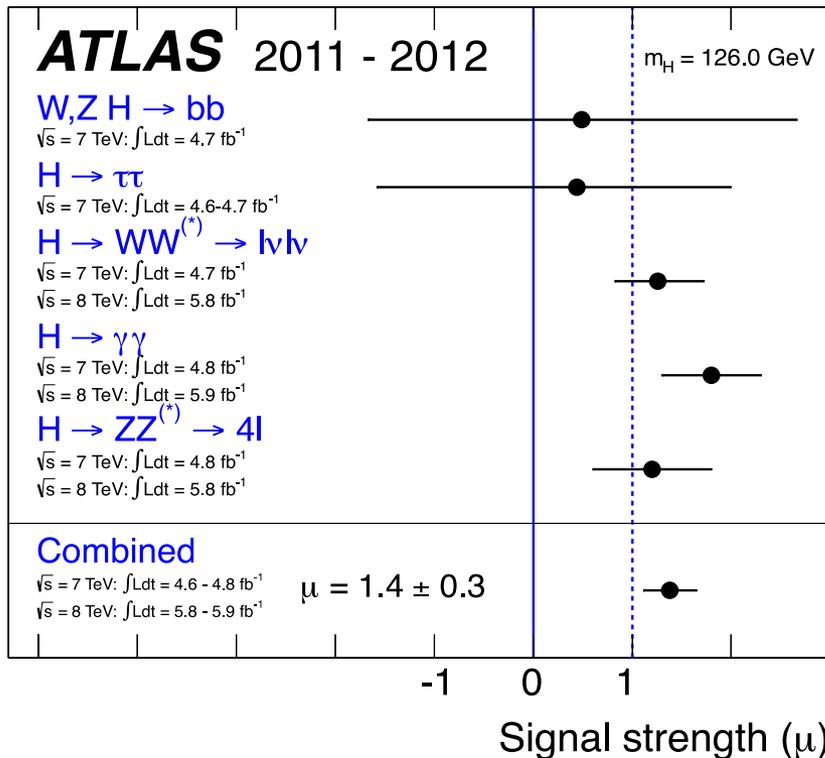
This paper is dedicated to the memory of our ATLAS colleagues who did not live to see the full impact and significance of their contributions to the experiment.

