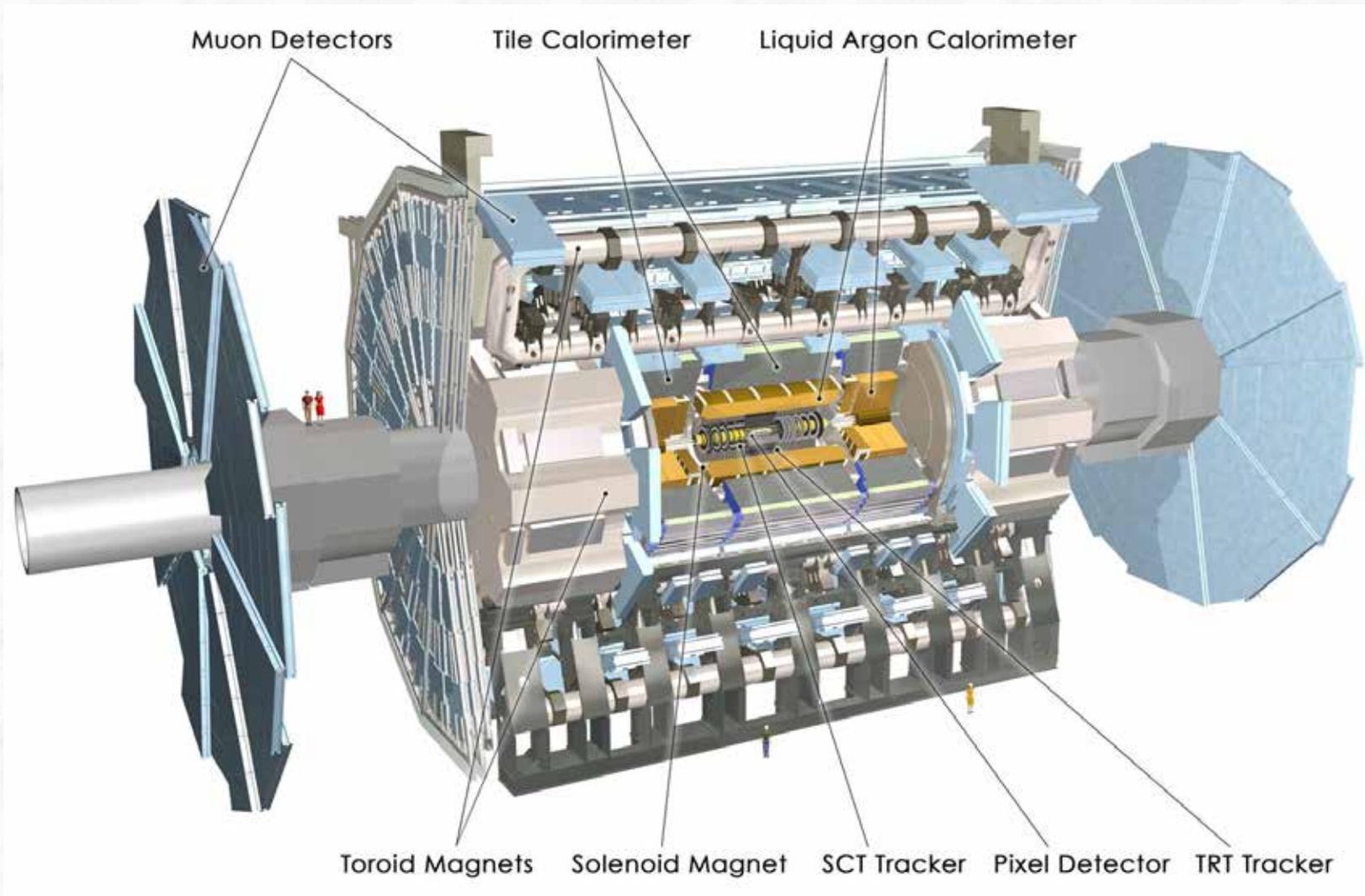




CMS

ATLAS

Das ATLAS-Experiment



Durchmesser: 25 m
Gesamtlänge: 46 m
Gesamtgewicht: 7000 t

Etwa 200 Mio. Auslesekanäle,
aufnahmebereit alle 25 ns
(40 Mio. mal pro Sekunde)

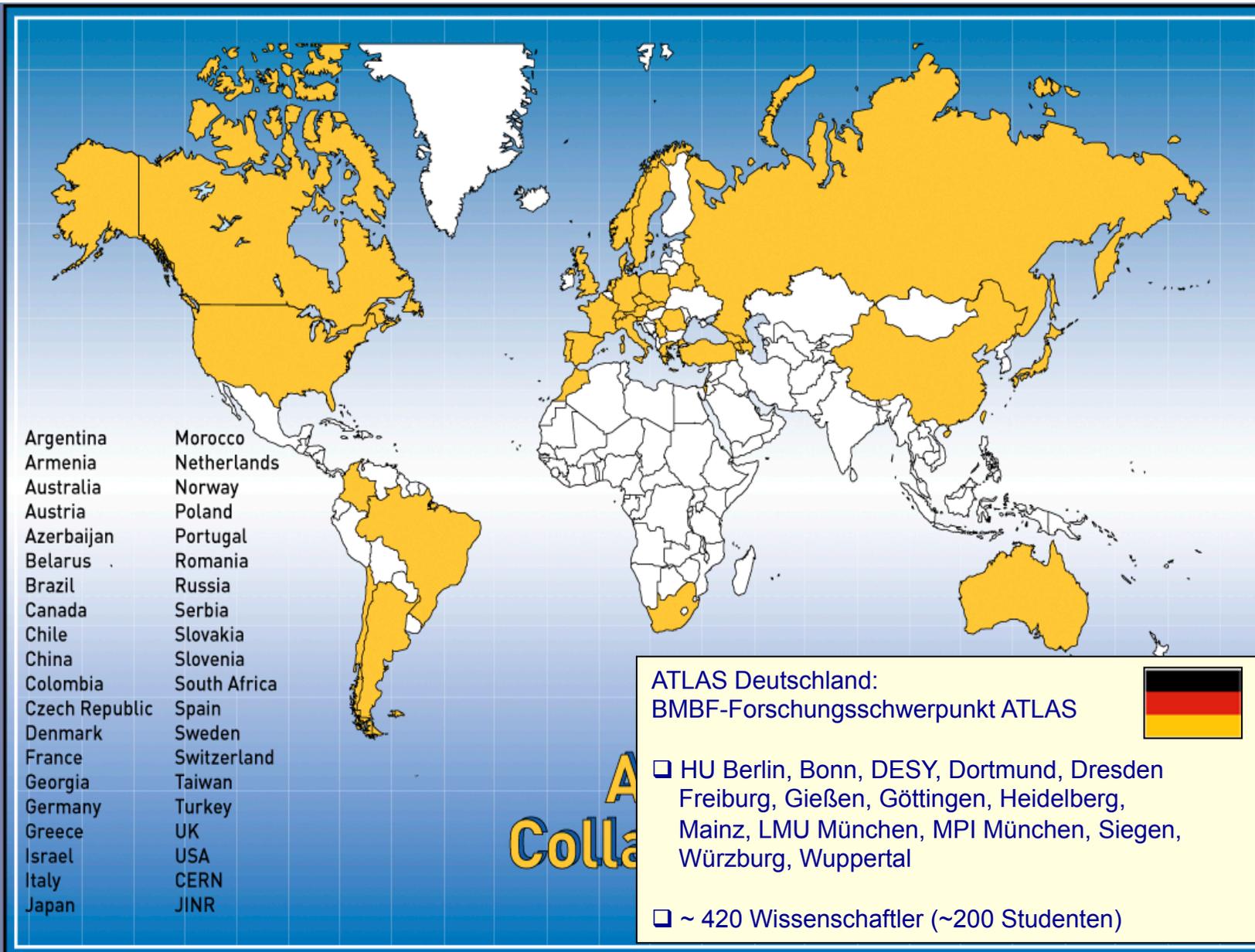
Der ATLAS Detektor im Vergleich



Das ATLAS-Experiment

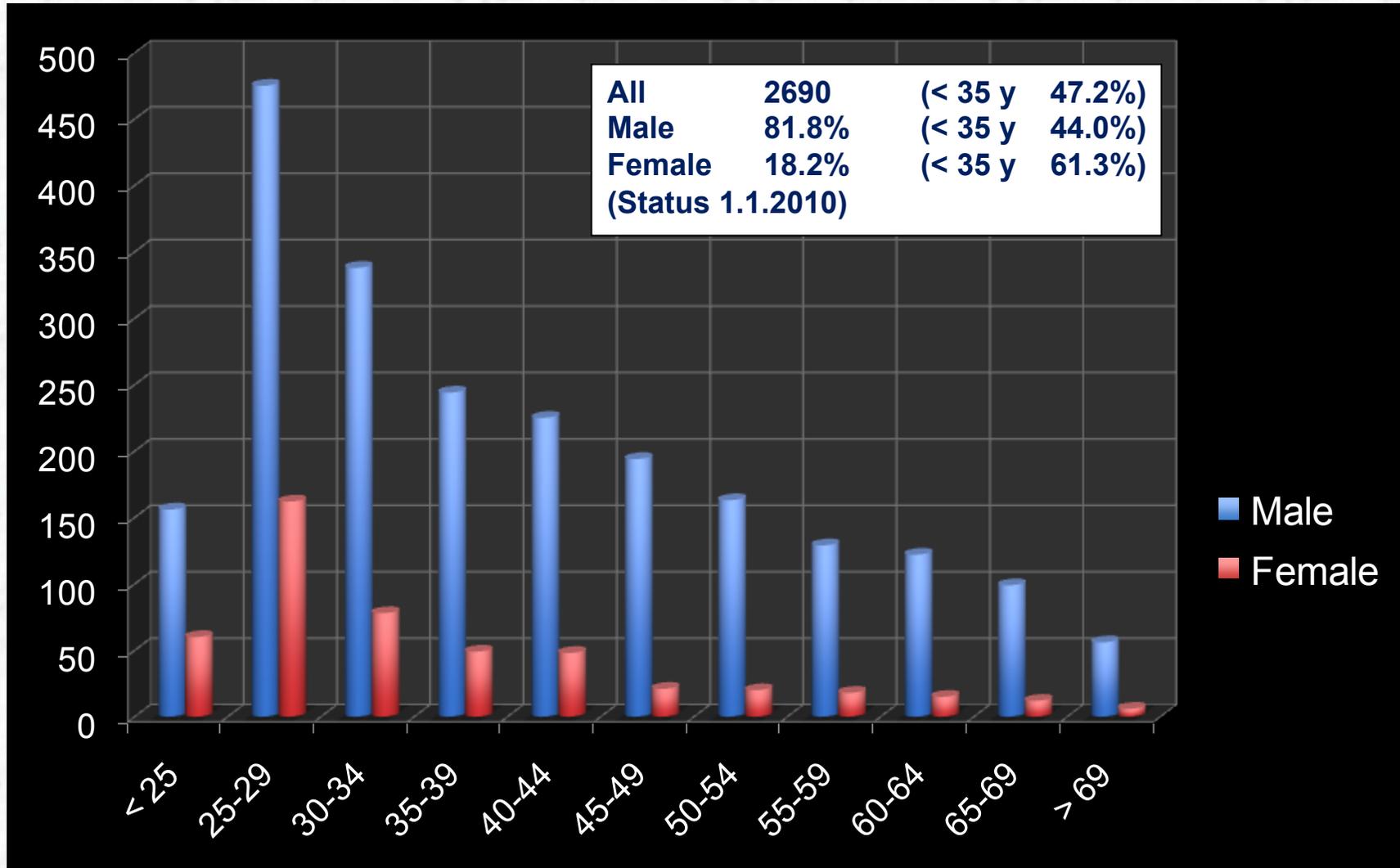
- Die Experimente werden nicht von CERN gebaut
- Eigenständig, Kollaboration von Instituten (weltweit); „ATLAS-Organisation“, Sprecher, Management-Struktur
- Ressourcen kommen aus den Instituten (CERN-Physiker sind Mitglieder der Kollaboration)
- Sub-Projekte werden an Instituten durchgeführt, Detektorkomponenten werden dort gebaut (Konzept der „*deliverables*“, Verantwortung beim Univ.Professor);

„Memorandum of Understanding“ zwischen ATLAS-Kollaboration und Funding Agencies / Instituten
- Kontrolle durch *CERN review committee* (LHC-committee, LHCC); Mit internationalen Experten besetzt (Physiker, teilweise Ingenieure)
- Finanzen werden kontrolliert durch *Resources Review Board* der beteiligten Länder (Pro Land: ein Physiker (National Contact Physicist) und ein Vertreter der „*funding agencies*“ (BMBF für Deutschland))



