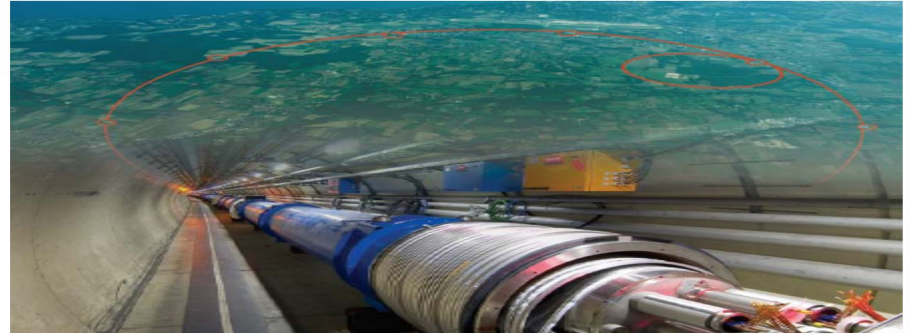
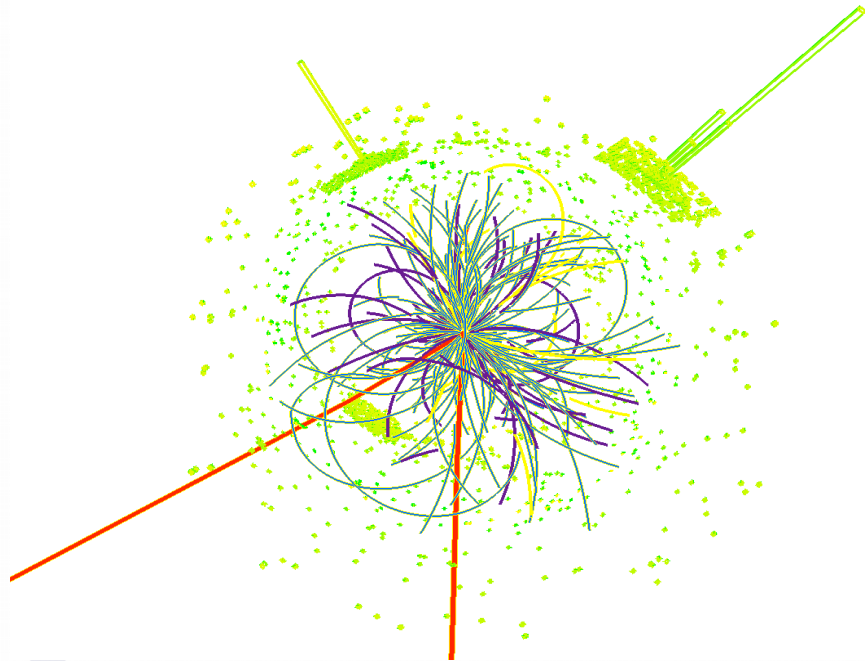
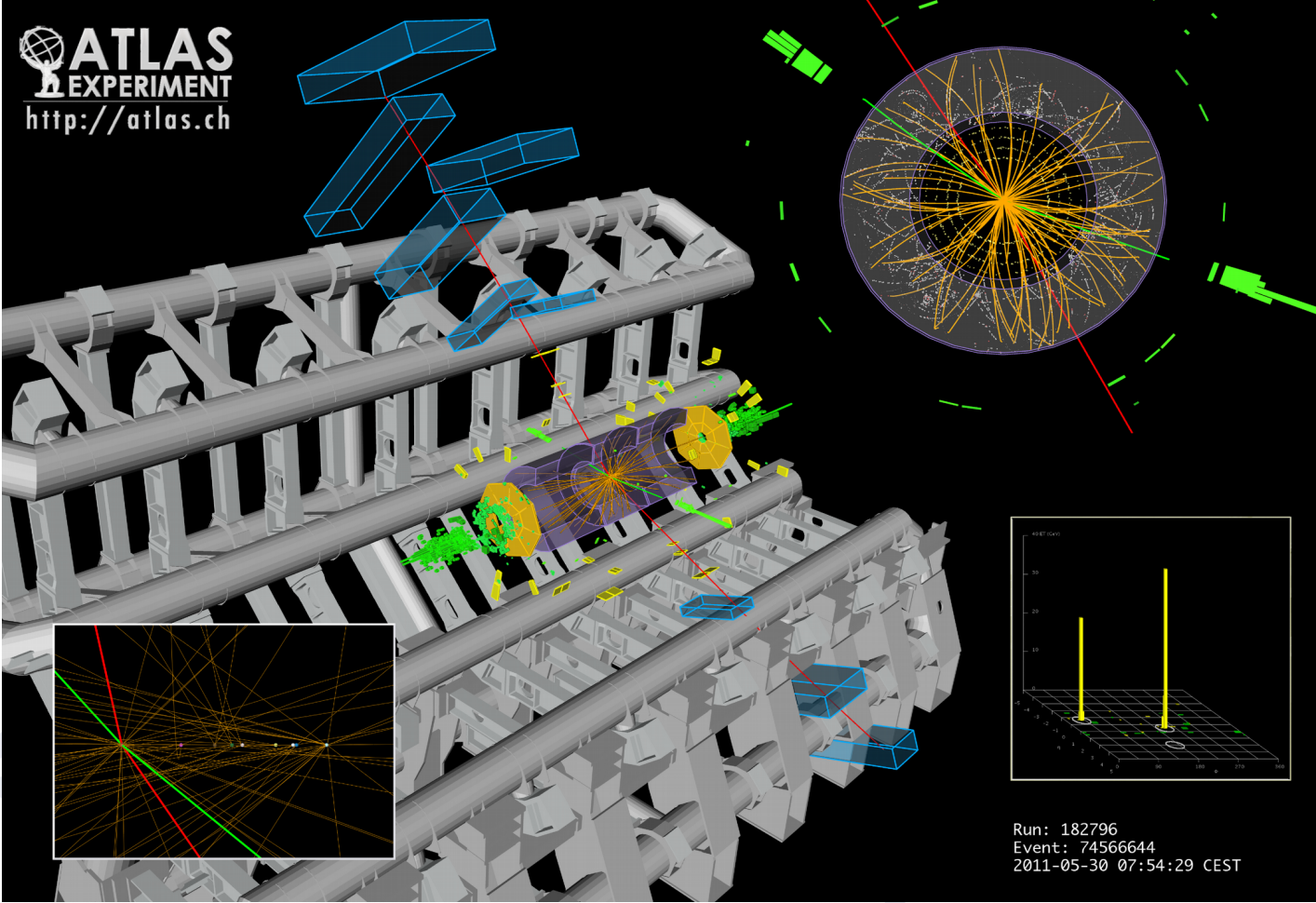


Die Entdeckung des Higgs-Bosons



Dr. Thorsten Kuhl
DESY

Der größte Erfolg 2012: Das Higgs!



Nach dem Higgs: Die Suche geht weiter

1. Laufperiode von 2010 – 2012 (Run 1)

- Sehr erfolgreiche und effiziente Datennahme
- Wichtigstes Resultat: Entdeckung des Higgs-Bosons
- Bestätigung des Standardmodells der Teilchenphysik

Um- und Ausbauphase von 2013 – 2014 (LS1)

- Erhöhung der Strahlenergie auf das Doppelte
- Erhöhung der Strahlintensität
- Einbau neuer Detektoren, Anpassung der Technologien
- Verbesserung der Ereignisauswahl und Datenverarbeitung

Nächste Laufperiode 2015 – 2018 (Run 2)

- Erfolgreiche Datennahme seit Juli 2015
- Bestätigung des Higgs-Bosons
- Intensive Suche nach Physik jenseits des Standardmodells

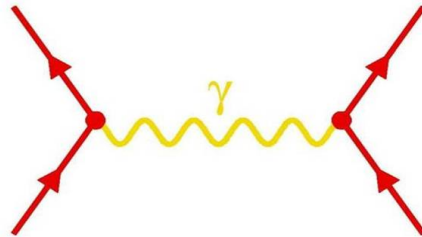
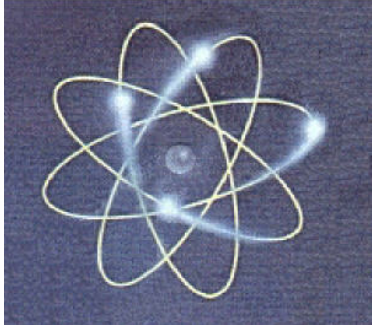
Run 3: 2020 – 2022/23

Großer Upgrade 2023

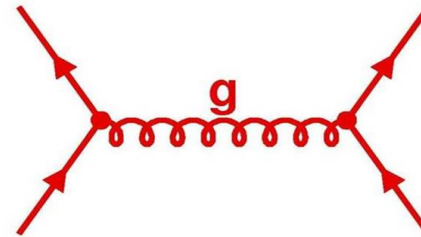
- Grundlegender Umbau und Erneuerung des ATLAS-Detektors
- Anpassung auf neue Anforderungen



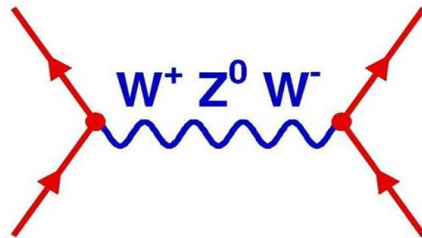
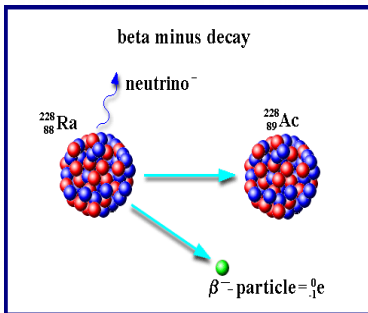
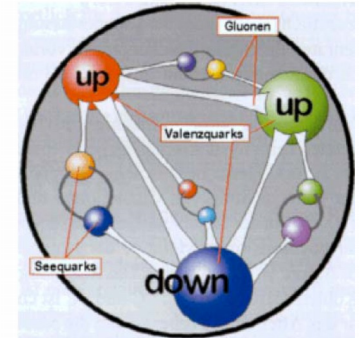
Erinnerung: Austauschteilchen