ATLAS Collaboration \star

G. Aad⁴⁸, T. Abajyan²¹, B. Abbott¹¹¹, J. Abdallah¹², S. Abdel Khalek¹¹⁵, A.A. Abdelalim⁴⁹, O. Abdinov¹¹, R. Aben¹⁰⁵, B. Abi¹¹², M. Abolins⁸⁸, O.S. AbouZeid¹⁵⁸, H. Abramowicz¹⁵³, H. Abreu¹³⁶, B.S. Acharya^{164a, 164b}, L. Adamczyk³⁸, D.L. Adams²⁵, T.N. Addy⁵⁶, J. Adelman¹⁷⁶, S. Adomeit⁹⁸, P. Adragna⁷⁵, T. Adye¹²⁹, S. Aefsky²³, J.A. Aguilar-Saavedra^{124b, a}, M. Agustoni¹⁷, M. Aharrouche⁸¹, S.P. Ahlen²², F. Ahles⁴⁸, A. Ahmad¹⁴⁸, M. Ahsan⁴¹, G. Aielli^{133a, 133b}, T. Akdogan^{19a}, T.P.A. Åkesson⁷⁹, G. Akimoto¹⁵⁵, A.V. Akimov⁹⁴, M.S. Alam², M.A. Alam⁷⁶, J. Albert¹⁶⁹, S. Albrand⁵⁵, M. Aleksa³⁰, I.N. Aleksandrov⁶⁴, F. Alessandria^{89a}, C. Alexa^{26a}, G. Alexander¹⁵³, G. Alexandre⁴⁹, T. Alexopoulos¹⁰, M. Alhroob^{164a, 164c}, M. Aliev¹⁶, G. Alimonti^{89a}, J. Alison¹²⁰, B.M.M. Allbrooke¹⁸, P.P. Allport⁷³, S.E. Allwood-Spiers⁵³, J. Almond⁸², A. Aloisio^{102a, 102b}, R. Alon¹⁷², A. Alonso⁷⁹, F. Alonso⁷⁰, A. Altheimer³⁵, B. Alvarez Gonzalez⁸⁸, M.G. Alvigi^{102a, 102b}, K. Amako⁶⁵, C. Amelung²³, V.V. Ammosov^{128, *}, S.P. Amor Dos Santos^{124a}, A. Amorim^{124a, b}, N. Amram¹⁵³, C. Anastopoulos³⁰, L.S. Ancu¹⁷, N. Andari¹¹⁵, T. Andeen³⁵, C.F. Anders^{58b}, G. Anders^{58a}, K.J. Anderson³¹, A. Andreazza^{89a, 89b}, V. Andrei^{58a}, M.-L. Andrieux⁵⁵, X.S. Anduaga⁷⁰, S. Angelidakis⁹, P. Anger⁴⁴, A. Angerami³⁵, F. Anghinolfi³⁰, A. Anisenkov¹⁰⁷, N. Anjos^{124a}, A. Annovi⁴⁷, A. Antonaki⁹, M. Antonelli⁴⁷, A. Antonov⁹⁶, J. Antos^{144b}, F. Anulli^{132a}, M. Aoki¹⁰¹, S. Aoun⁸³, L. Aperio Bella⁵, R. Apolle^{118, c}, G. Arabidze⁸⁸, I. Aracena¹⁴³, Y. Arai⁶⁵, A.T.H. Arce⁴⁵, S. Arfaoui¹⁴⁸, J.-F. Arguin⁹³, E. Arik^{19a, *}, M. Arik^{19a}, A.J. Armbruster⁸⁷, O. Arnaez⁸¹, V. Arnal⁸⁰, C. Arnault¹¹⁵, A. Artamonov⁹⁵, G. Artoni^{132a, 132b}, D. Arutinov²¹, S. Asai¹⁵⁵, S. Ask^{28, B}, Åsman^{146a, 146b}, L. Asquith⁶, K. Assamagan²⁵, A. Astbury¹⁶⁹, M. Atkinson¹⁶⁵, B. Aubert⁵, E. Auge¹¹⁵, K. Augsten¹²⁷, M. Aourousseau^{145a}, G. Avolio¹⁶³, R. Avramidou¹⁰, D. Axen¹⁶⁸, G. Azuelos^{93, d}, Y. Azuma¹⁵⁵, M.A. Baak³⁰, G. Baccaglioni^{89a}, C. Bacci^{134a, 134b}, A.M. Bach¹⁵, H. Bachacou¹³⁶, K. Bachas³⁰, M. Backes⁴⁹, M. Backhaus²¹, J. Backus Mayes¹⁴³, E. Badescu^{26a}, P. Bagnaia^{132a, 132b}, S. Bahinipati³, Y. Bai^{33a}, D.C. Bailey¹⁵⁸, T. Bain¹⁵⁸, J.T. Baines¹²⁹, O.K. Baker¹⁷⁶, M.D. Baker²⁵, S. Baker⁷⁷, P. Balek¹²⁶, E. Banas³⁹, P. Banerjee⁹³, Sw. Banerjee¹⁷³, D. Banfi³⁰, A. Bangert¹⁵⁰, V. Bansal¹⁶⁹, H.S. Bansil¹⁸, L. Barak¹⁷², S.P. Baranov⁹⁴, A. Barbaro Galtieri¹⁵, T. Barber⁴⁸, E.L. Barberio⁸⁶, D. Barberis^{50a, 50b}, M. Barbero²¹, D.Y. Bardin⁶⁴, T. Barillari⁹⁹, M. Barisonzi¹⁷⁵, T. Barklow¹⁴³, N. Barlow²⁸, B.M. Barnett¹²⁹, R.M. Barnett¹⁵, A. Baroncelli^{134a}, G. Barone⁴⁹, A.J. Barr¹¹⁸, F. Barreiro⁸⁰, J. Barreiro Guimarães da Costa⁵⁷, P. Barrillon¹¹⁵, R. Bartoldus¹⁴³, A.E. Barton⁷¹, V. Bartsch¹⁴⁹, A. Basye¹⁶⁵, R.L. Bates⁵³, L.