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

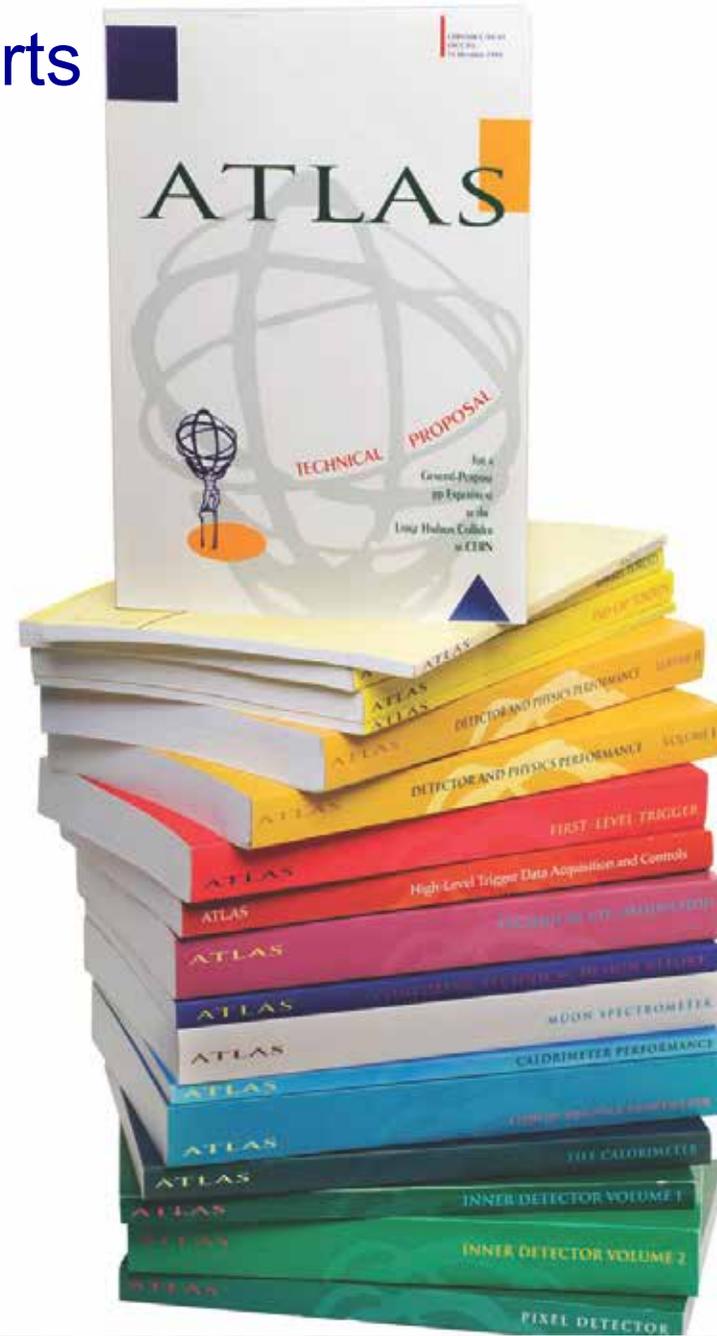
Altersverteilung der ATLAS-Physiker/innen



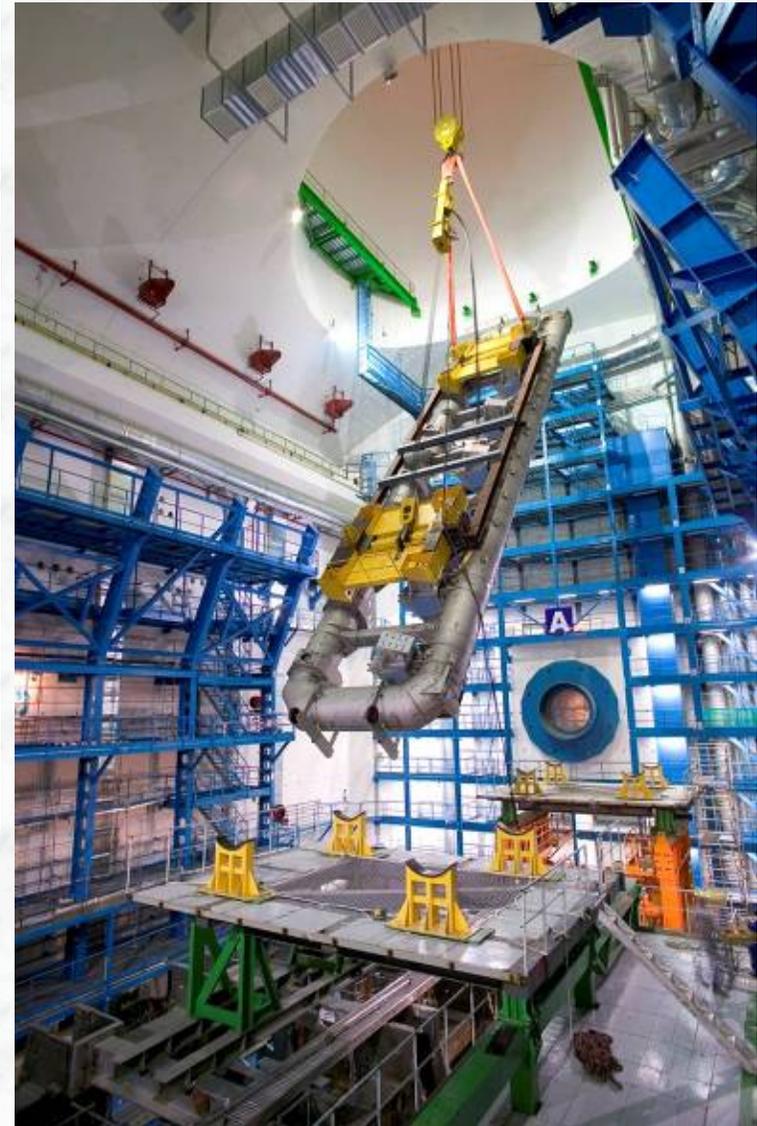
Since 1995 we had the Resources Review Board meeting twice a year (here all financial matters are agreed with the Funding Agency delegates, and the execution of the formal Memoranda of Understanding are monitored)



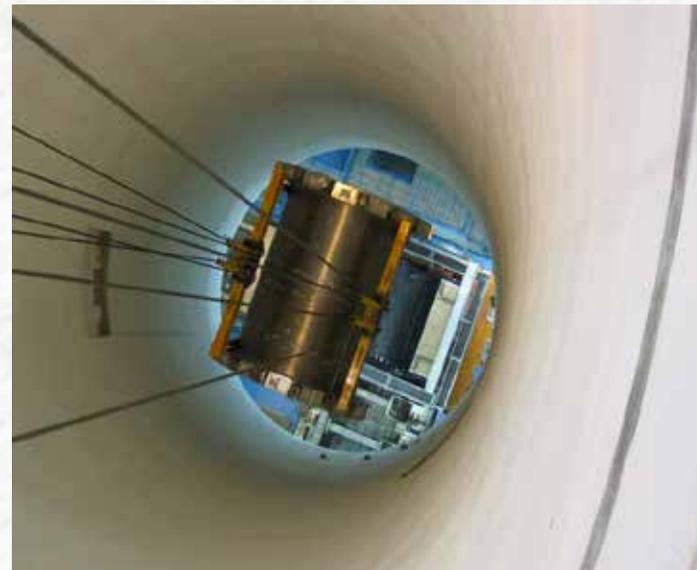
ATLAS Technical Design Reports

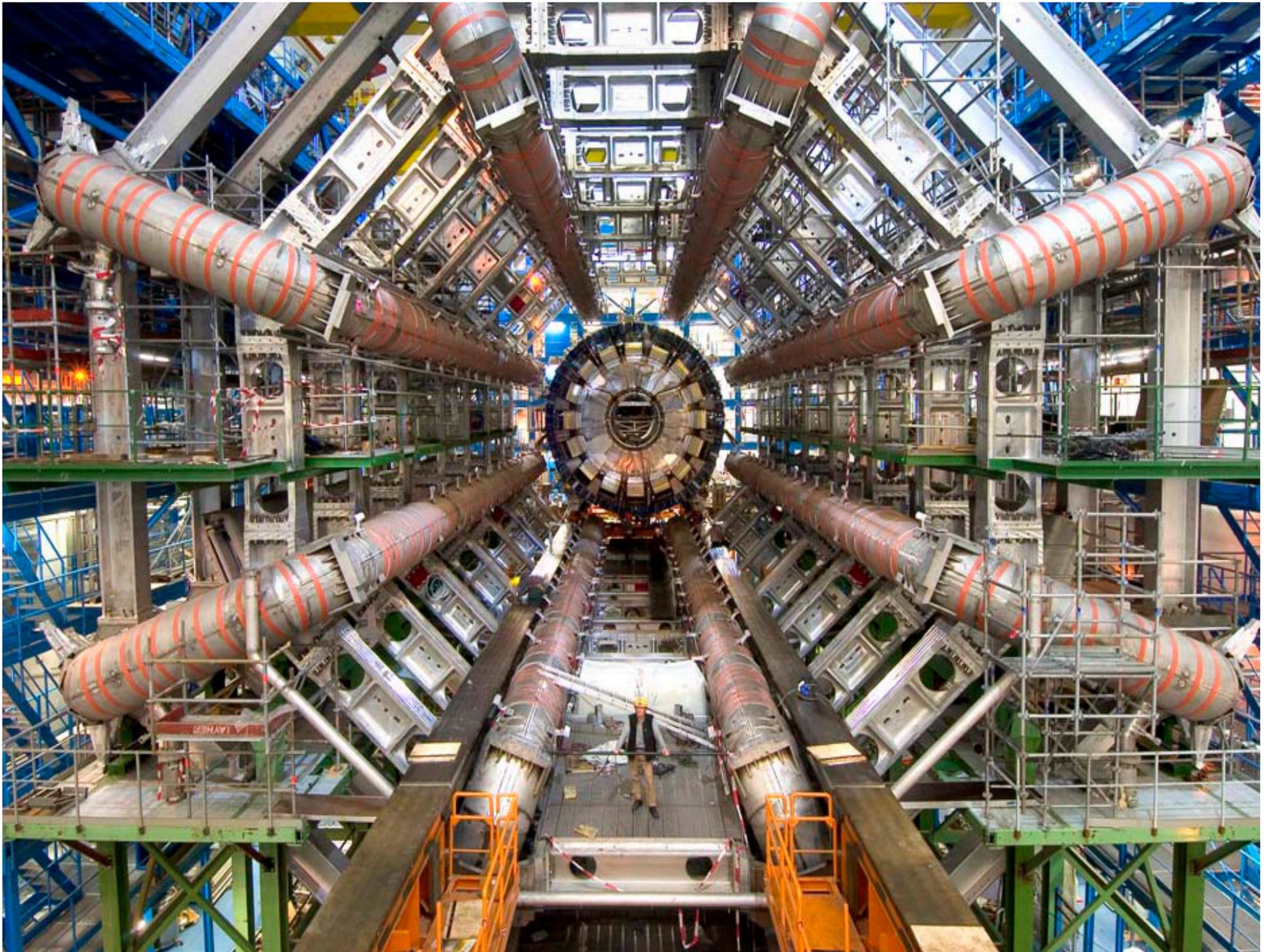


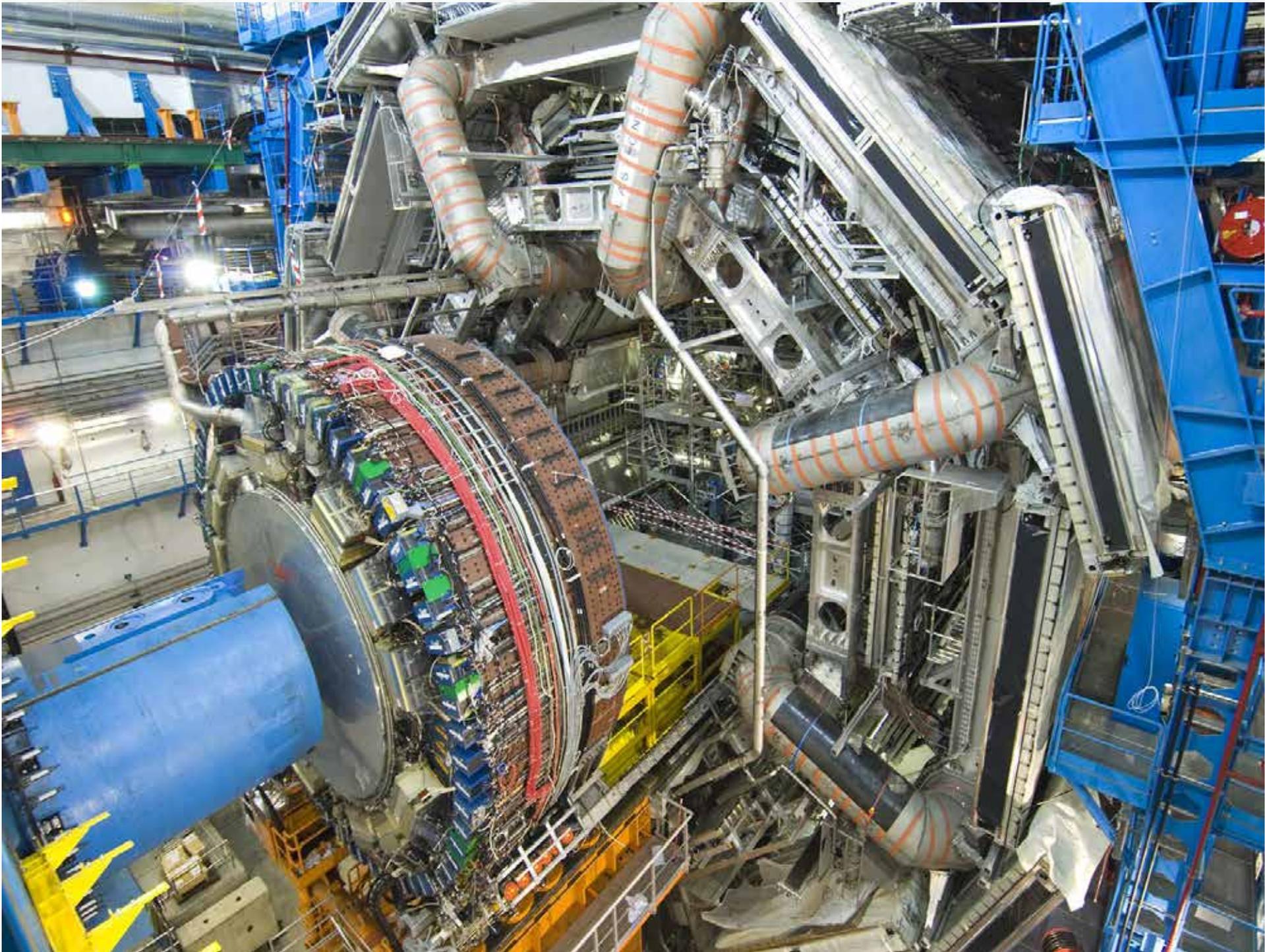
ATLAS-Detektorkonstruktion und Installation