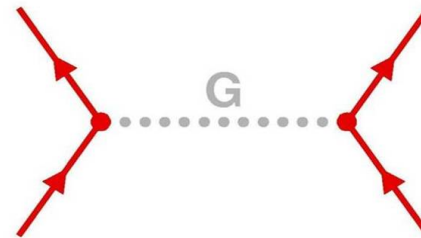
elektromagn. Kraft



starke Kraft



schwache Kraft



Gravitation



Austauschteilchen sind die Quanten der Kraftfelder

Das Standardmodell

Fundamentale Teilchen:

6 Quarks (u, d, c, s, t, b)

6 Leptonen (e, μ , τ , ν_e , ν_μ , ν_τ)

Fundamentale Kräfte:

starke Wechselwirkung (g)

schwache Wechselwirkung (W,Z)

elektromagnetische

Wechselwirkung (γ)

Verantwortlich für die Masse:

Higgs-Boson

sehr erfolgreiches Modell: bisher in allen experimentellen Tests gut bestätigt

Viele richtige Vorhersagen

| | | | | | |
|----------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| mass → | $\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$ | $\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$ | 0 | $\approx 126 \text{ GeV}/c^2$ |
| charge → | 2/3 | 2/3 | 2/3 | 0 | 0 |
| spin → | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | 0 |
| | u up | c charm | t top | g gluon | H Higgs boson |
| QUARKS | $\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 95 \text{ MeV}/c^2$ | $\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ | 0 | |
| | -1/3 | -1/3 | -1/3 | 0 | |
| | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | |
| | d down | s strange | b bottom | γ photon | |
| | $0.511 \text{ MeV}/c^2$ | $105.7 \text{ MeV}/c^2$ | $1.777 \text{ GeV}/c^2$ | $91.2 \text{ GeV}/c^2$ | |
| | -1 | -1 | -1 | 0 | |
| | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | |
| | e electron | μ muon | τ tau | Z Z boson | |
| LEPTONS | $< 2.2 \text{ eV}/c^2$ | $< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ | $< 15.5 \text{ MeV}/c^2$ | $80.4 \text{ GeV}/c^2$ | |
| | 0 | 0 | 0 | ± 1 | |
| | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | |
| | ν_e electron neutrino | ν_μ muon neutrino | ν_τ tau neutrino | W W boson | |
| | | | | GAUGE BOSONS | |

Ursprung der Masse: Higgs-Teilchen

Standardmodell:

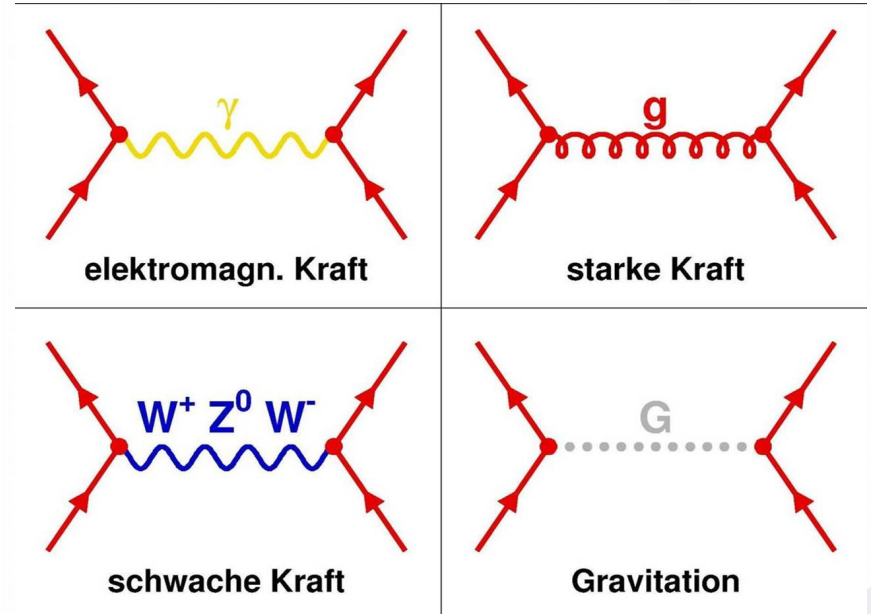
perfekte Symmetrie ohne Masse
Kräfte durch Symmetrien beschreibbar

Forderung:

Austauschteilchen müssen masselos sein
Erfüllt für Photon und Gluon,
Aber nicht für W^- und Z -Bosonen

Konsequenz:

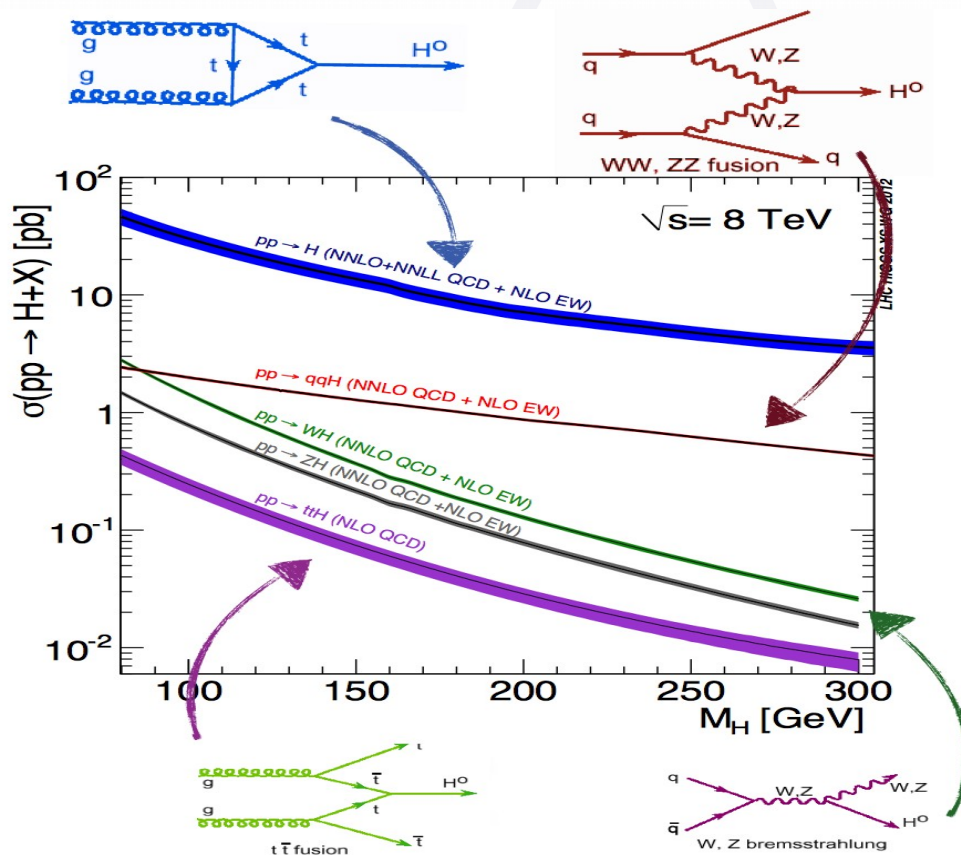
Symmetrie muss gebrochen sein
Symmetriebrechung erzeugt neues, massives Feld: Higgs-Feld
Konsequenz der Symmetrie-Brechung: W^- und Z -Bosonen werden massiv
Erzeugung von Massen durch Kopplung an das Higgs-Feld
Teil des Standardmodells, keine "neue Physik"
Entdeckung 2012 am LHC



Higgs-Produktion

Das Higgs koppelt an die Masse:

Produktion mit schweren Teilchen dominant → sehr seltene Prozesse

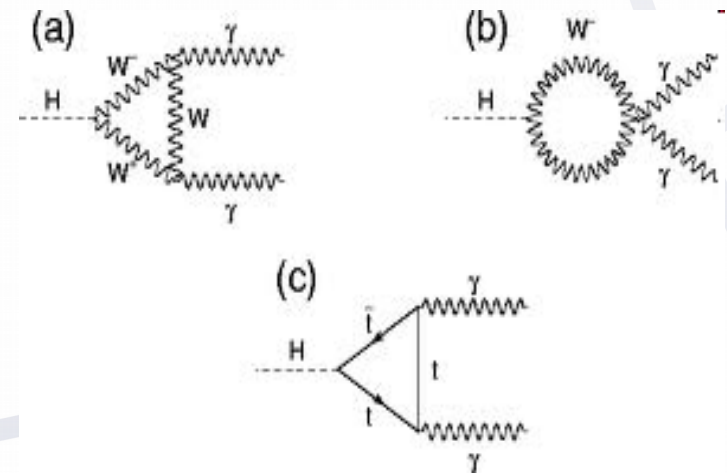
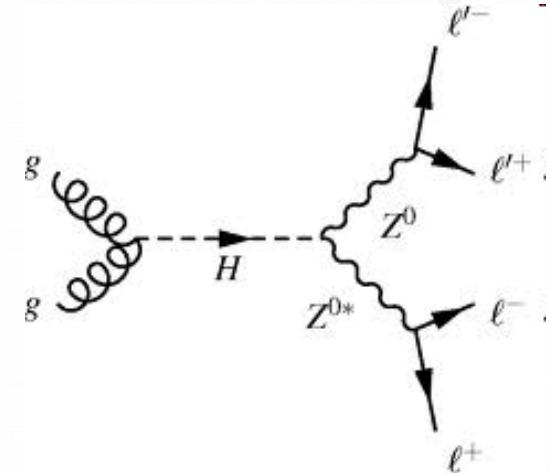
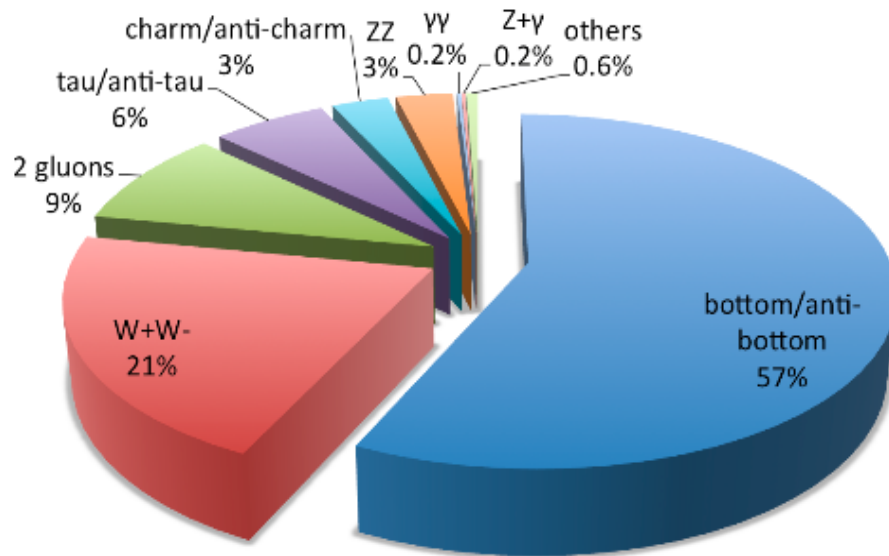


Higgs-Zerfälle

Viele Zerfallsarten, Kopplung an schwere Teilchen dominant (W, Z, top, tau)

- sehr seltene Prozesse
- schwer vom Untergrund zu trennen

Decays of a 125 GeV Standard-Model Higgs boson



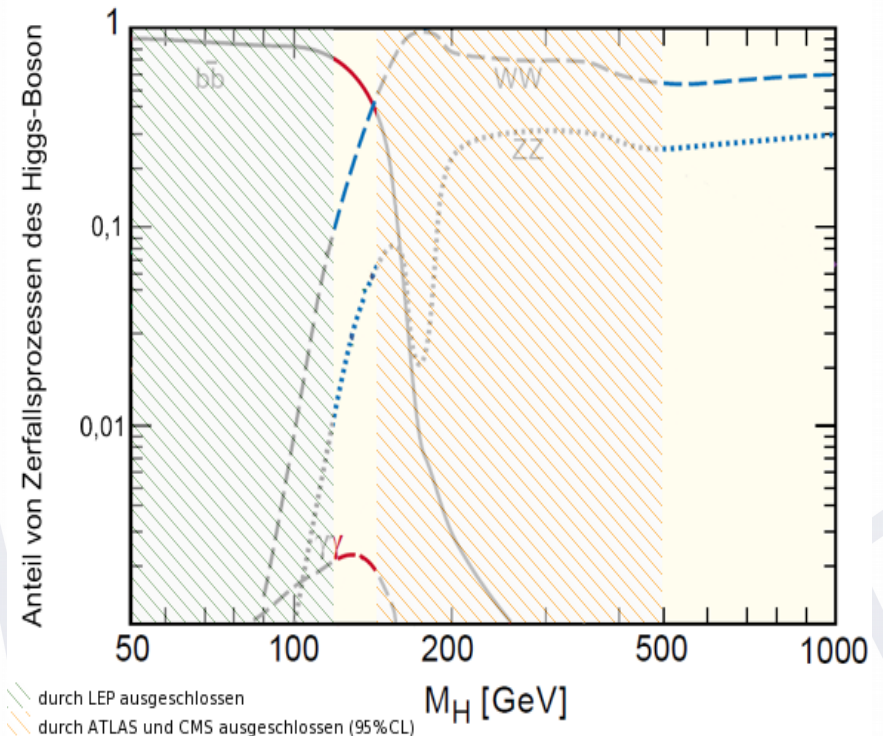
Bereiche möglicher Higgs-Kandidaten

Bereiche der Higgs-Massen, die vor der Entdeckung nicht durch Experimente "ausgeschlossen" wurden,

SM bevorzugt ein leichtes Higgs:

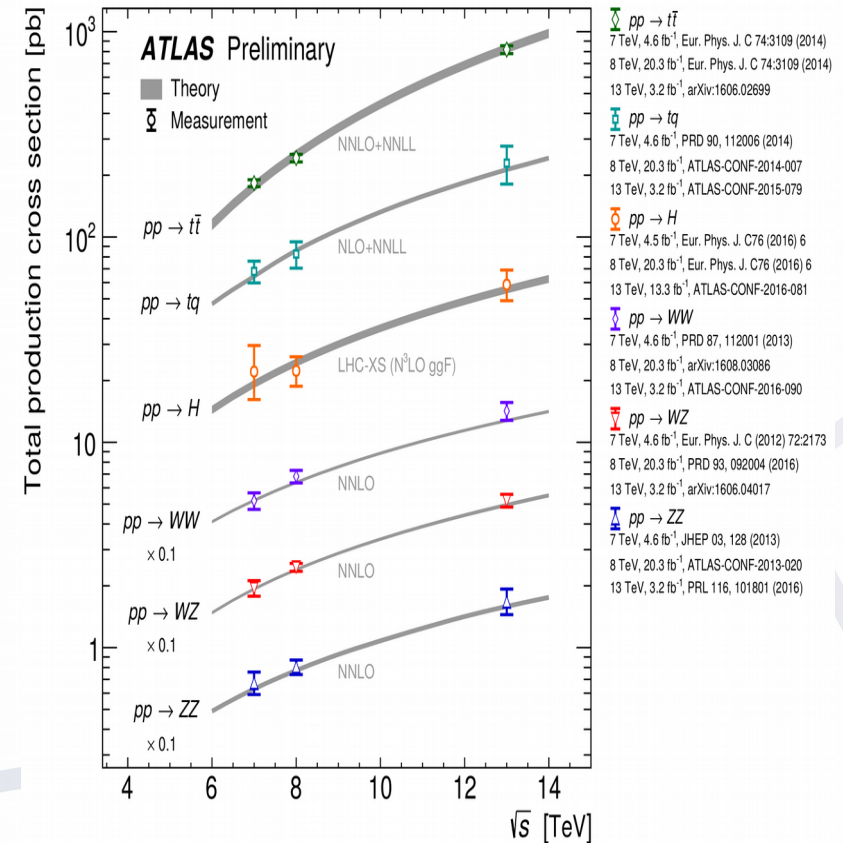
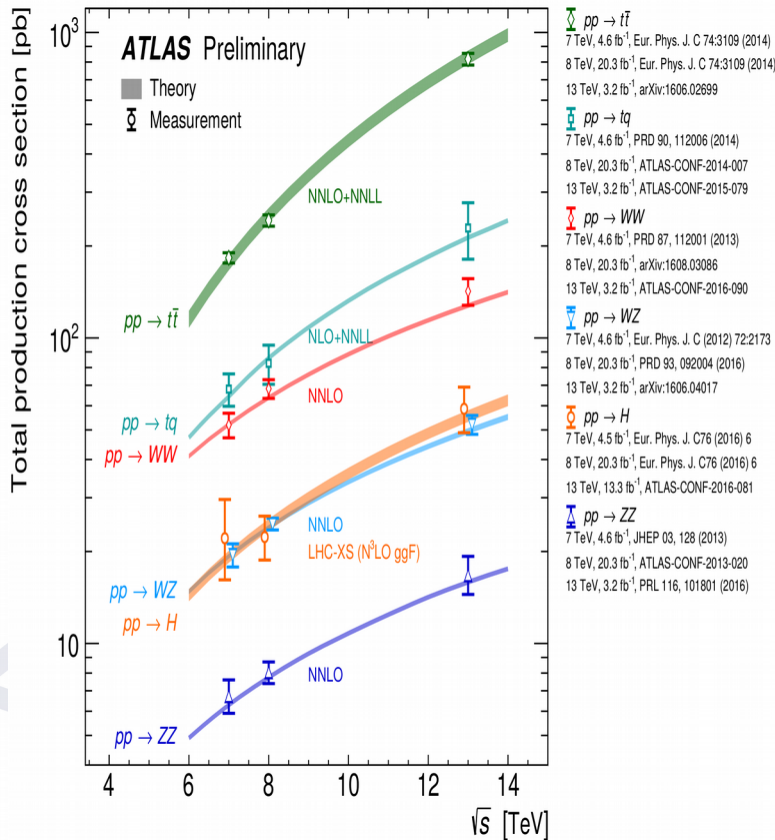
→ Schwierigster Bereich!