Ist es das Higgs-Teilchen ?

Erster Hinweis liefert die Stärke des Signals, d.h. die Zahl der beobachteten Ereignisse verglichen mit den Erwartungen



$$m_H = 126.0 \pm 0.6 \text{ GeV}$$

Erwartung:

$\mu = 1$ für das Higgs-Teilchen des Standardmodells

$\mu = 0$ kein Higgs-Teilchen

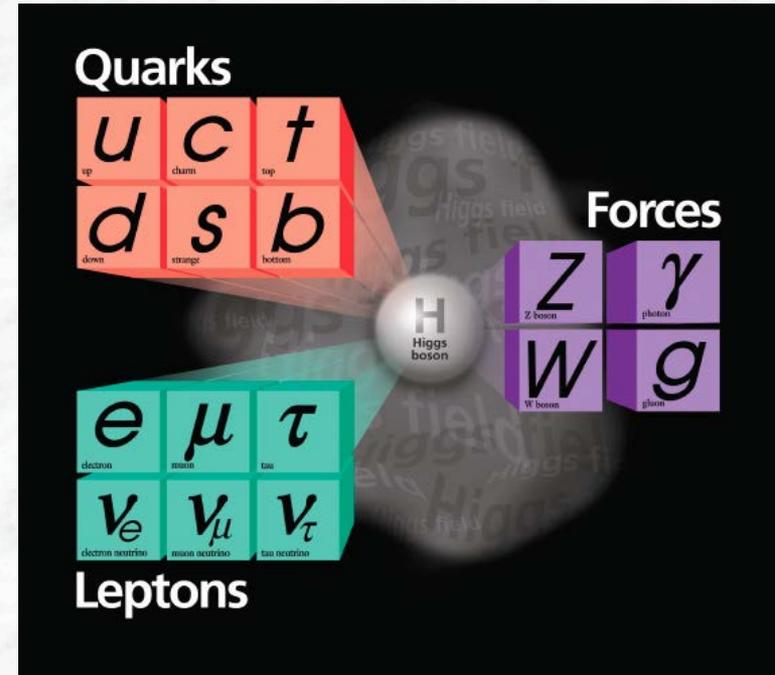
Daten sind konsistent mit der Hypothese eines Higgs-Teilchens, allerdings sind die experimentellen Fehler noch groß !

Bedeutung für die Physik

- falls es sich um das elementare Higgs-Teilchen handelt-

- Ein Meilenstein für die Physik
- Mit dem Higgs-Teilchen würde das erste “elementare” Teilchen mit Eigendrehimpuls (Spin) Null vorliegen

Nachweis des Higgs-Teilchens würde die Hypothese des Higgs-Feldes bestätigen, das dem Vakuum “Struktur” und damit den elementaren Teilchen Masse verleiht.