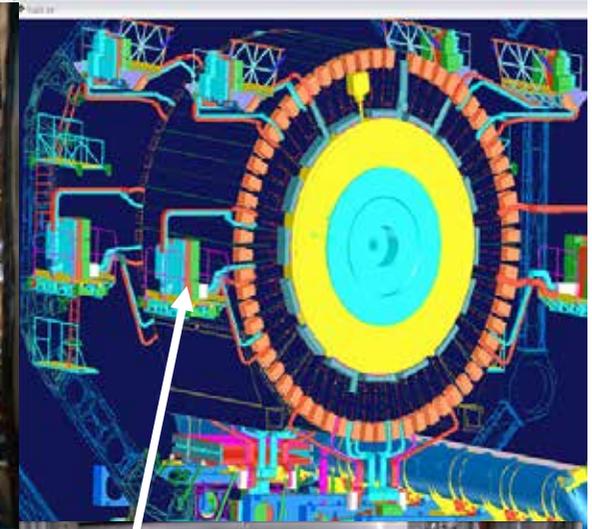
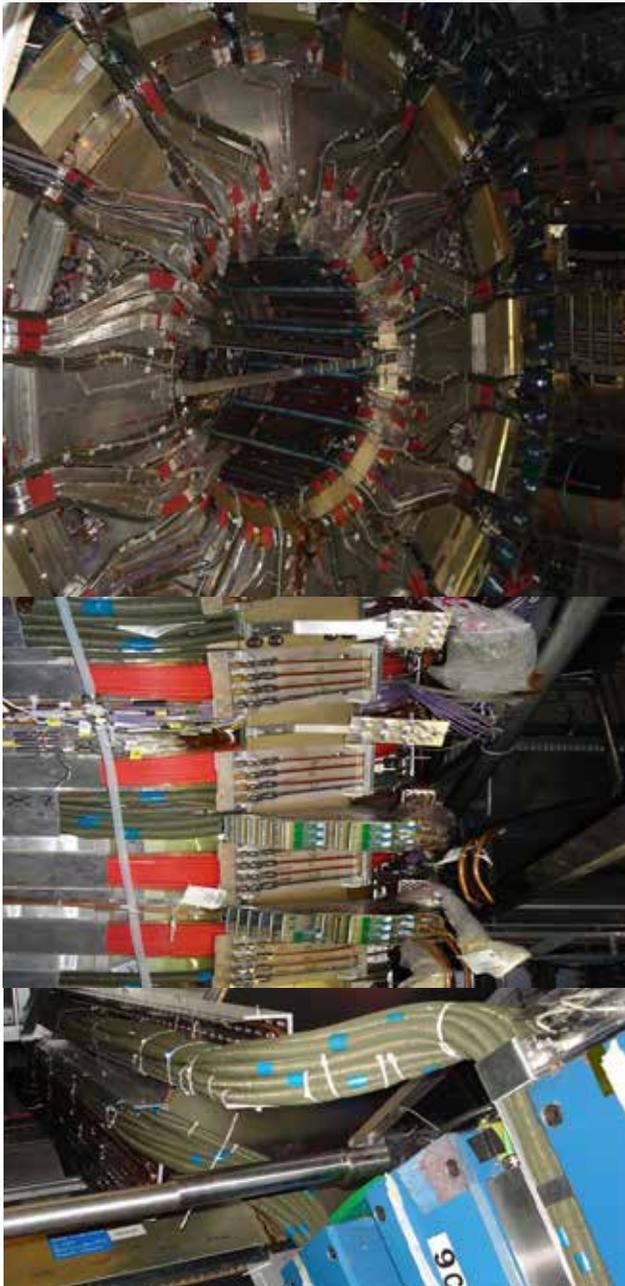
ATLAS-Detektorinstallation (2006)







Installation von Kabeln / Versorgungsleitungen



Beispiel:

Spurdetektor im zentralen Bereich

*~ 800 Personenmonate während
18 Monaten (45 Personen täglich)*

~ 12900 Kabelbündel

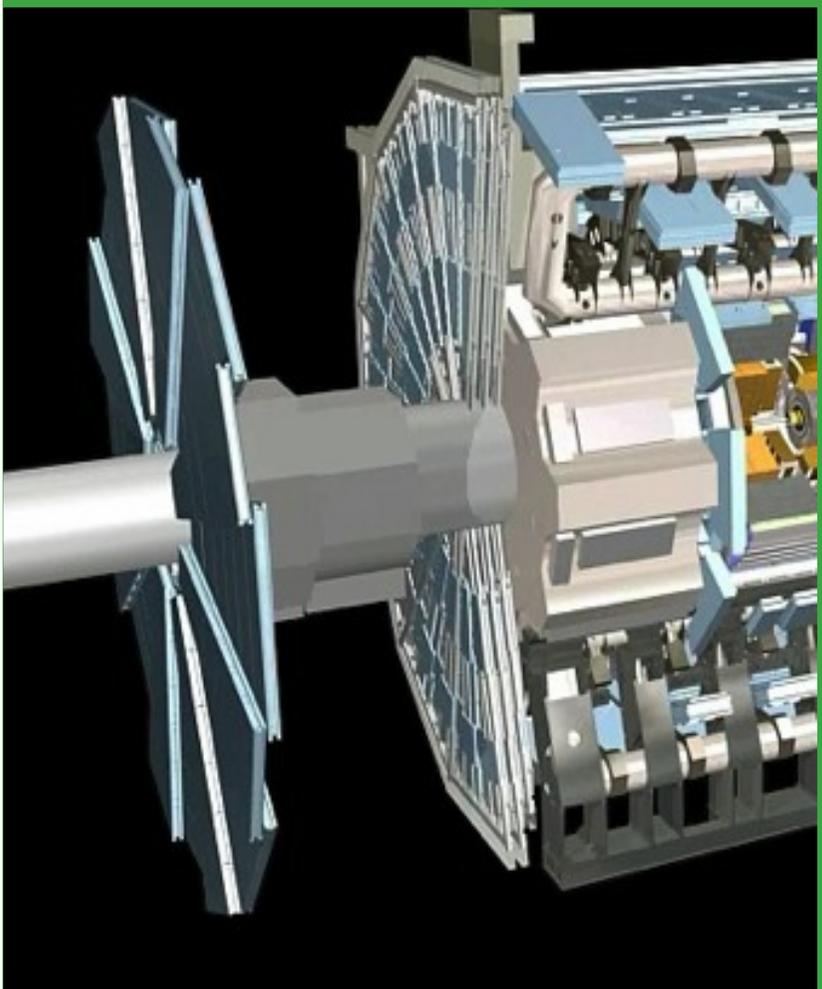
~ 30100 weitere Kabel

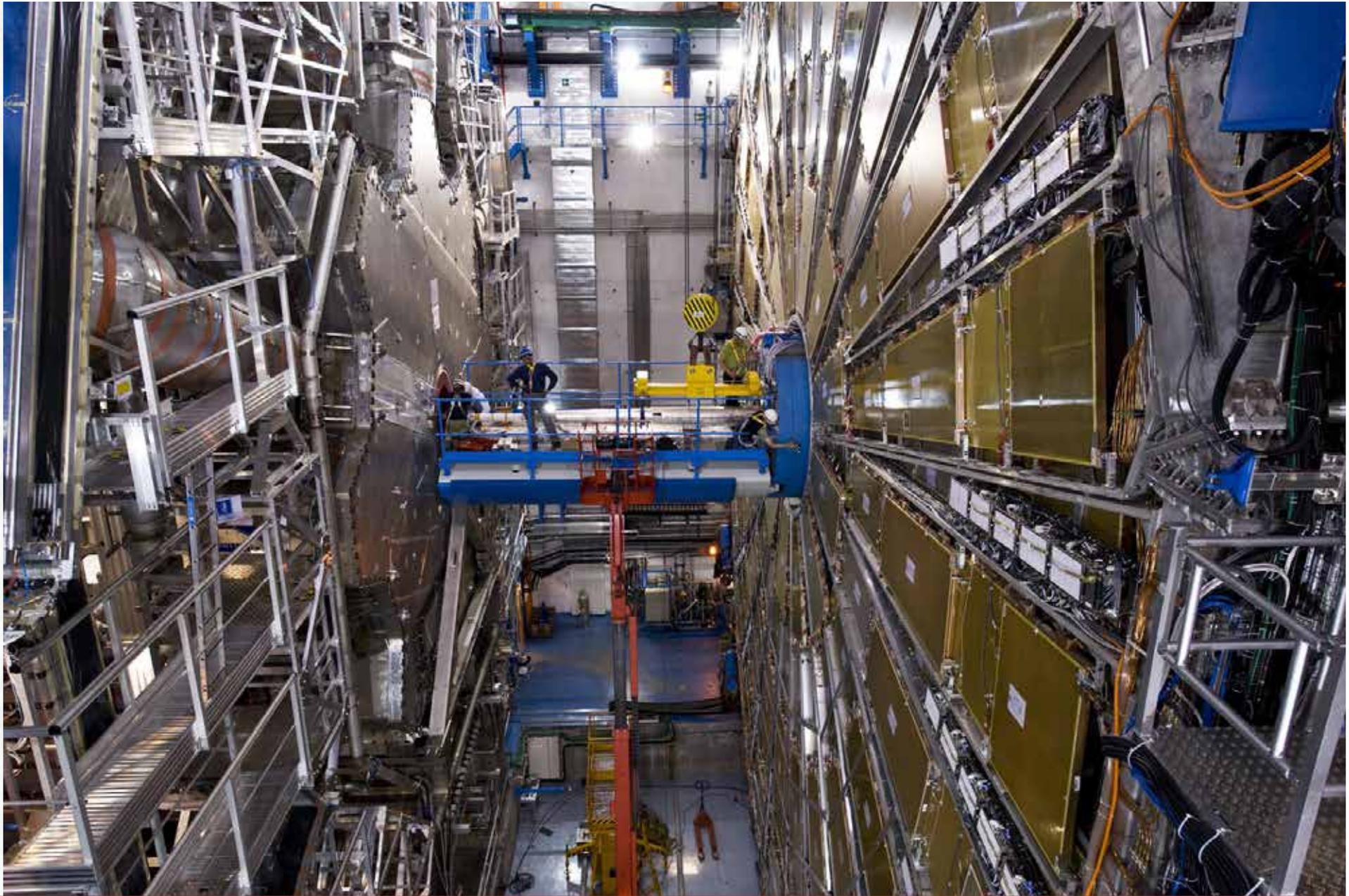
~ 2800 Kühl- und Gasleitungen

Alle getestet und qualifiziert



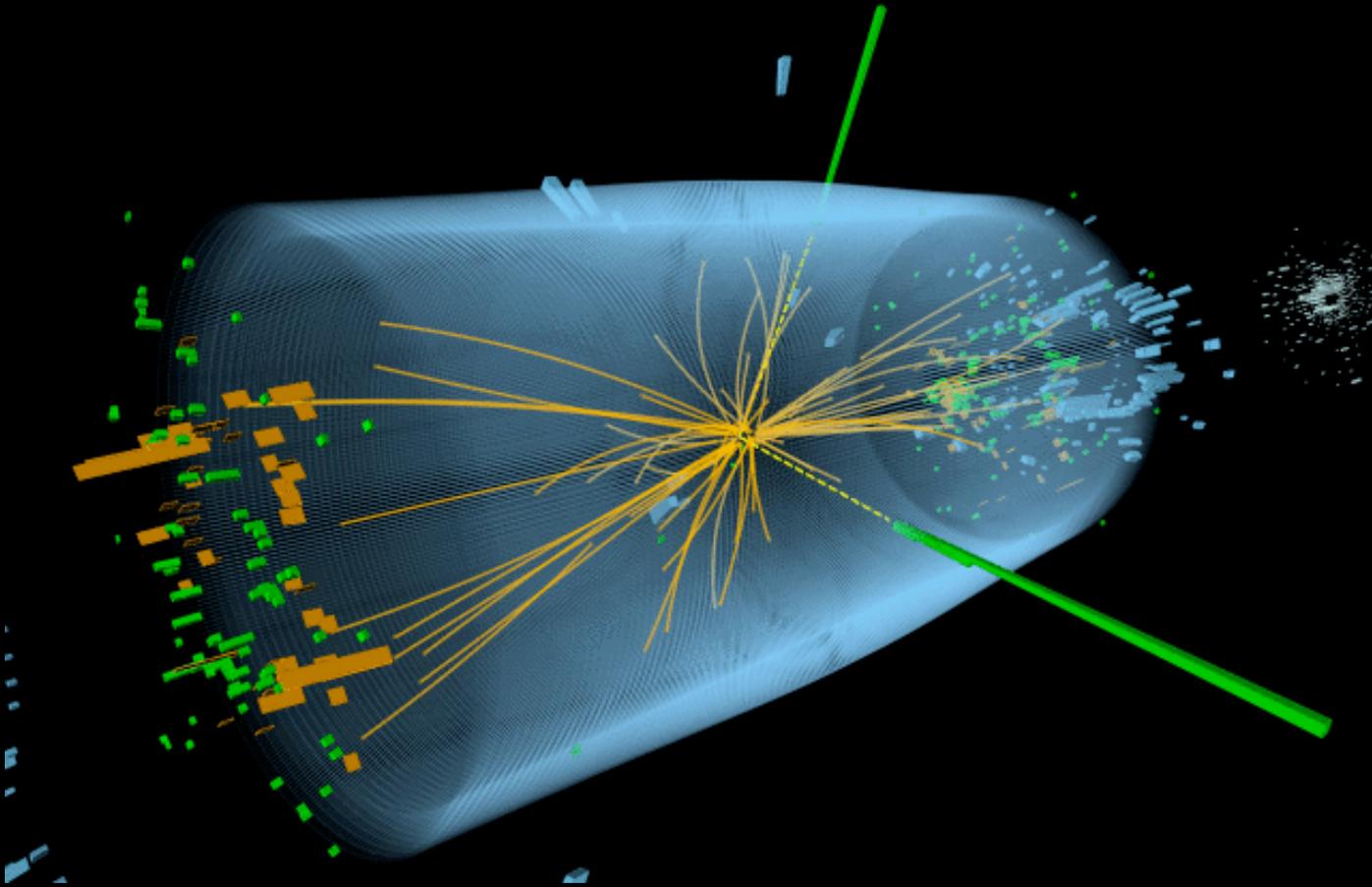
Myon-Detektorsystem
im Vorwärtsbereich





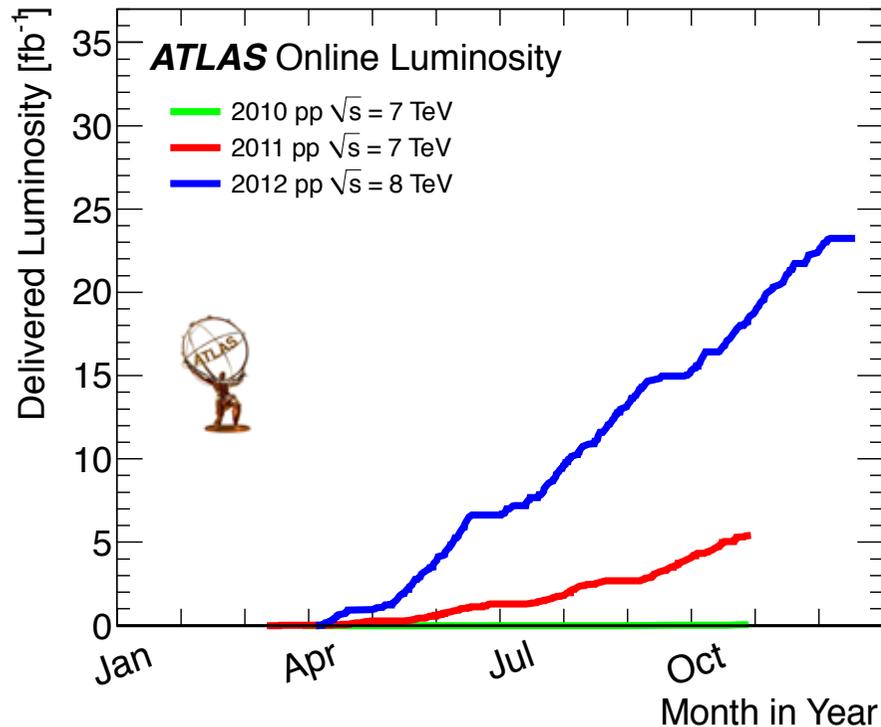
Ein historisches Ereignis:
Schließen der LHC-Strahlröhre am 16. Juni 2008
ATLAS-Experiment bereit für die Datennahme

Die Entdeckung des Higgs-Teilchens



Ein Kandidat für einen $H \rightarrow \gamma\gamma$ Zerfall

Datennahme in den Jahren 2010 - 2012



Bis Ende 2012:

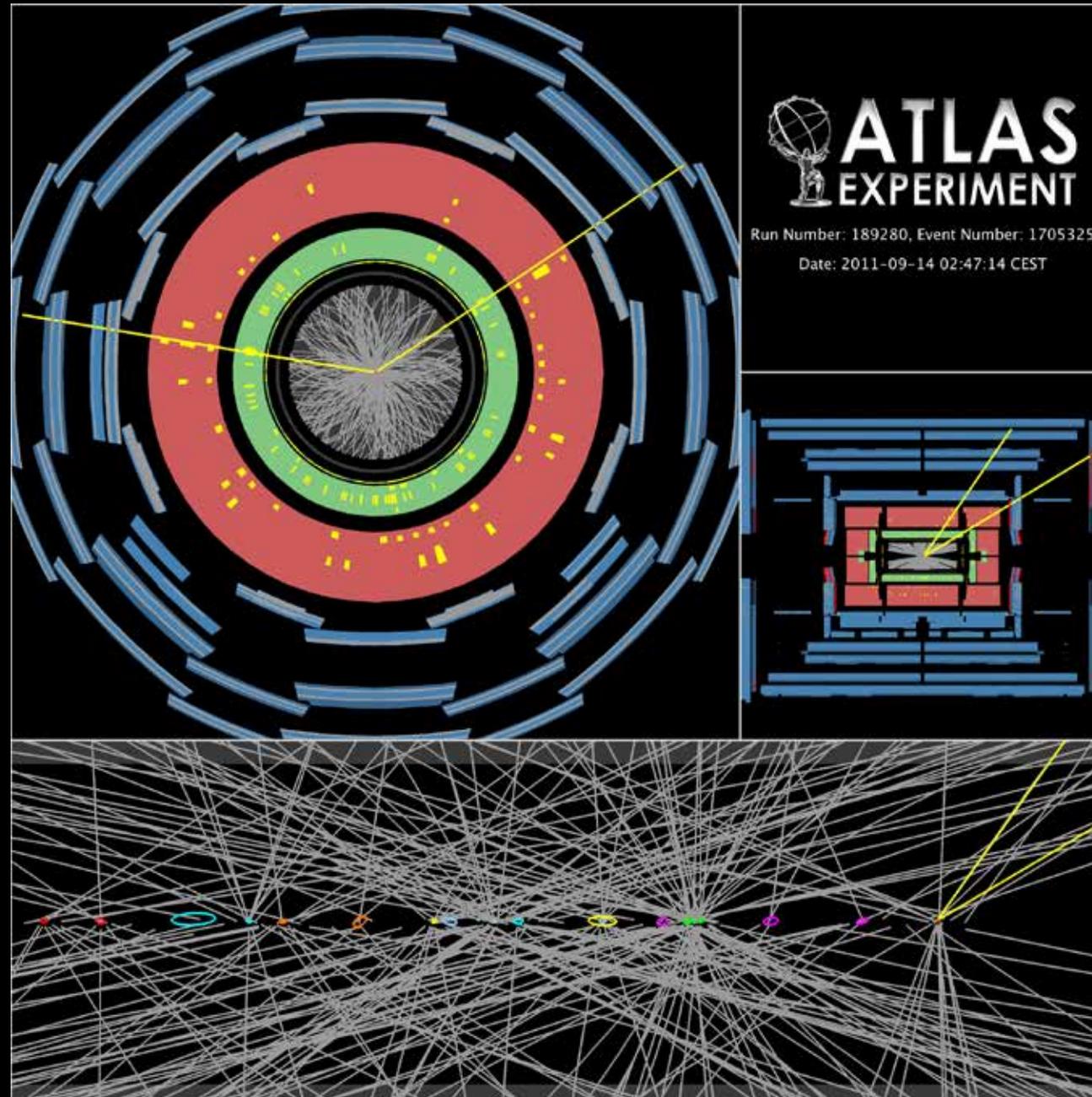
$> 10^{15}$ Proton-Proton Kollisionen

$\sim 10^{10}$ Kollisionen aufgezeichnet

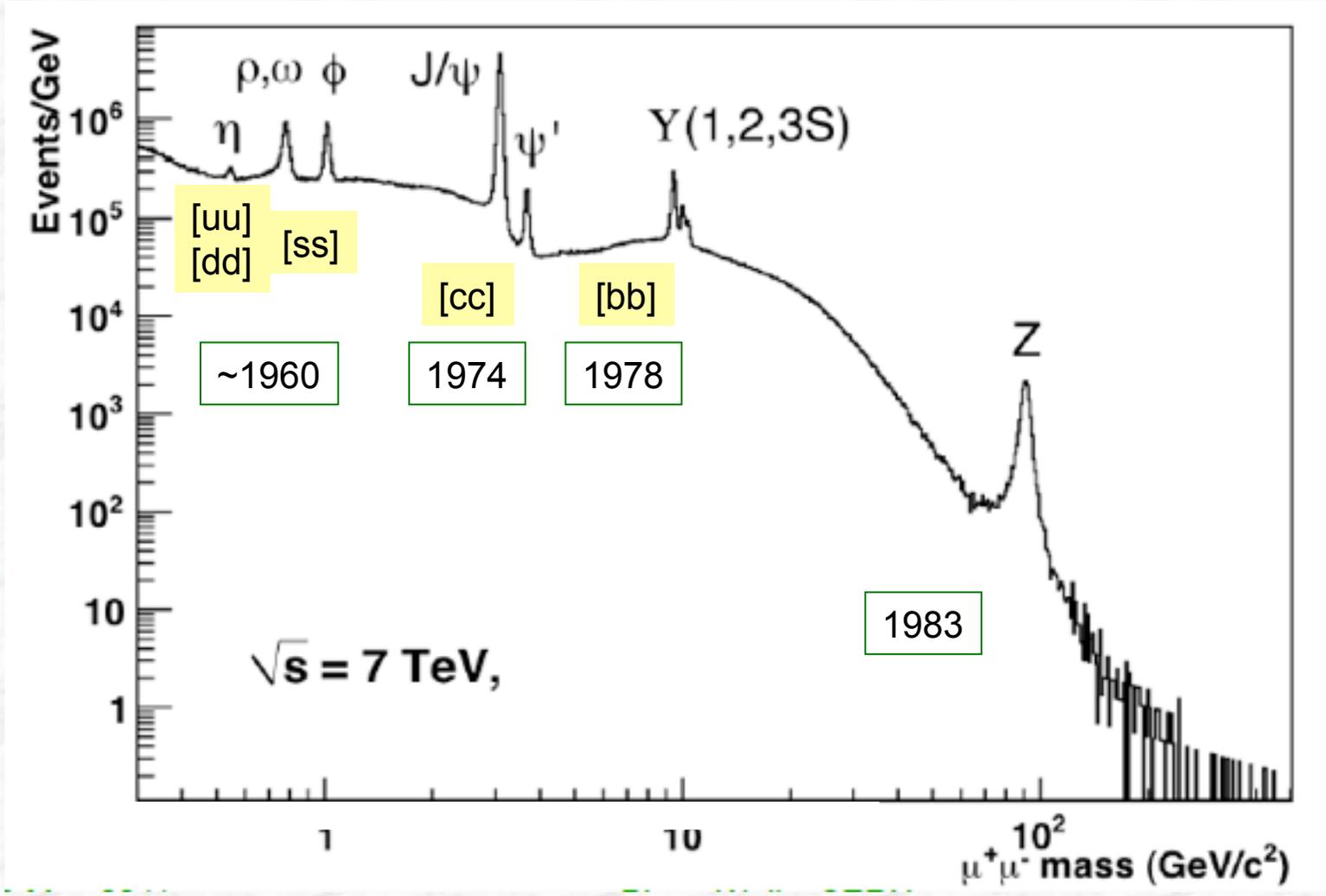
$25 \cdot 10^6$ $Z \rightarrow \mu\mu$ Zerfälle registriert

- Datennahme extrem erfolgreich (jenseits aller Erwartungen)
Beschleuniger: Strahlintensität so hoch, dass während einer Strahlkreuzung etwa 20 Wechselwirkungen gleichzeitig stattfinden
- Experimente:
 - Hohe Effizienz bei Aufzeichnung der Kollisionen: $\sim 93.5\%$
 - Funktionierende Detektorkanäle $> 99\%$
 - Hohe Geschwindigkeit / Effizienz in der Datenanalyse