→ W- und Z-Bosonen wichtig für die Messung

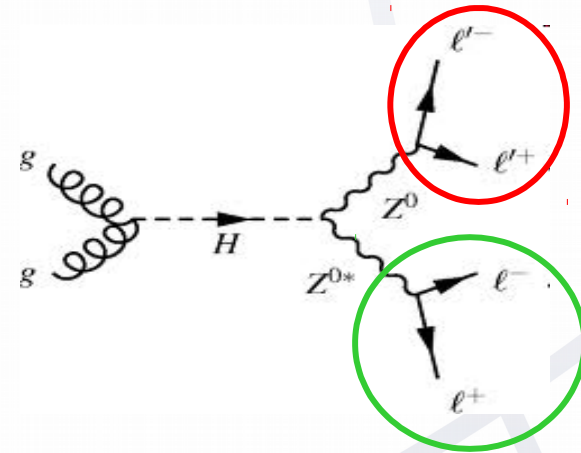
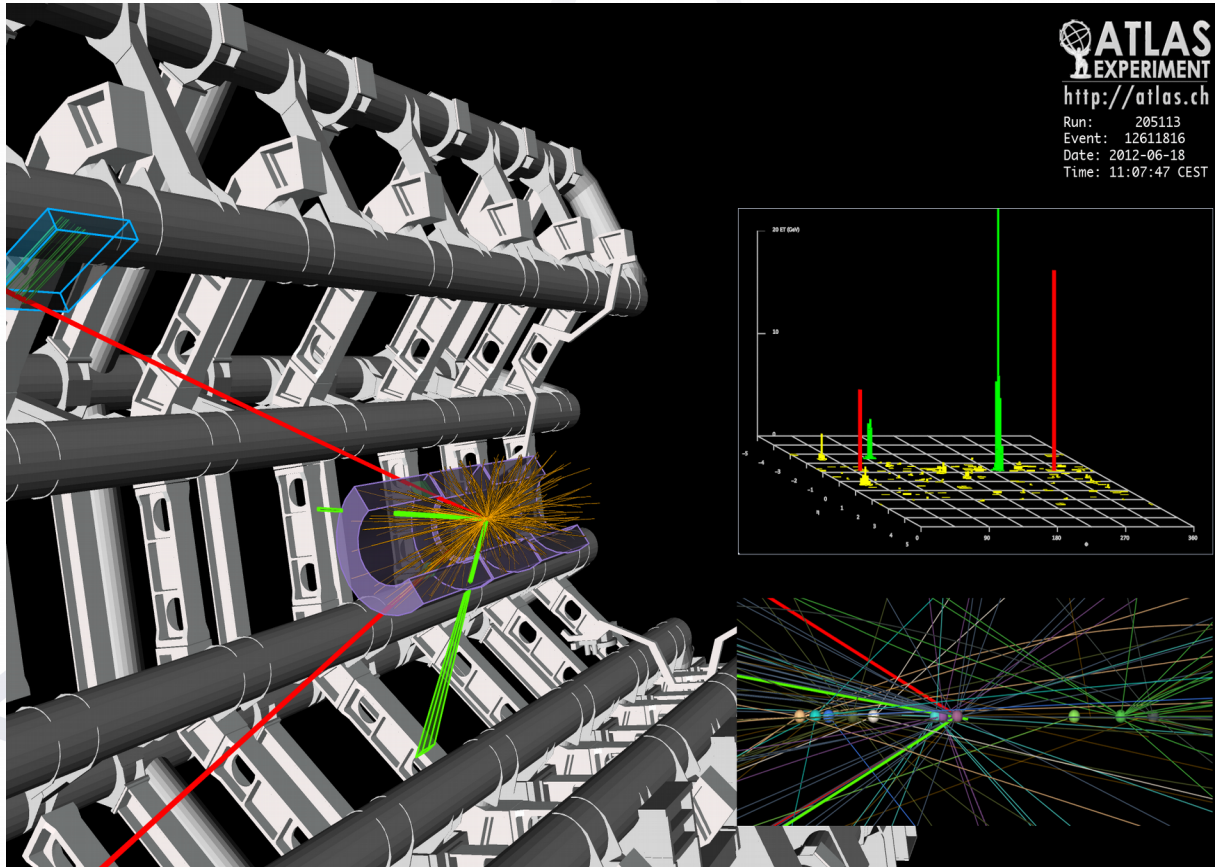


Vermessung des Standardmodells

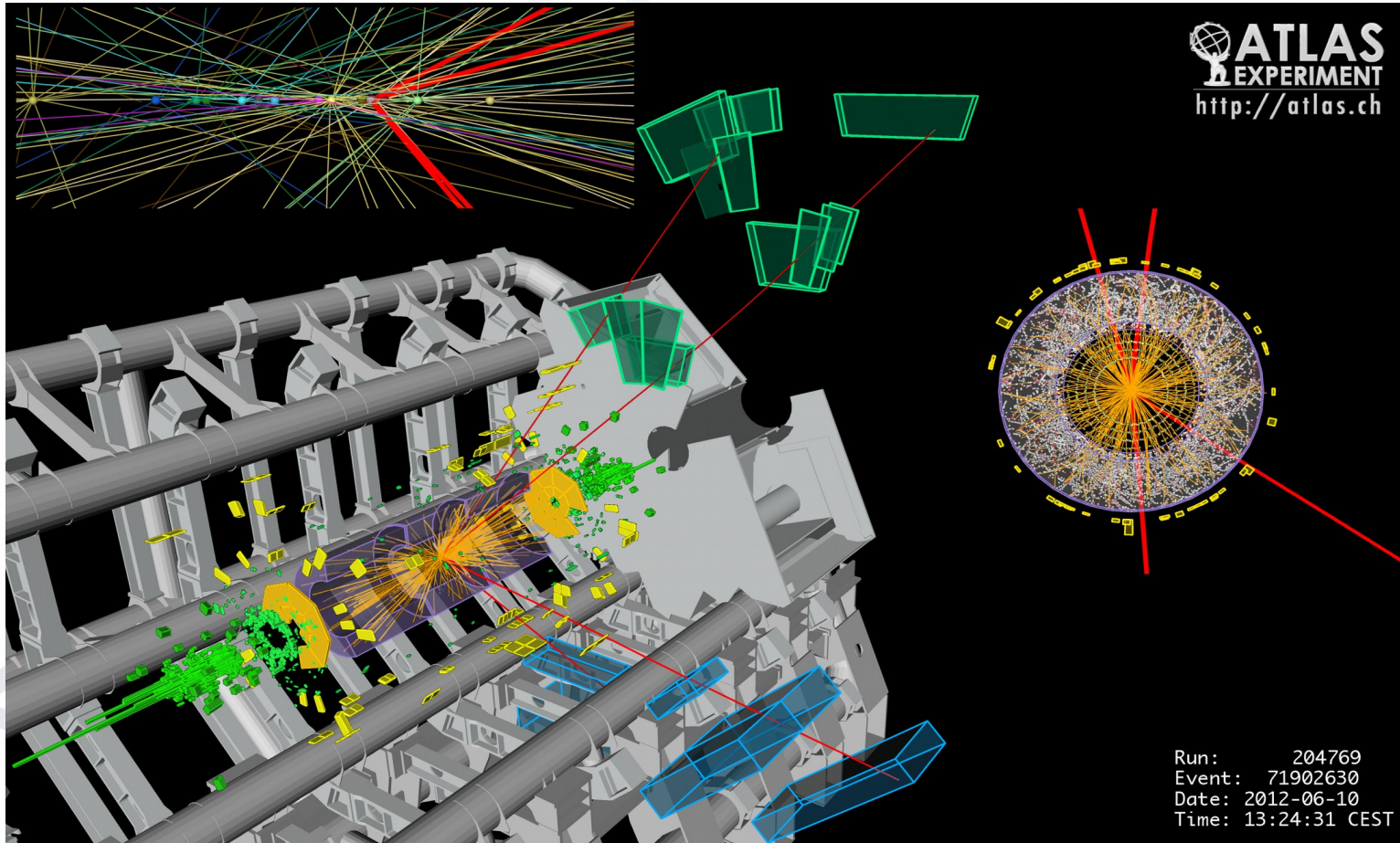
Alle Messungen sind in perfekter Übereinstimmung mit dem Standardmodell
 -> essentielle Voraussetzung für Suche nach neuer Physik



Higgs-Zerfall in zwei Z-Bosonen und in 4 Leptonen

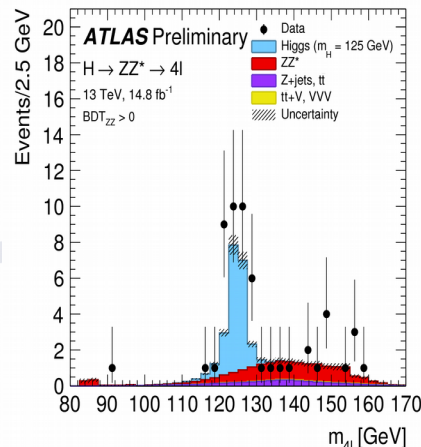
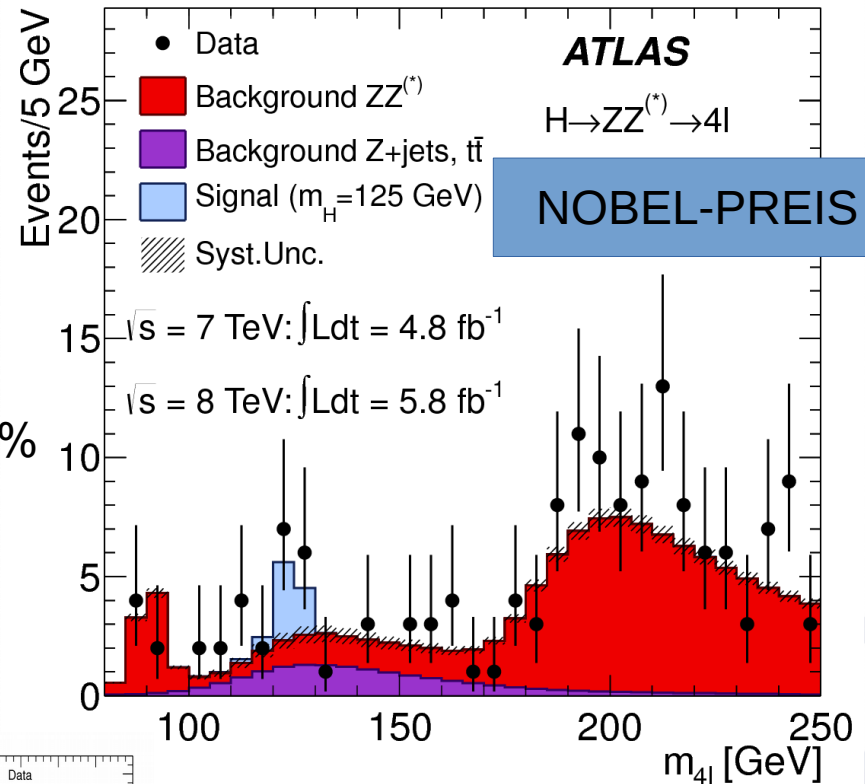