- **Allerdings:**
Die Eigenschaften des neuen Teilchens müssen noch präziser vermessen werden
 - Wechselwirkung mit Materieteilchen (τ, b) und Austauschpartikeln (W, Z)
 - Nachweis, dass Eigendrehimpuls (Spin) Null ist (skalares Teilchen)
 -

Neue Ergebnisse im Frühjahr / Sommer 2013

Relevanz für die Gesellschaft

- Ein großartiges Ergebnis der Grundlagenforschung

Erkenntnisgewinn, kulturelle Leistung

Grundlagenforschung ist die Basis der modernen Zivilisation und des technologischen Fortschritts

- Direkte Anwendungen momentan nicht absehbar

„Ähnliche“ Beispiele aus früheren Zeiten:

- Elektromagnetismus im 19. Jahrhundert
- Quantenphänomene zu Beginn des 20. Jahrhunderts
-

- Teilchenphysik, und damit auch die Higgs-Suche, hat wichtige Technologieentwicklungen angestoßen
- Ausbildung von Studierenden in einem internationalen und hochkompetitiven Umfeld

Anwendungen, angestoßen aus der Teilchenphysik

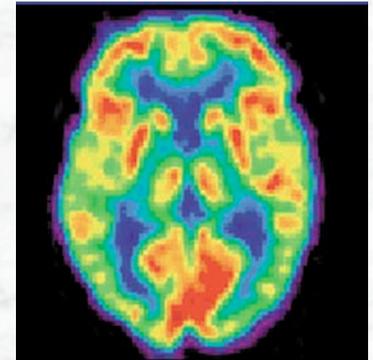
- World Wide Web (CERN)
- GRID (Cloud)-Computing
- Von der Entwicklung von Beschleunigern und Detektoren profitieren Industrie, Medizin und andere Wissenschaftszweige

Beispiele: - Positronen-Emissions-Tomographen
($e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$)

- Beschleuniger für Strahlentherapie

- Beschleuniger in der Industrie
(z.B. Bearbeitung von Oberflächen)

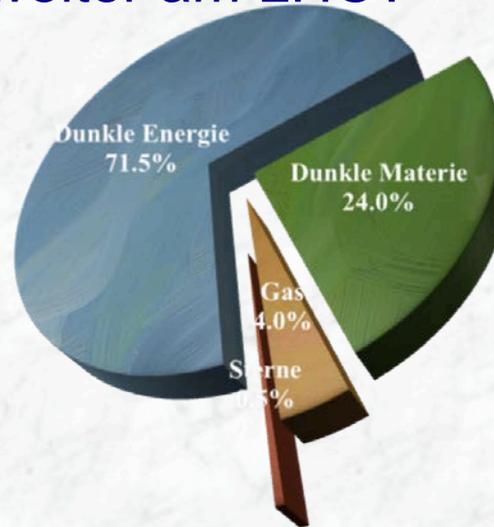
- Transfer von Analysemethoden in Unternehmen
(IT-Unternehmen, High-Tech-Unternehmen,
Versicherungen,....)



Wichtige offene Fragen der Physik -oder wie geht es weiter am LHC?-

1. Masse

Was ist der Ursprung der Masse?
Existiert das Higgs Teilchen?