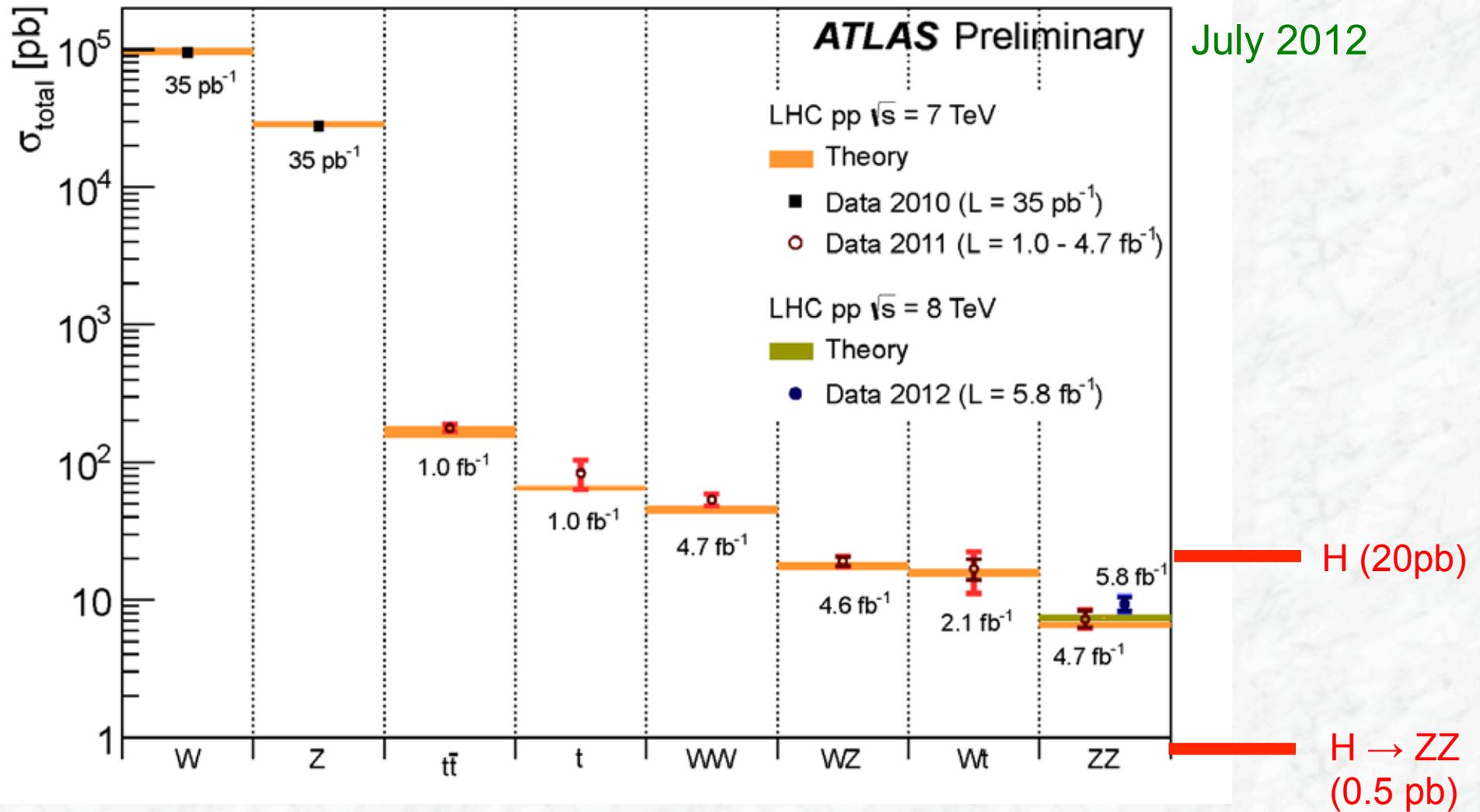
$Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ Ereignis mit 20 überlagerten Kollisionen



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

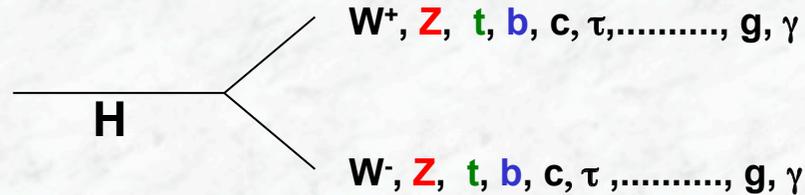


Vermessung der bekannten Standardmodellprozesse



Zerfälle des Higgs-Teilchens

Zerfallsraten in die verschiedenen Teilchen können berechnet werden:



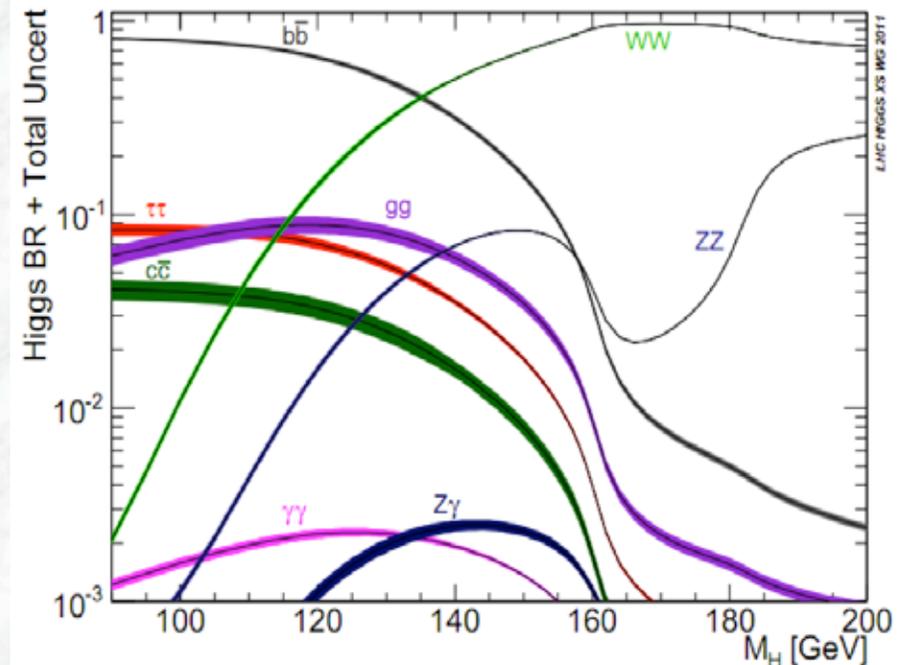
$$\Gamma(H \rightarrow f\bar{f}) = N_c \frac{G_F}{4\sqrt{2}\pi} m_f^2 (M_H^2) M_H$$

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

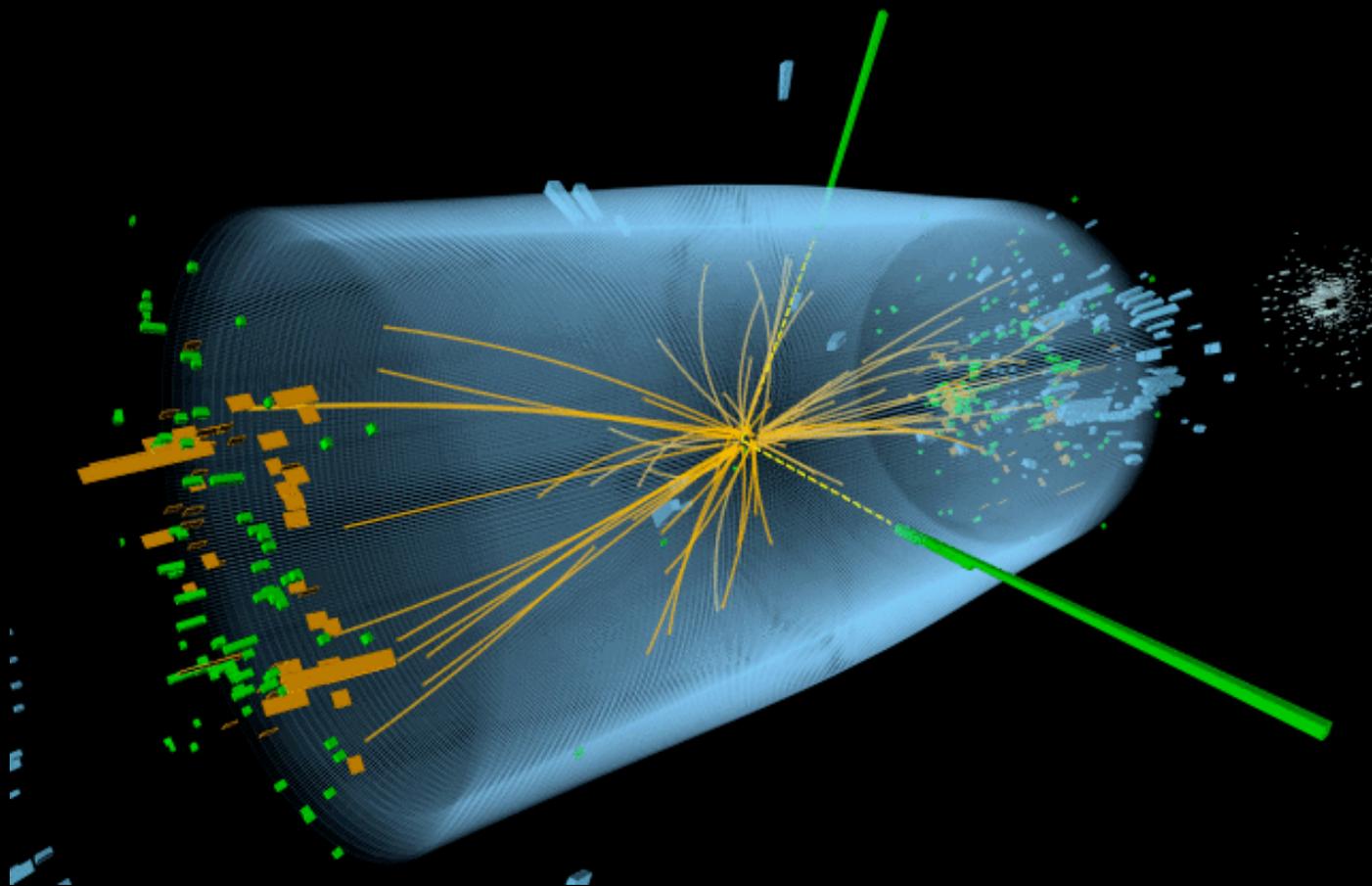
where: $\delta_Z = 1, \delta_W = 2, x = M_V^2 / M_H^2, \beta = \text{velocity}$