Zerfall in Higgs nach 4 Myon

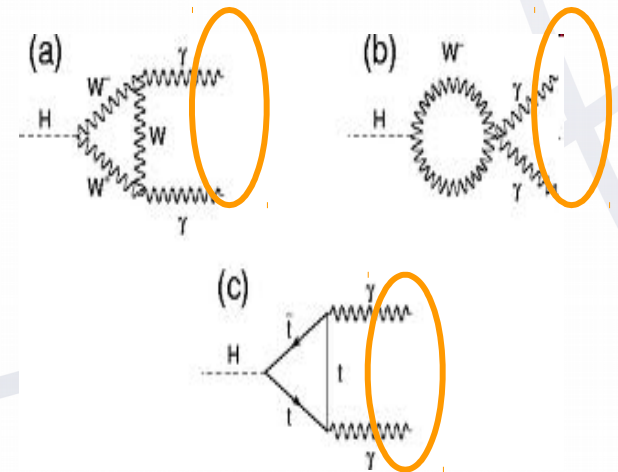
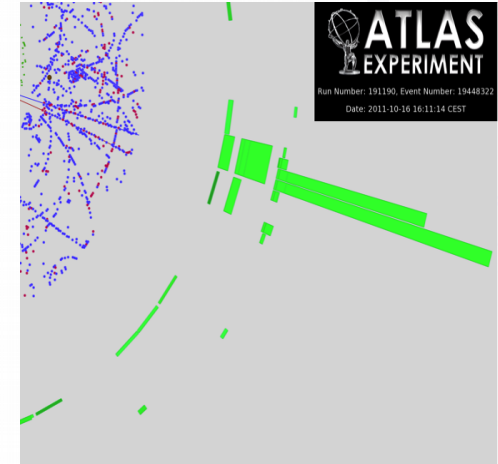
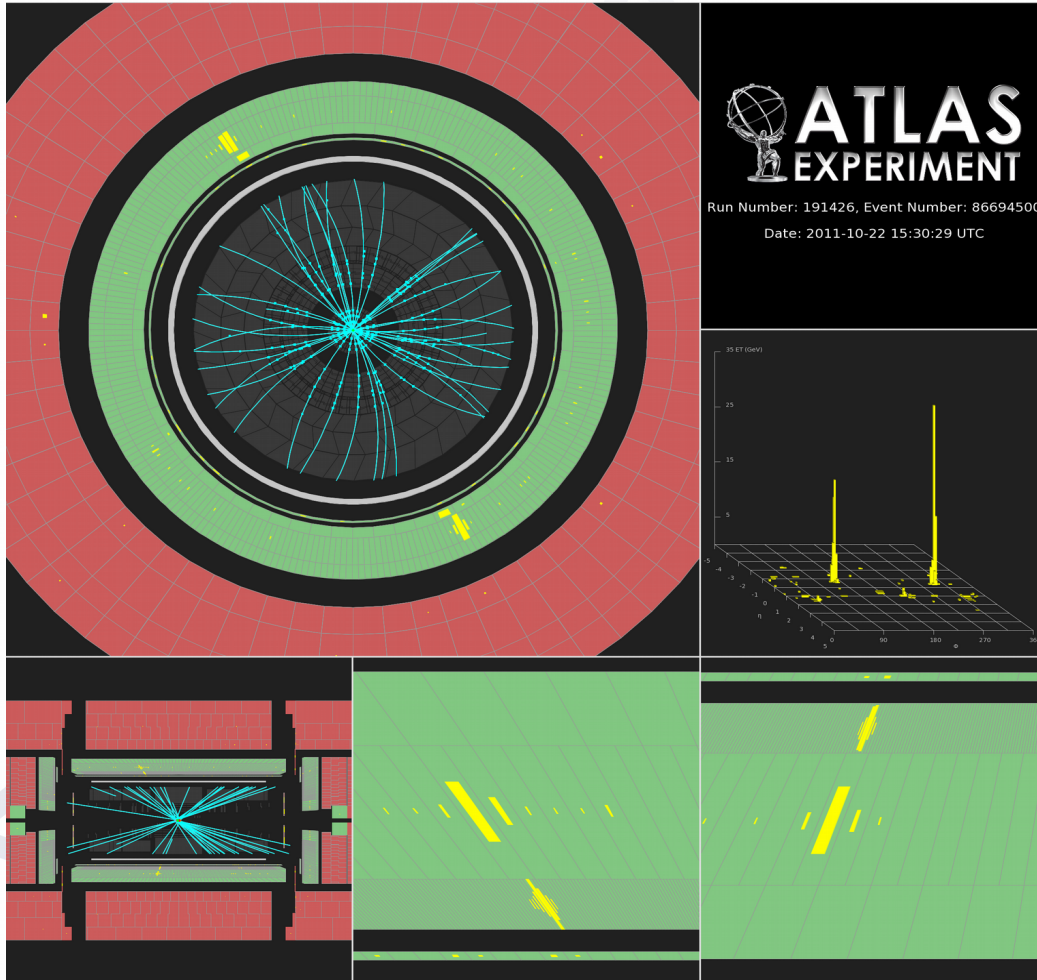


Resultate des 4 Lepton Kanales

- Messung der invarianten Masse von zwei Z-Bosonen im leptonischen Zerfall
- Anhäufung sichtbar bei einer Masse von 125,6 GeV
- Klare Trennung von Untergrundprozessen
- Zerfall des Higgs nach ca. 10-22 s
- Wahrscheinlichkeit für diesen Kanal: 0,013%
- In perfekter Übereinstimmung mit der Messung von 2012
- Sehr klare Signatur:
 - **Größtes Entdeckungspotential**