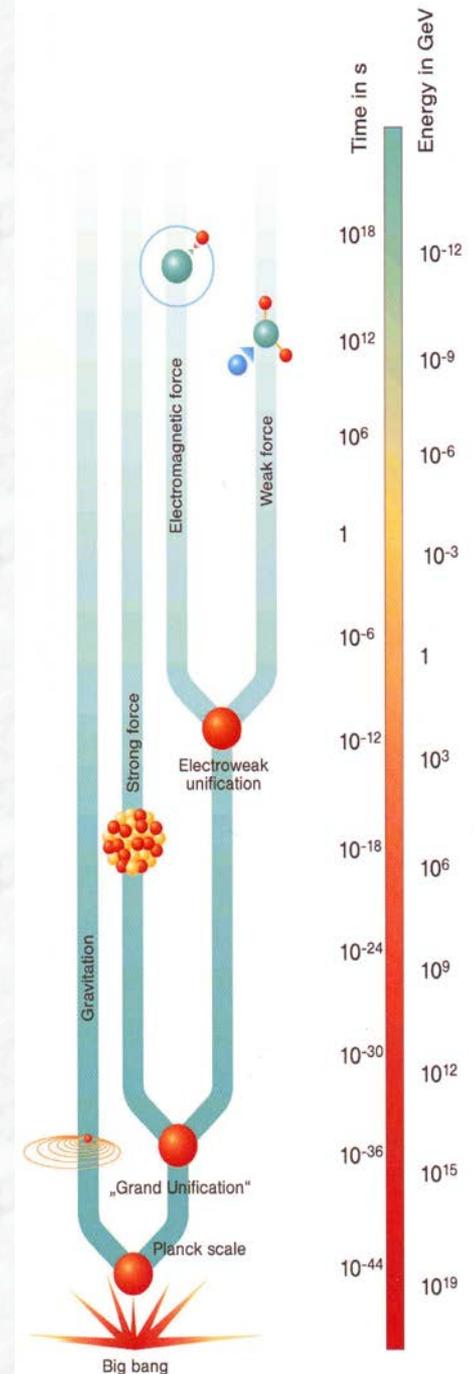


2. Vereinheitlichung

- Können die Wechselwirkungen vereinheitlicht werden?
- Gibt es neue Materiezustände, z.B. in Form von supersymmetrischen Teilchen?
- Stellen diese die Dunkle Materie im Universum dar?

3. Generationenproblem

- Warum gibt es drei Familien von Teilchen?
- Was ist die Ursache der Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie?





Prof. Peter Higgs (Univ. Edinburgh) und
Dr. Fabiola Gianotti (CERN)

4. Juli 2012

Diese Forschung wurde unterstützt durch:

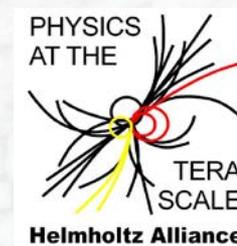
BMBF



DFG



Helmholtz-Gemeinschaft



Universität Freiburg
und
Land Baden-Württemberg





Freiburger ATLAS-Gruppe



Aad, Georges Dr.
Ackermann, Susanne
Amoroso, Simone
Arnold, Hannah
Barber, Tom Dr.
Bernhard, Sabrina
Betancourt, Christopher
Böhler, Michael Dr.
Brunelière, Renaud Dr.
Bührer, Felix
Büscher, Daniel
Cardillo, Fabio
Consorti, Valerio
Dang, Phuong Nguyen
Fehling-Kaschek, Mirjam
Flechl, Martin Dr.
Gamel, Anton
Giuliani, Claudia
Glatzer, Julian
Günther, Paul
Haß, Helge
Hauser, Marc
Herten, Gregor Prof.
Holland, Ulrich
Jakobs, Karl Prof.

Janus, Michel
Javurek, Tomas
Joos, Dieter
Kiß, Florian
Kopp, Anna
Kühn, Susanne Dr.
Lai, Stan Dr.
Landgraf, Ulrich Prof.
Lohwasser, Kristin Dr.
Madar, Romain Dr.
Maluck, Julian
Meßmer, Ines
Mohr, Wolfgang Dr.
Nagel, Johanna
Pagacova, Martina
Parzefall, Ulrich Dr.
Pfeifer, Bernhard
Rammensee, Michael
Rave, Tobias
Rurikova, Zuzanna Dr.
Ruthmann, Nils
Sammel, Dirk
Schillo, Christian
Schmidt, Evelyn
Schumacher, Markus Prof.

Skorek, Christina
Sommer, Philip
Störig, Kathrin
Strübig, Antonia
Sundermann, Jan Dr.
Temming, Kim
Thoma, Sascha
Tobias, Jürgen
Tsiskaridze, Vakhtang
Ungaro, Francesca
Venturi, Manuela
Vivarelli, Iacopo Dr.
von Radziewski, Holger
Vu Anh, Tuan Dr.
Walz, Andreas
Webel, Markus
Weiser, Christian Dr.
Werner, Matthias
Wiik-Fuchs, Liv
Winkelmann, Stefan
Wonsak, Sven
Xie, Song
Zimmermann, Stephanie Dr.