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

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



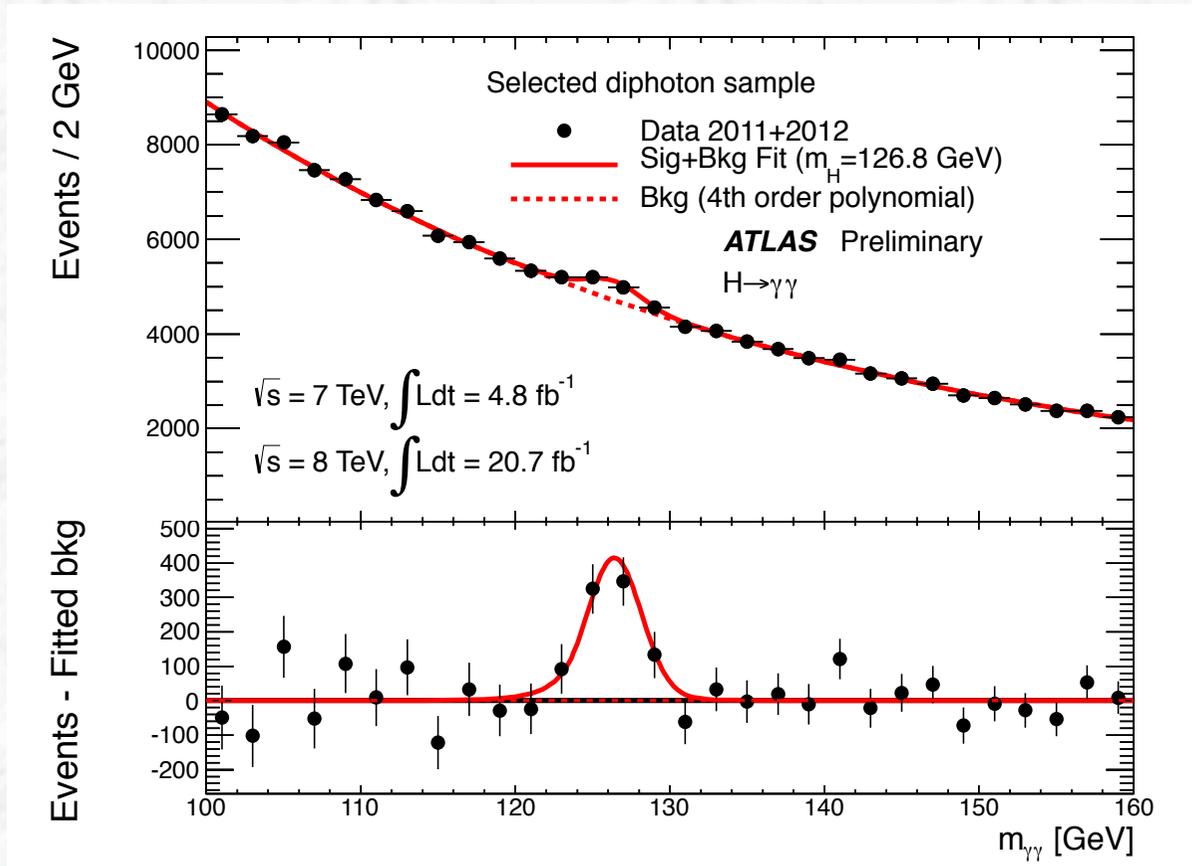
Entdeckung des Higgs-Teilchens



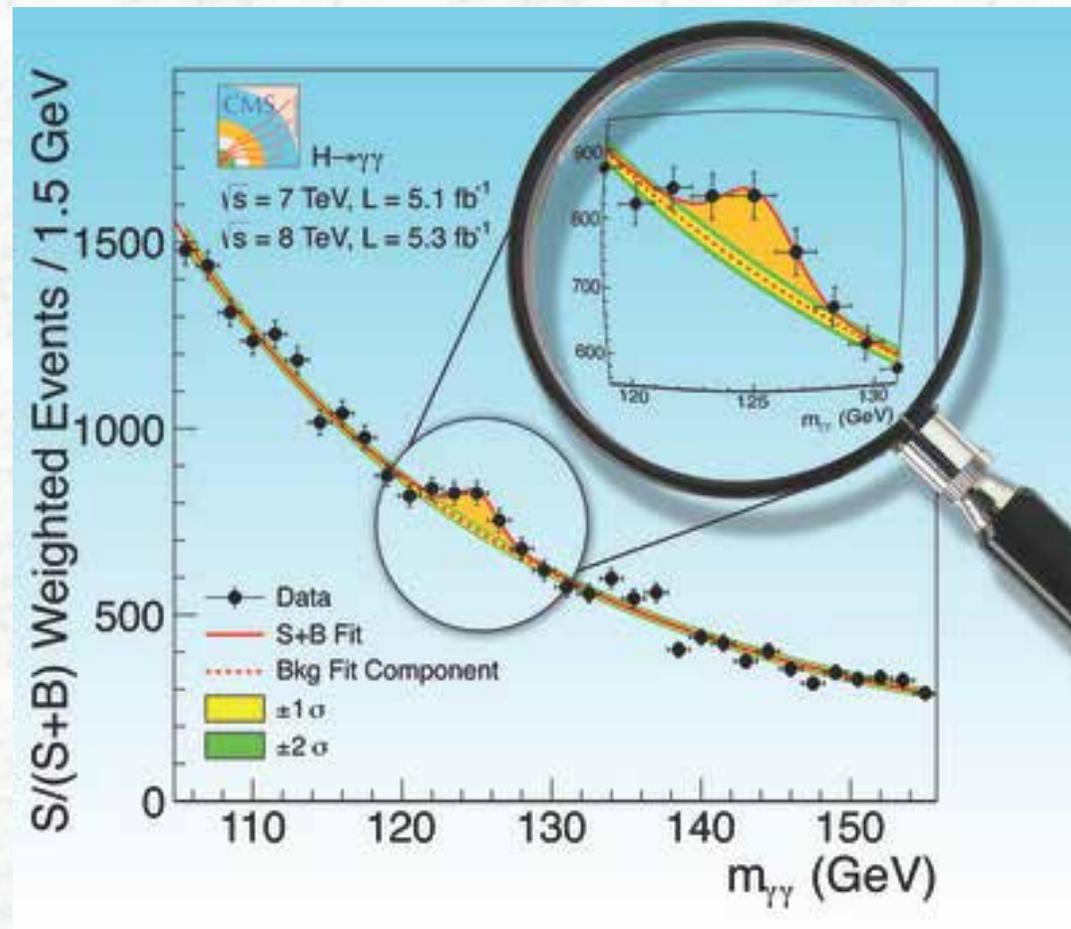
Erwartete Anzahl von Zerfällen in den Daten:
 $m_H = 125 \text{ GeV}$

- ~ 950 $H \rightarrow \gamma\gamma$
- ~ 60 $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4 \ell$
- ~ 9000 $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu \ell\nu$

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

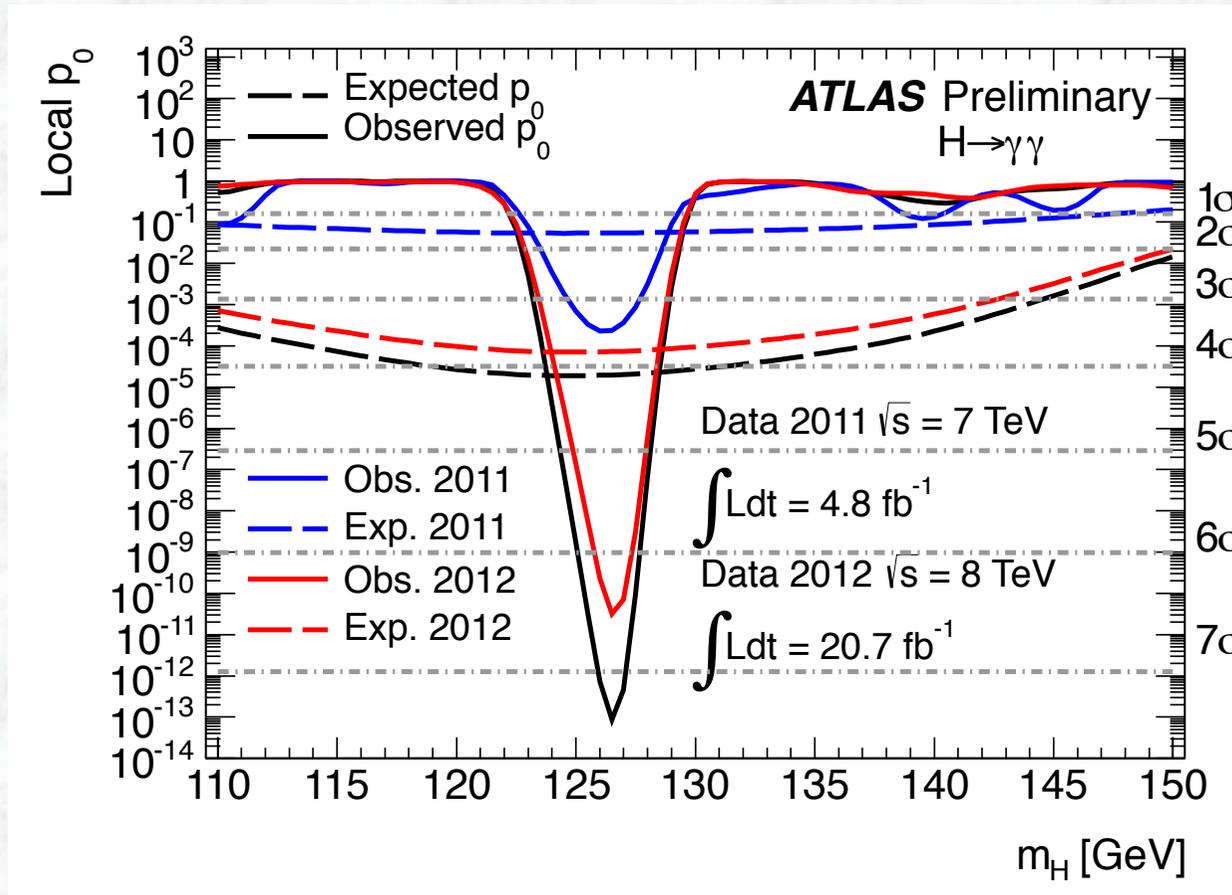


Was sieht unser Konkurrenz-Experiment ?



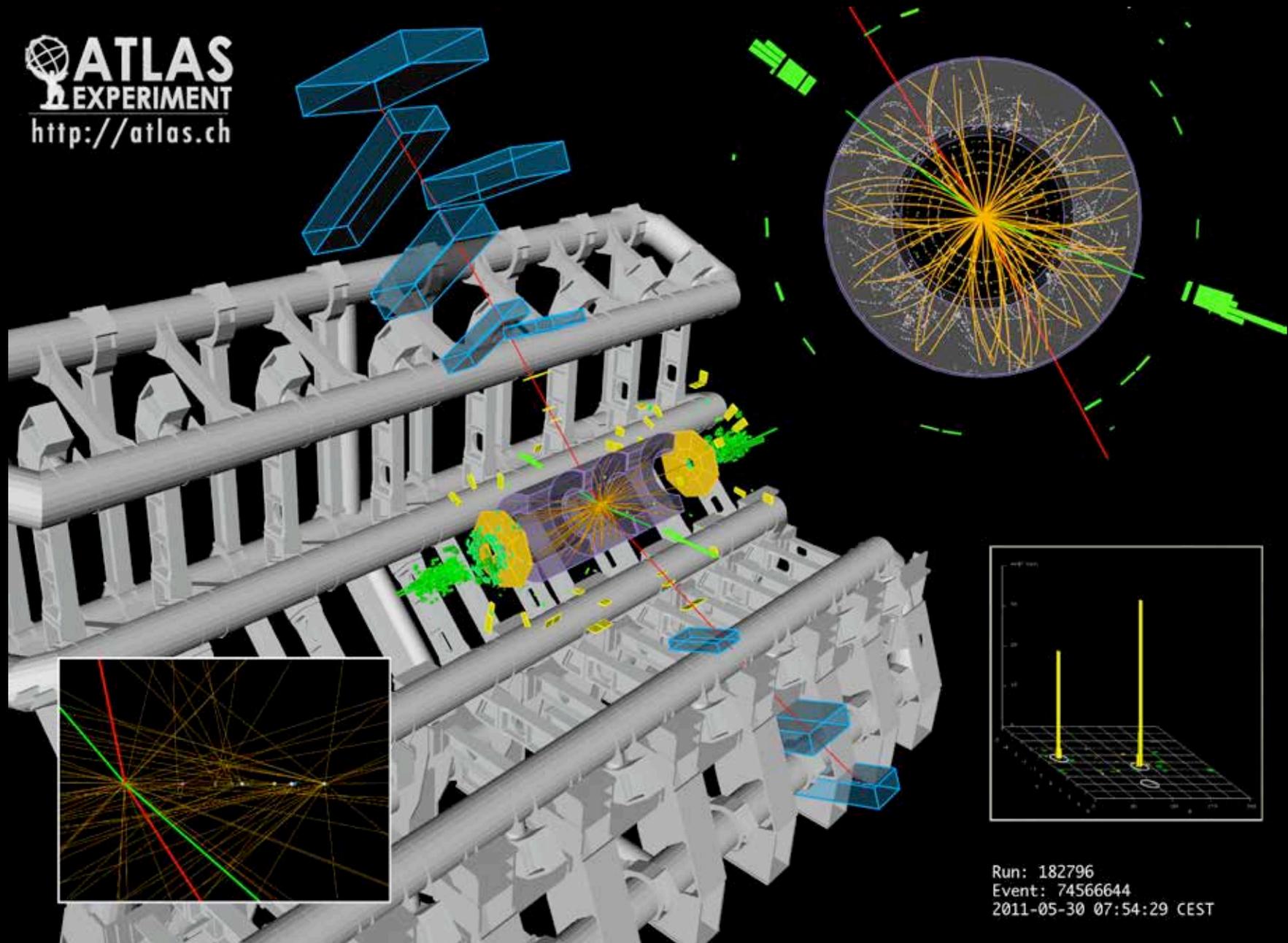
Signifikanz des Signals

- Wahrscheinlichkeit für Fluktuation des Untergrunds-

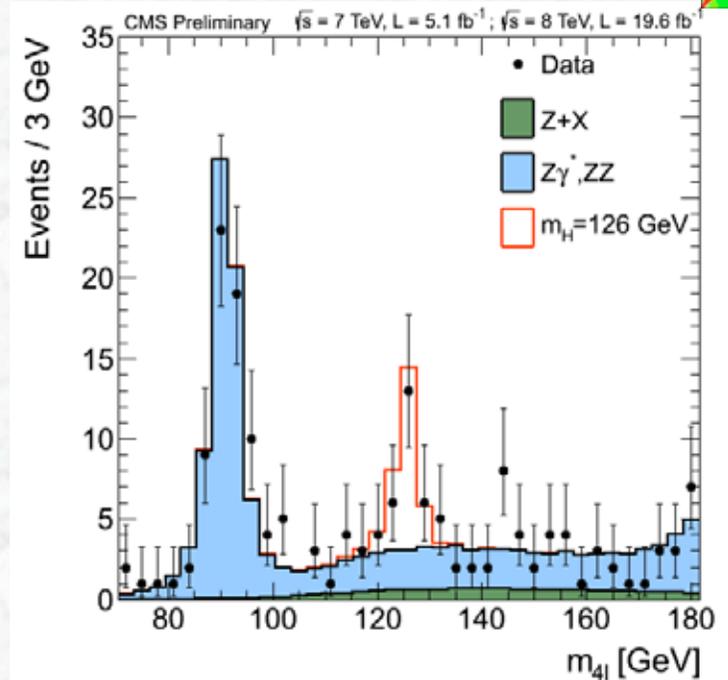
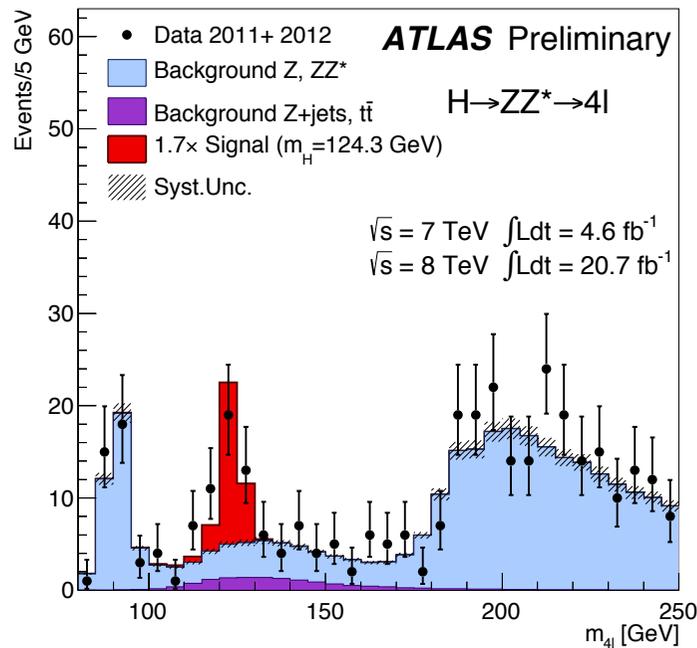