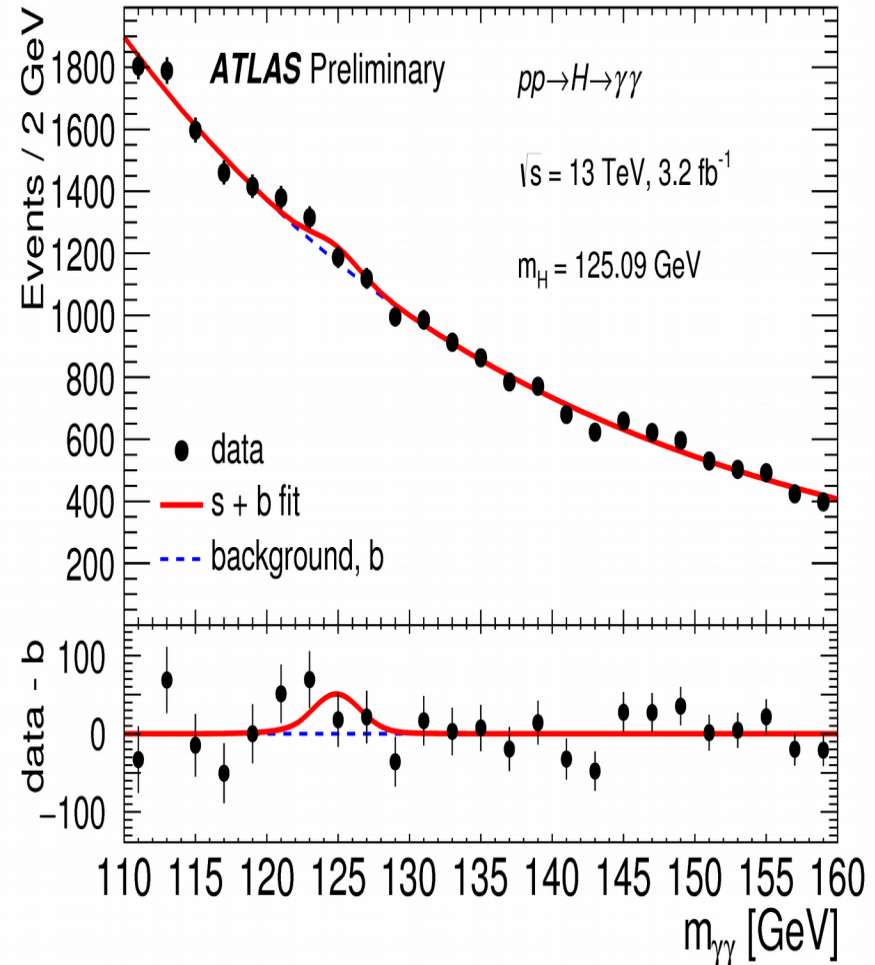


Higgs-Zerfall in zwei Photonen



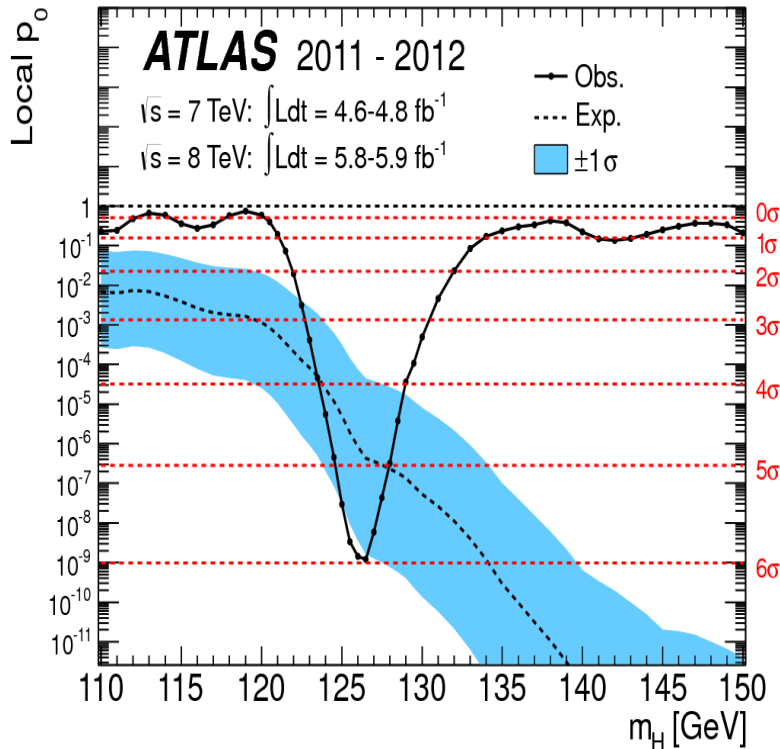
Resultat der Suche nach $H \rightarrow \gamma\gamma$

- Messung der invarianten Masse von zwei Photonen
- Anhäufung sichtbar bei einer Masse von 125,6 GeV
- Kompatibel mit den Resultaten anderer Kanäle
- Schwierig zu messender Kanal, aber sehr starker Hinweis
- Zerfallswahrscheinlichkeit: 0.2 %
- Stimmt perfekt mit der Messung von 2012 überein

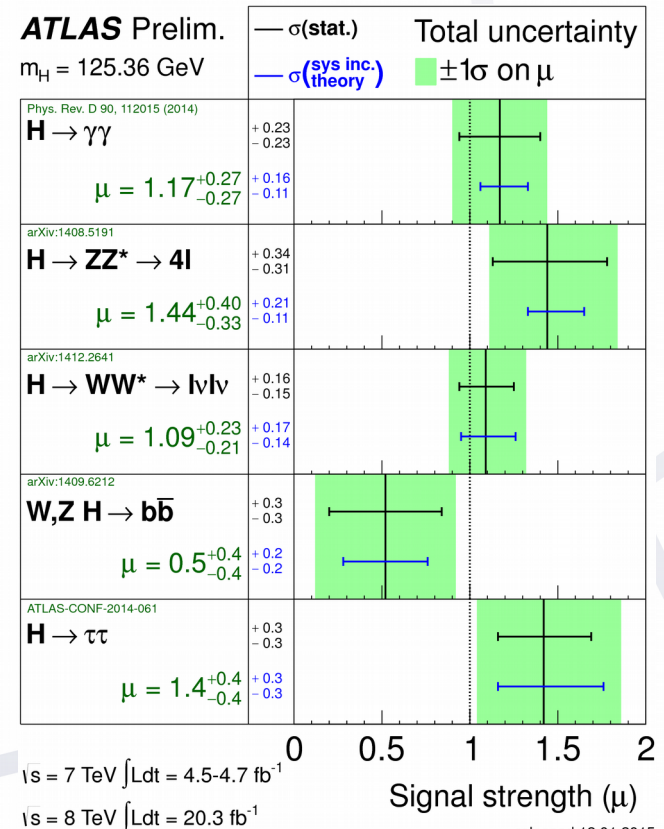


Das SM-Higgs ist eindeutig gefunden

Das “new Boson” ist ein Higgs! Das Higgs ist in den Daten bei 13 TeV bestätigt worden. Gibt es noch mehr Higgs-Bosonen → Hinweise auf neue Physik?