Kandidat für einen $H \rightarrow ZZ \rightarrow e^+e^- \mu^+ \mu^-$ Zerfall

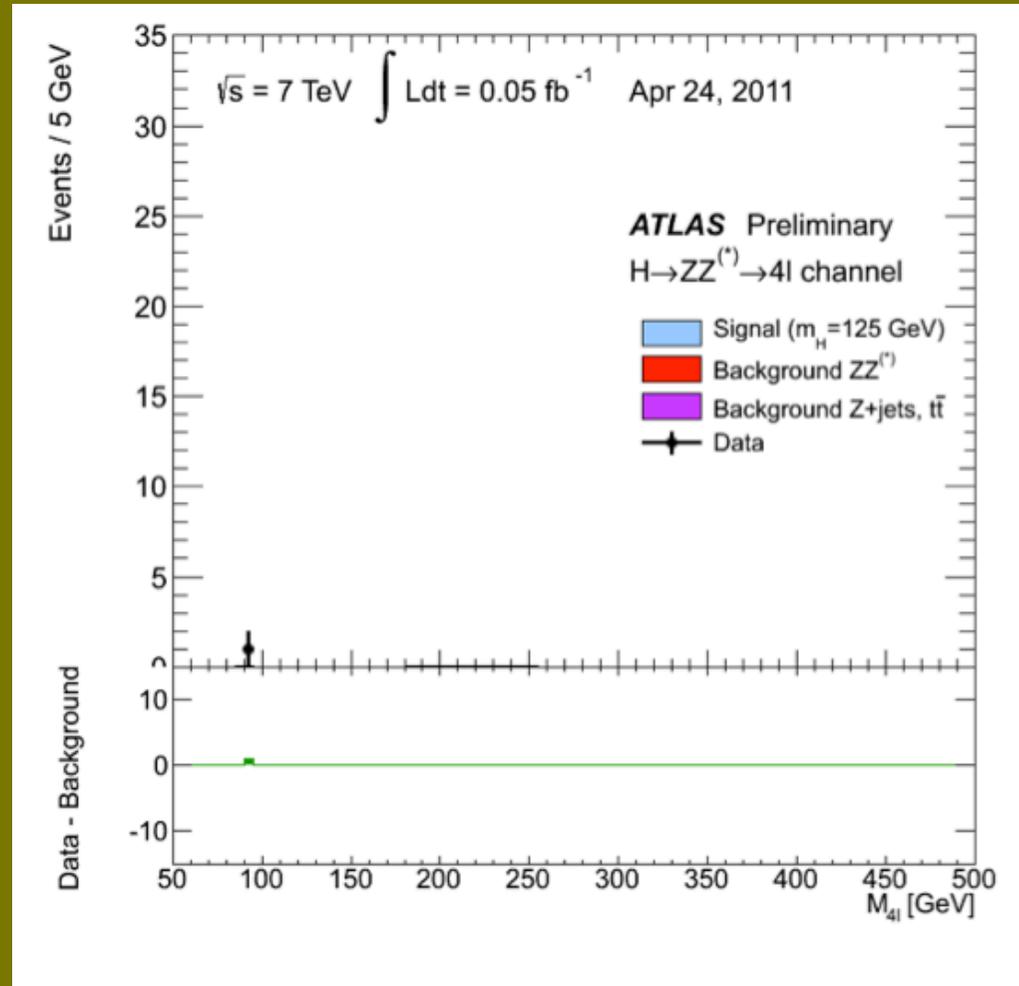
 **ATLAS**
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>



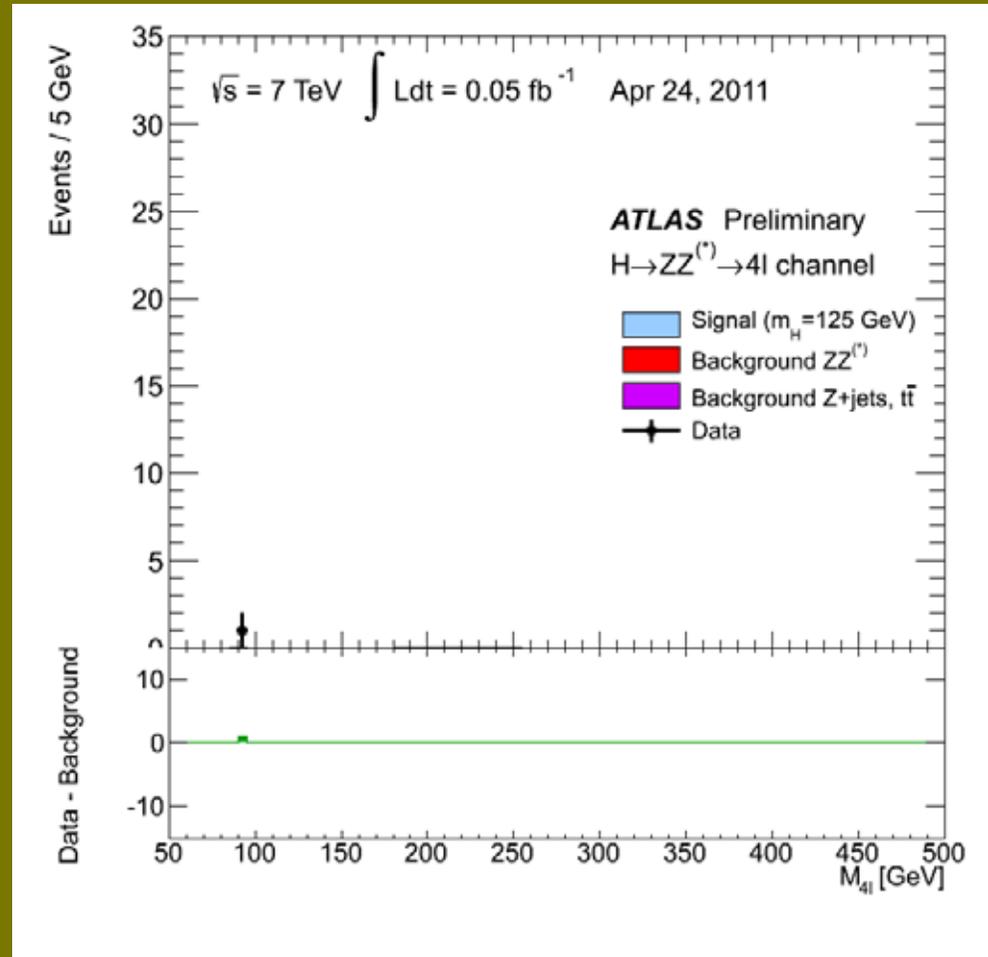
Ergebnis der Suche nach dem $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$ Zerfall



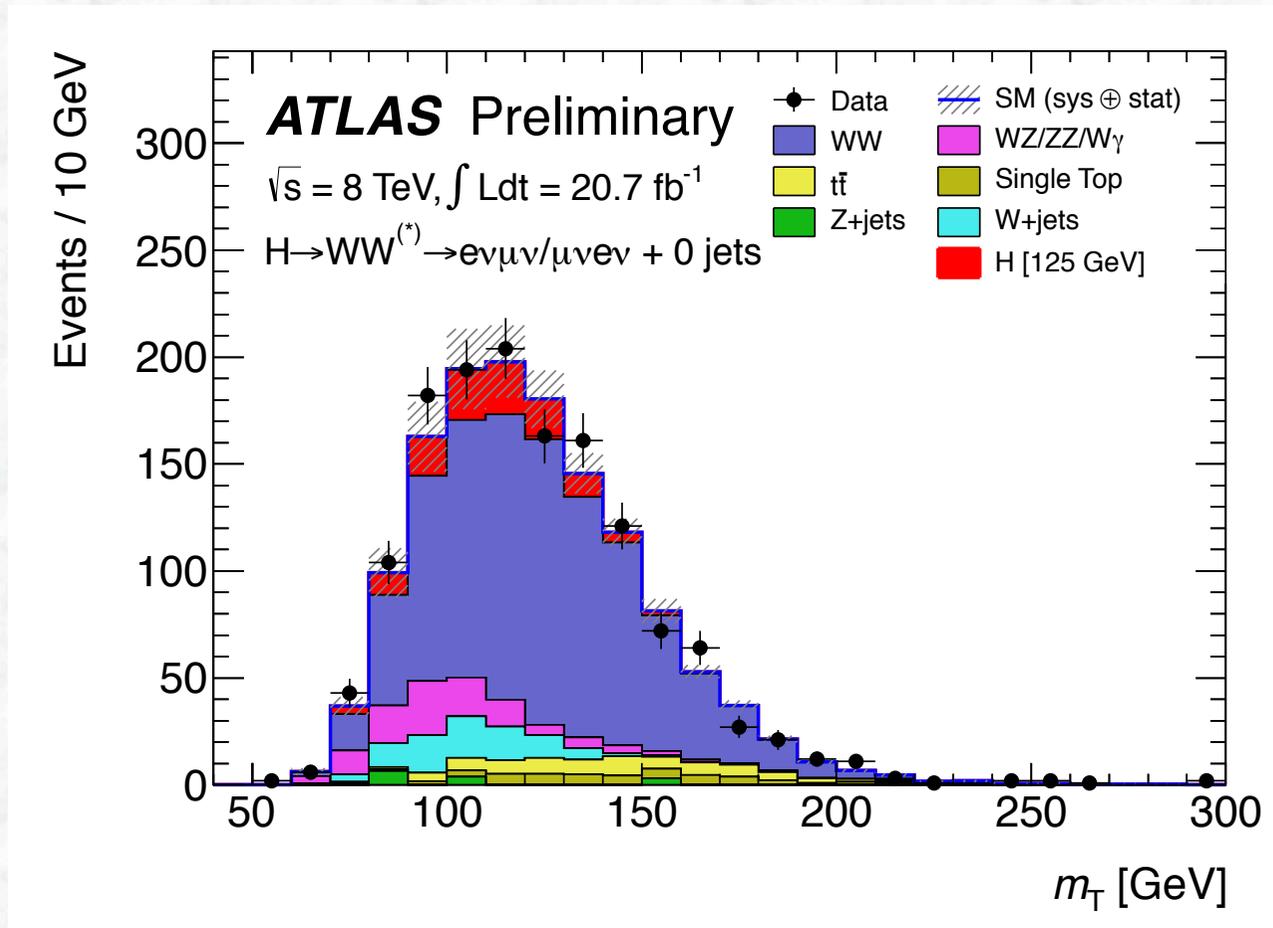
Zeitliche Entwicklung des $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ Signals



Zeitliche Entwicklung des $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$ Signals

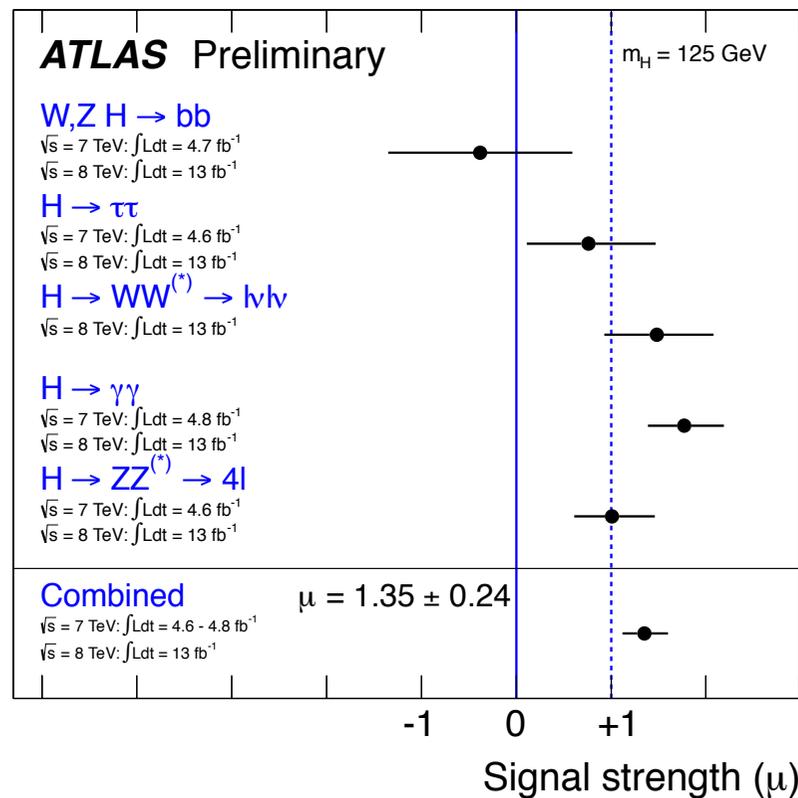


Ergebnis der Suche nach dem $H \rightarrow WW \rightarrow 2\ell 2\nu$ Zerfall



Ist es das Higgs-Teilchen ?