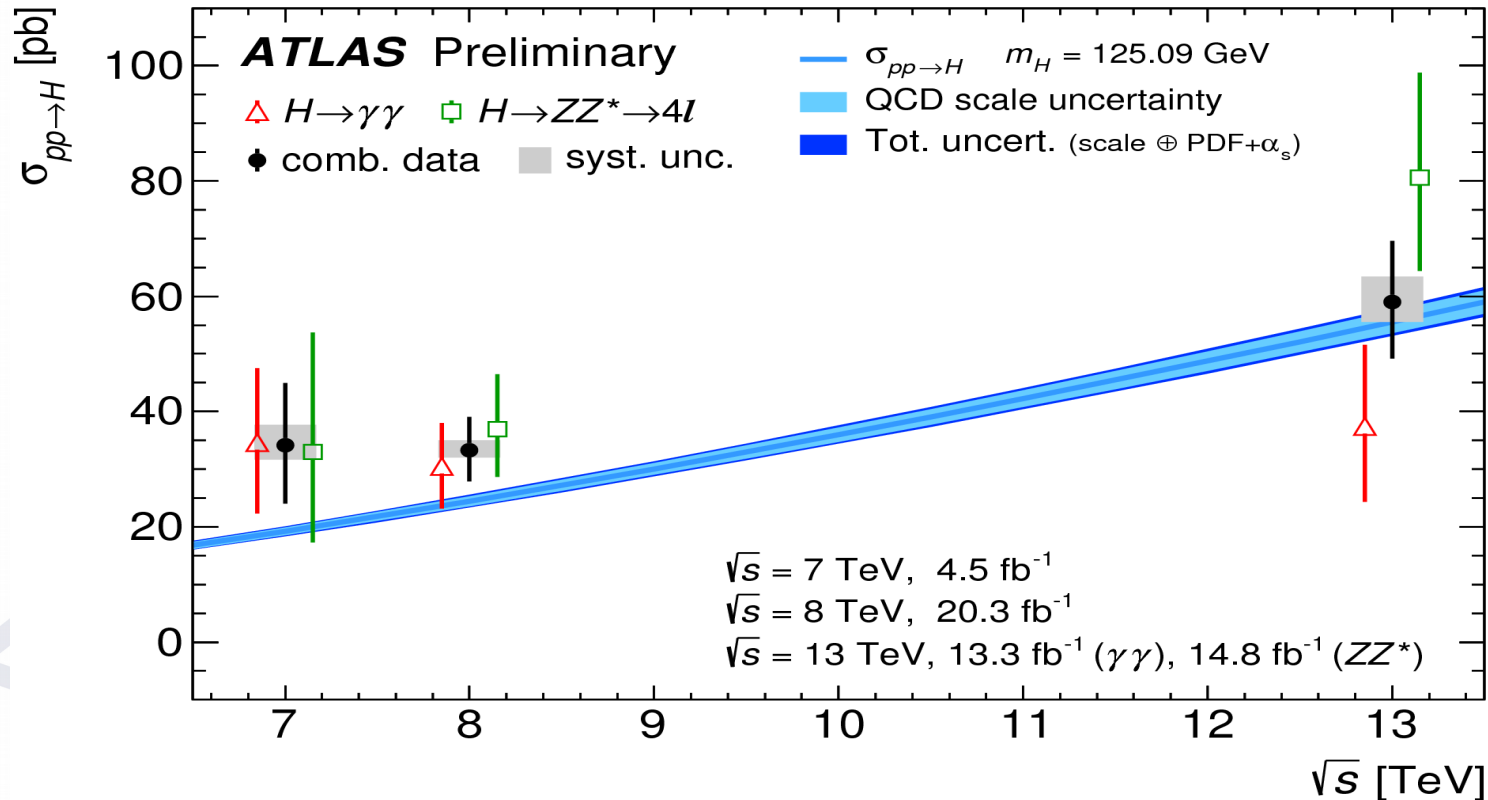


ATLAS Prelim.
 $m_H = 125.36 \text{ GeV}$



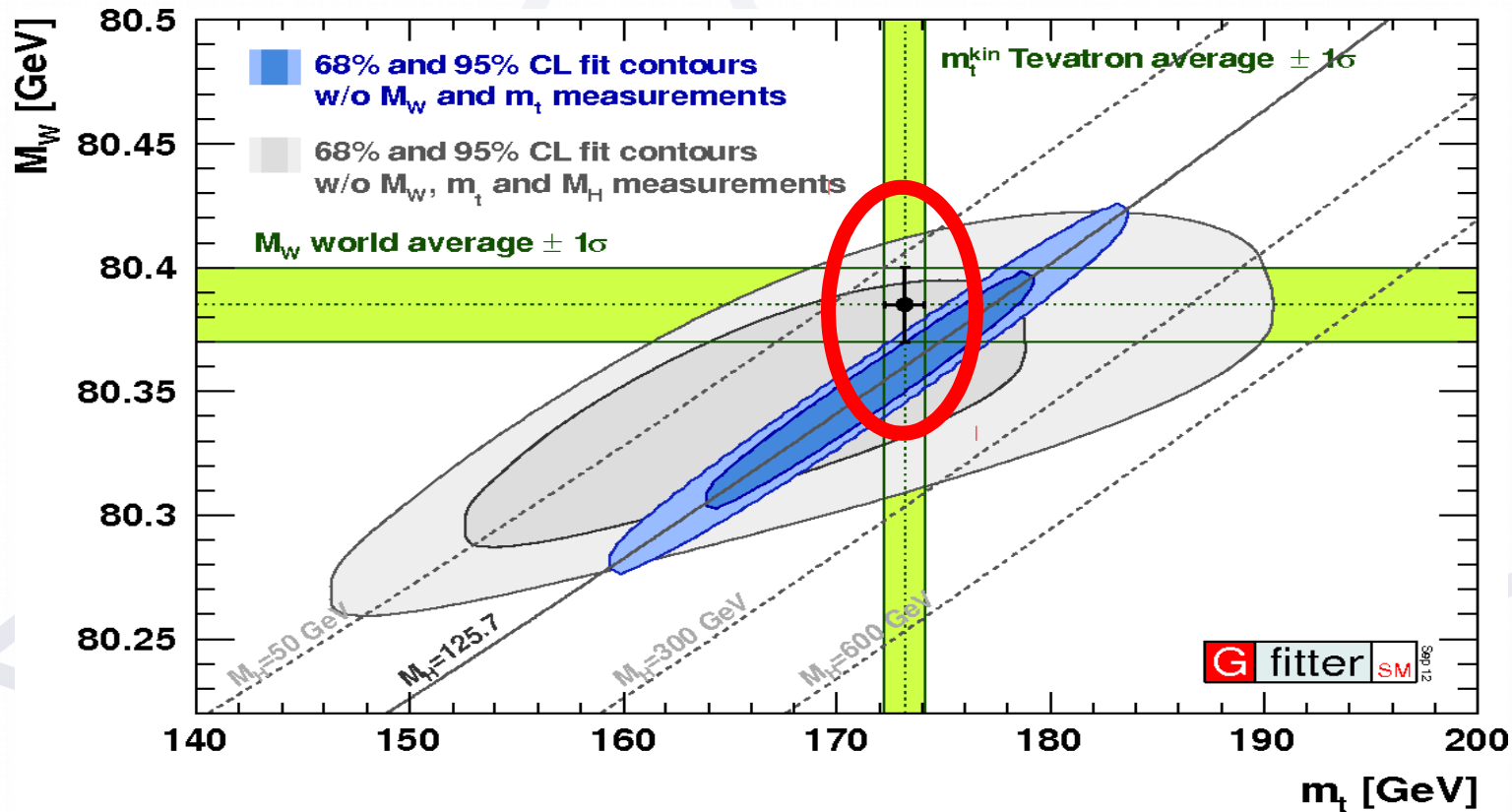
Beschreibung des Higgs im SM

Das Higgs-Boson ist Teil des Standardmodells und das SM kann das Higgs-Boson gut beschreiben



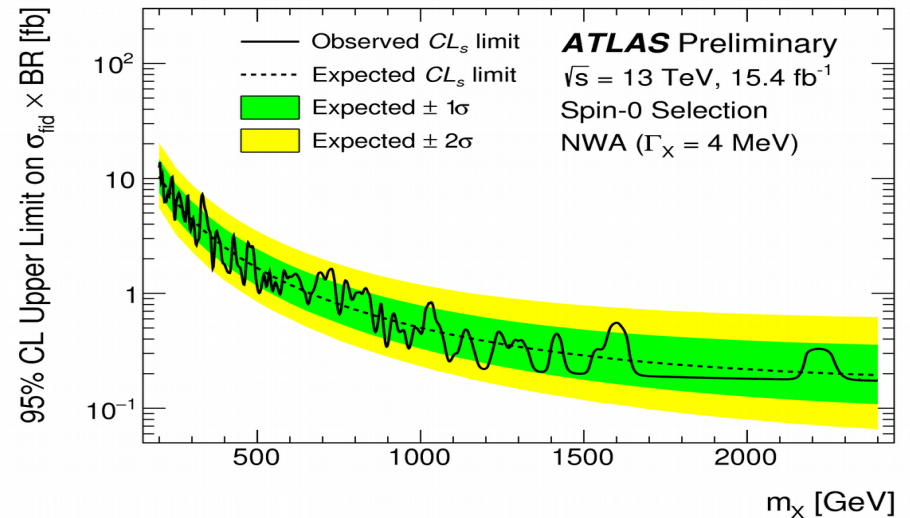
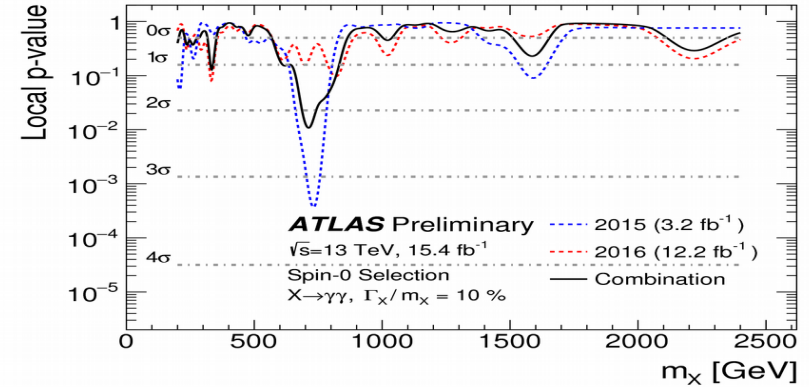
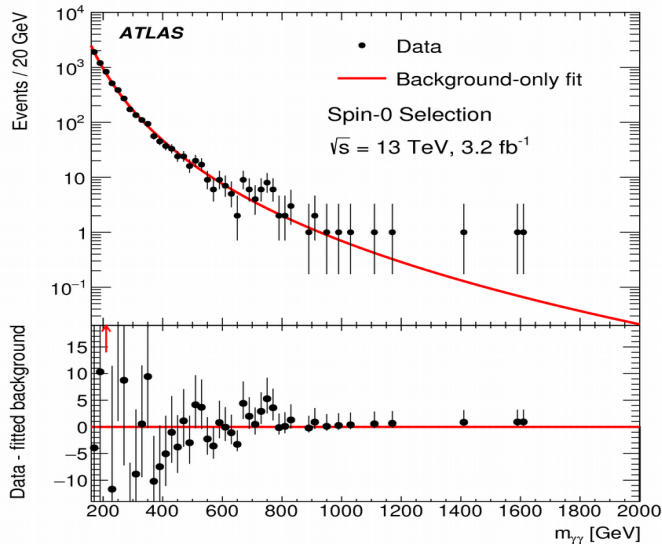
Messung W/top Masse im Vergleich zu Higgs-Masse

Spannung zwischen Theorie und Experiment



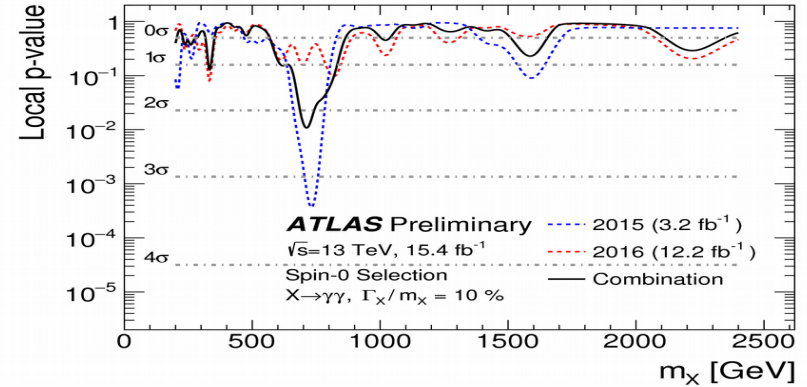
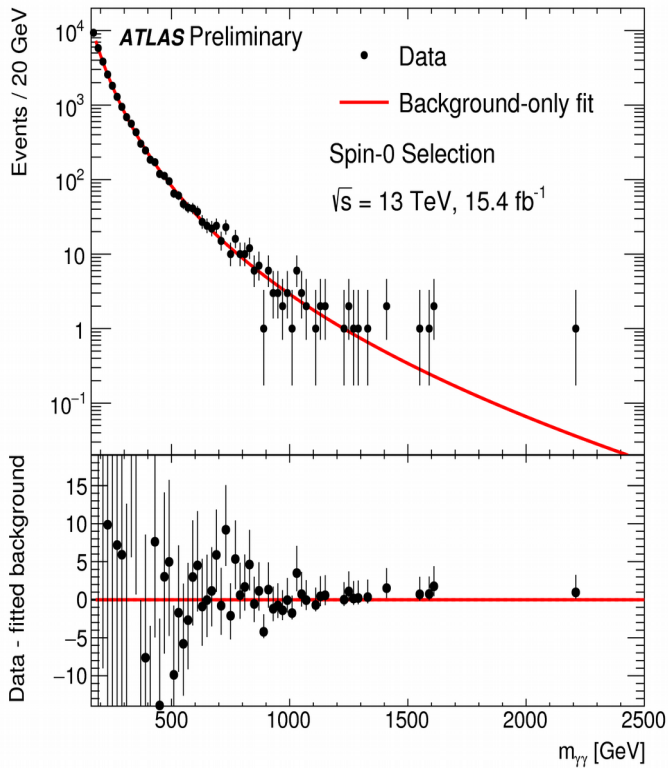
Di-Photon Search 2015

- Gleicher Zerfallskanal wie beim Higgs
- Suche bei höheren Massen
- Anzeichen eines Signales im Jahr 2015
- Extensive Studien zur Signifikanz
- Größer als eine statistische Schwankung
- Hinweis auf ein neues Teilchen??