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



$$m_H = 125.5 \pm 0.6 \text{ GeV}$$

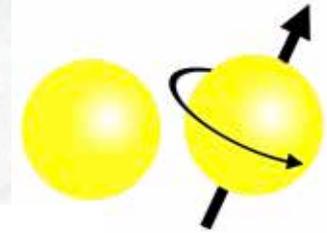
Erwartung:

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

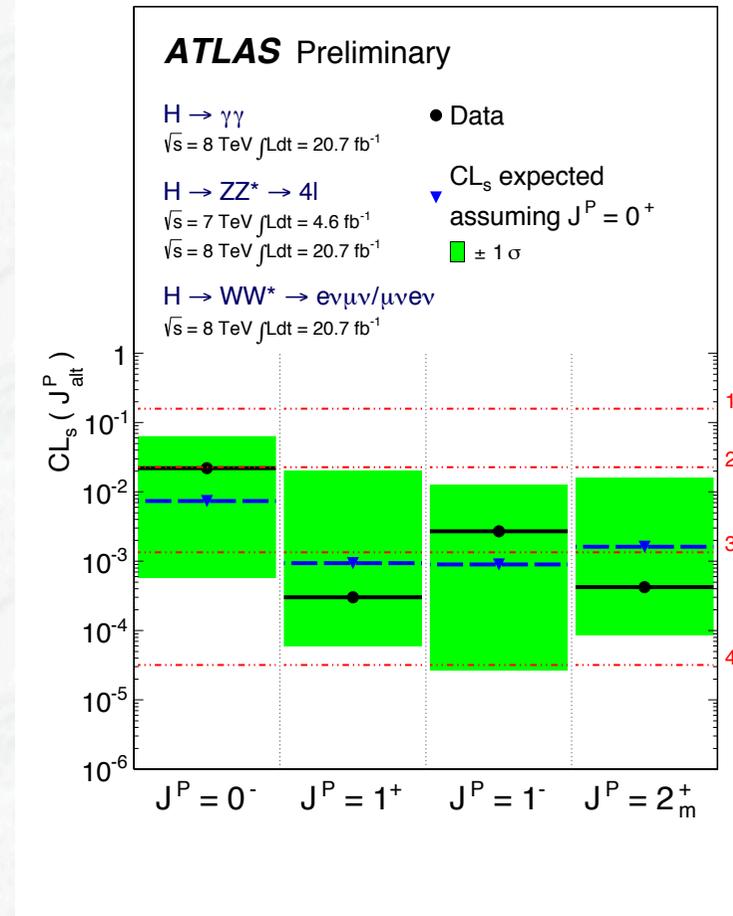
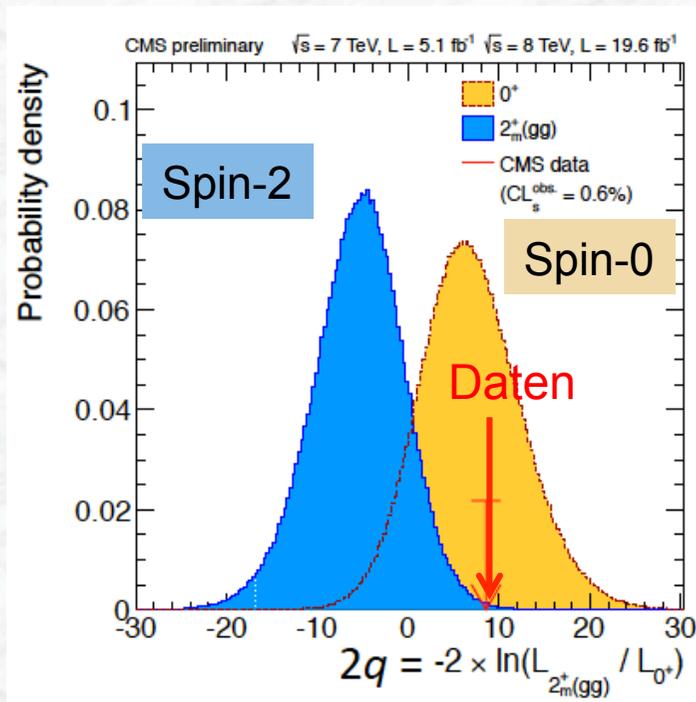
$\mu = 0$ kein Higgs-Teilchen

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

Der Eigendrehimpuls (Spin)



Hypothesentests:
(basierend auf Winkelverteilungen
der Zerfallsprodukte)



Daten favorisieren sehr stark die vom Higgs-Modell vorhergesagte
Spin-0 Hypothese
(Alternativen können mit Wahrscheinlichkeiten von >99% ausgeschlossen werden)

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

Anwendungen, angestoßen aus der Teilchenphysik

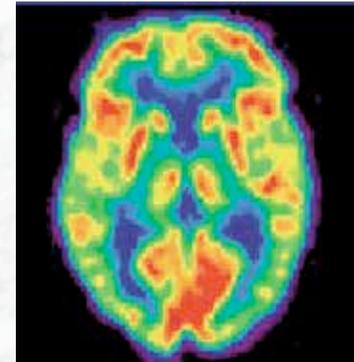
- World Wide Web (CERN)
- GRID-Computing
- Von der Entwicklung von Beschleunigern und Detektoren profitieren Industrie, Medizin und andere Wissenschaftszweige

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

- Beschleuniger für Strahlentherapie

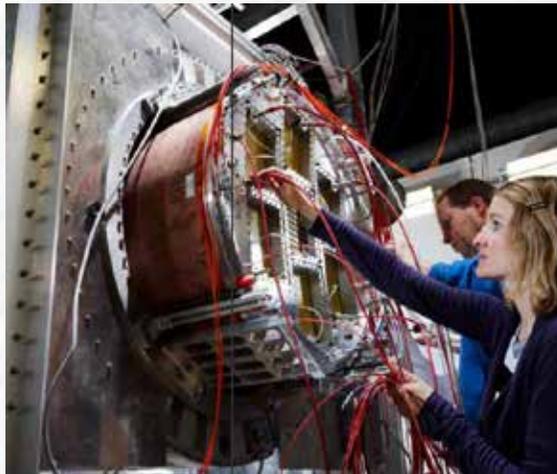
- Beschleuniger in der Industrie
(z.B. Bearbeitung von Oberflächen)

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

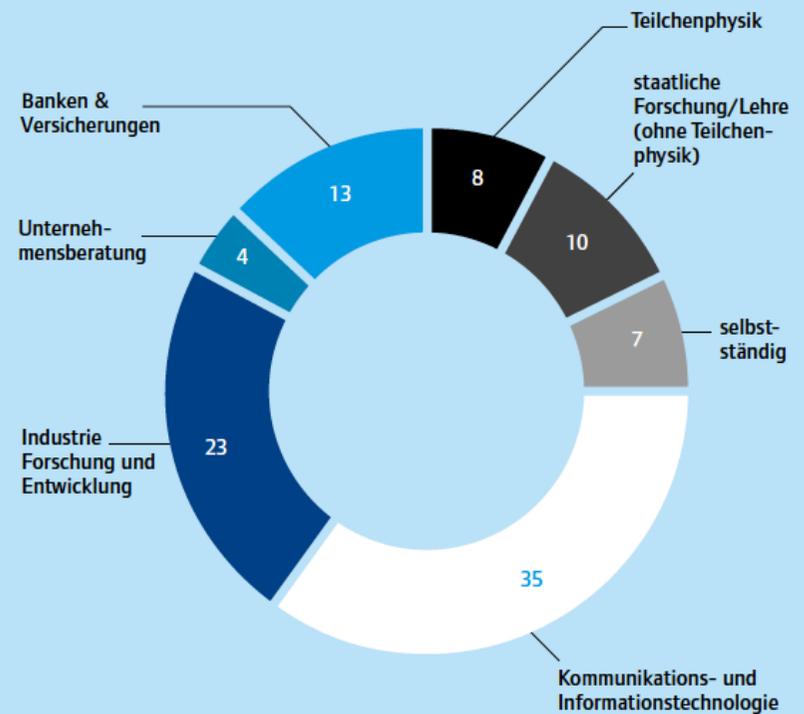


Relevanz für die Gesellschaft

Ausbildung von Studierenden in einem internationalen und hochkompetitiven Umfeld



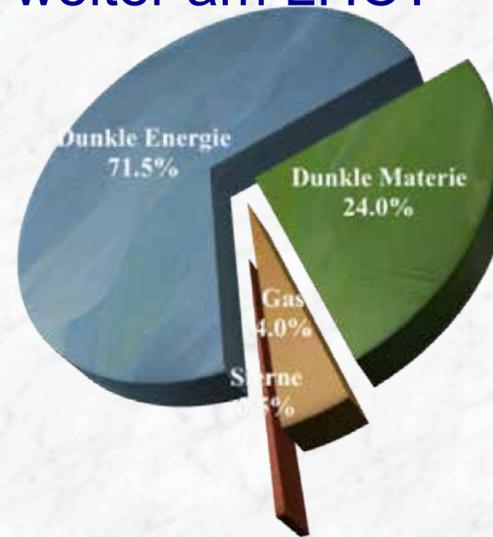
Werdegang der
Teilchenphysik-Absolventen
Angaben in %



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

1. Masse

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



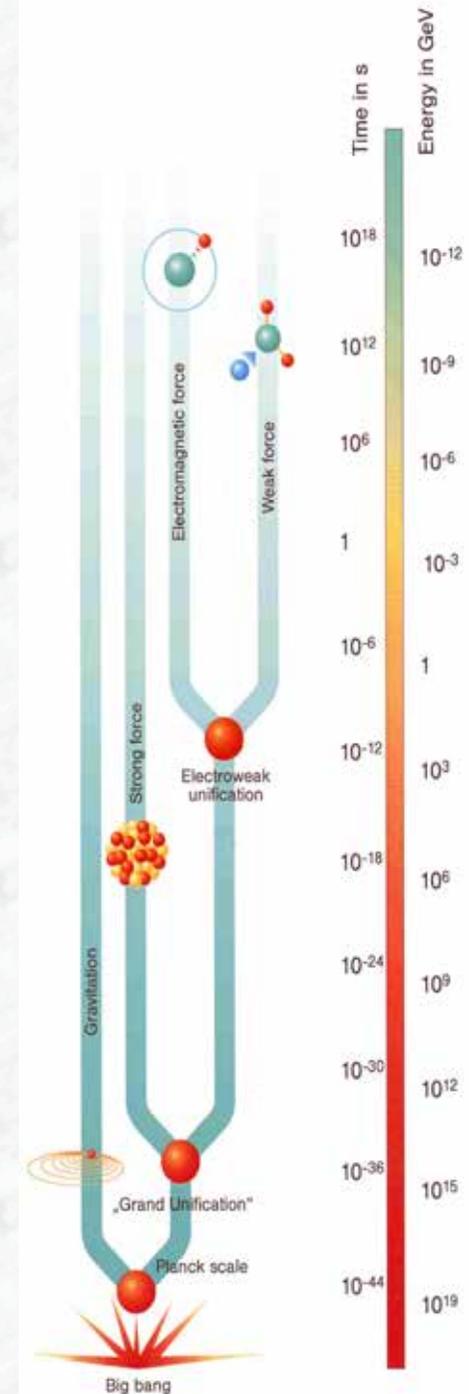
2. Vereinheitlichung

- 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?

4. Gibt es zusätzliche Raumdimensionen?



Zusammenfassung

- Mit der Inbetriebnahme des LHC hat für die Teilchenphysik eine neue Ära begonnen
- Projekt hoher Komplexität (Beschleuniger, Experimente) wurde über eine Zeitskala von 20 Jahren in internationaler Zusammenarbeit realisiert
- Leistungsfähigkeit des Beschleuniger und der Experimente ist hervorragend (besser als erwartet/ geplant)
- Sensationelle Physik-Ergebnisse nach einem Betrieb von nur drei Jahren

Der Nachweis des Higgs-Teilchens bestätigt die Hypothese des Higgs-Feldes, das dem Vakuum "Struktur" und damit den elementaren Teilchen Masse verleiht.

- Wir hoffen, dass dies nur der Anfang einer langen Entdeckungsreise ist.
-