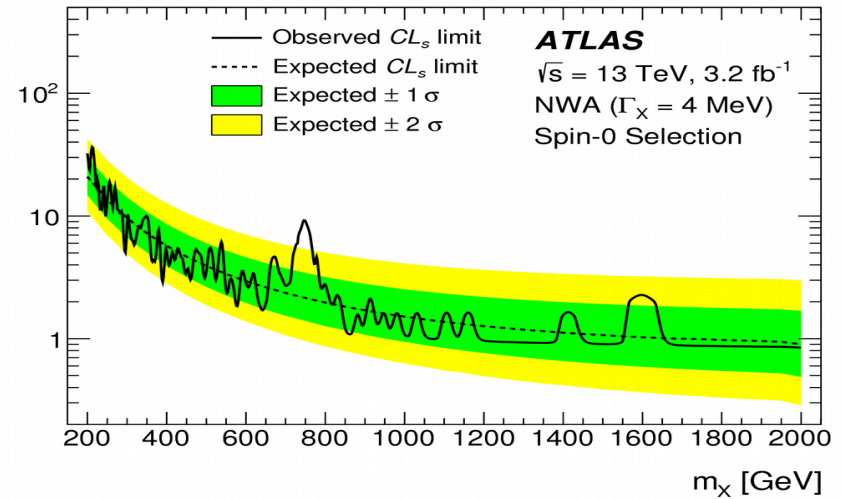


Gleiche Suche mit neuen Daten

- Signal hat sich leider nicht bestätigt
- ABER: ganz normale statistische Fluktuation



95% CL Upper Limit on $\sigma_{\text{fid}} \times \text{BR} [\text{fb}]$

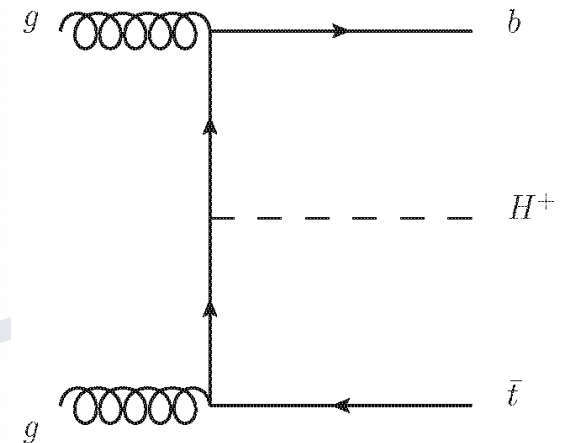
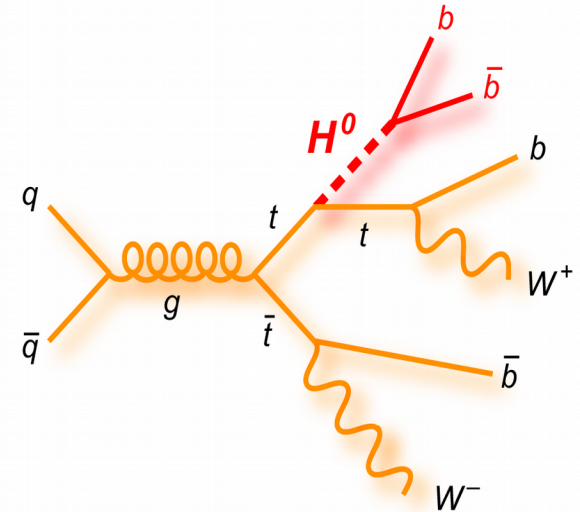


Physik jenseits des Standardmodells

- Ist das Standardmodell Higgs das einzige Higgs-artige Teilchen?
- Theorien für Physik jenseits des Standardmodells: Supersymmetrie

Postulation von 5 weiteren Higgs-Bosonen:

- 3 neutrale h^0, H^0, A^0
- 2 geladene H^\pm
- Messung der Kopplungsstärken hypothetischer supersymmetrischer Higgs-Bosonen
 - Möglich mit einer Genauigkeit von 5- 10% mit den Daten von 2012
 - Bestimmen von "Ausschlussgrenzen" an die Kopplungsstärken

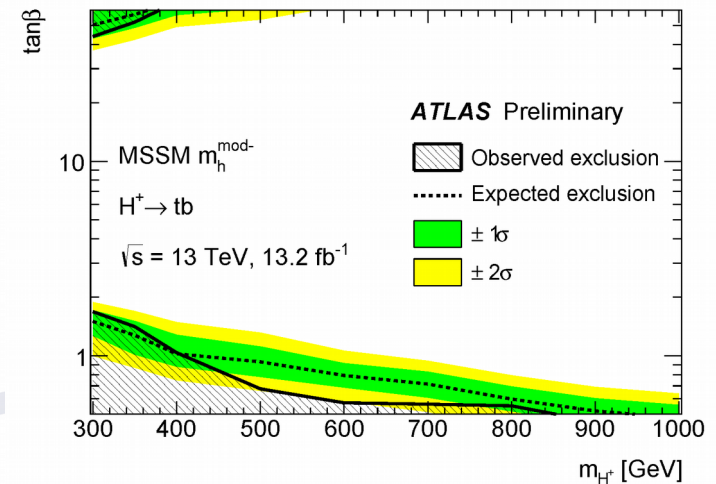
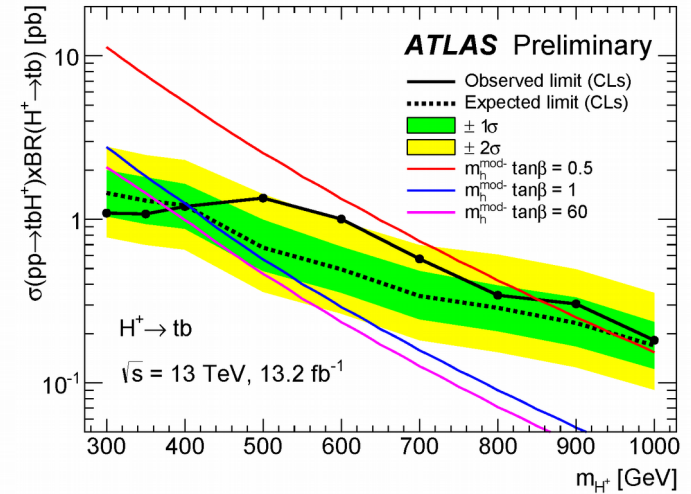
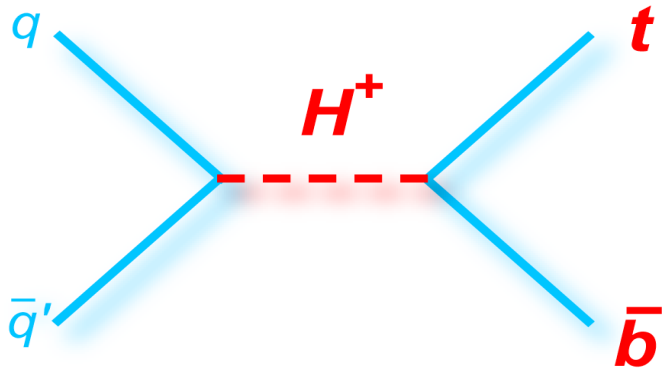


Suche nach neuen Teilchen: Higgs

Messung:

Obere Grenze an die Produktions-Wahrscheinlichkeit eines geladenen Higgs-Bosons als Funktion der hypothetischen Higgs-Masse

→ **Ausschlussverfahren**



Suchen nach unbekanntem Phänomenen

ATLAS SUSY Searches* - 95% CL Lower Limits

Status: August 2016

ATLAS Preliminary

$\sqrt{s} = 7, 8, 13 \text{ TeV}$

| Model | e, μ, τ, γ | Jets | E_{T}^{miss} | $\int \mathcal{L} d\epsilon [10^{-1}]$ | Mass limit | | Reference | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | $\sqrt{s} = 7, 8 \text{ TeV}$ | $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$ | | |
| Inclusive Searches | MSUGRA/CMSSM | 0-3 e, μ / 1-2 τ | 2-10 jets/3 h | Yes | 20.3 | \tilde{g}, \tilde{g} | 1.85 TeV $m(\tilde{g})=m(\tilde{g})$ | 1507.05525 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}$ | 0 | 2-6 jets | Yes | 13.3 | \tilde{g} | 1.35 TeV $m(\tilde{g}) < 200 \text{ GeV}, m[1^{\text{st}} \text{ gen. } \tilde{g}] = m[2^{\text{nd}} \text{ gen. } \tilde{g}]$ | ATLAS-CONF-2016-078 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}$ (compressed) | mono-jet | 1-3 jets | Yes | 3.2 | \tilde{g} | 608 GeV $m(\tilde{g}) - m(\tilde{g}_1^0) < 5 \text{ GeV}$ | 1804.07773 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}$ | 0 | 2-6 jets | Yes | 13.3 | \tilde{g} | 1.85 TeV $m(\tilde{g}_1^0) = 0 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2016-078 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g} \tilde{g}_1^0$ | 0 | 2-6 jets | Yes | 13.3 | \tilde{g} | 1.83 TeV $m(\tilde{g}_1^0) < 400 \text{ GeV}, m(\tilde{g}_2^0) = 0.5(m(\tilde{g}_1^0) + m(\tilde{g}_2^0))$ | ATLAS-CONF-2016-078 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g} \tilde{g}_1^0 \tilde{g}_1^0$ | 3 e, μ | 4 jets | - | 13.2 | \tilde{g} | 1.7 TeV $m(\tilde{g}_1^0) < 400 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2016-037 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g} \tilde{g}_1^0 \tilde{g}_1^0$ | 2 e, μ (SS) | 0-3 jets | Yes | 13.2 | \tilde{g} | 1.6 TeV $m(\tilde{g}_1^0) < 500 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2016-037 |
| | GMSB (\tilde{L} NLSP) | 1-2 $\tau + 0-1 \ell$ | 0-2 jets | Yes | 3.2 | \tilde{g} | 2.0 TeV $c\tau(\text{NLSP}) < 0.1 \text{ mm}$ | 1807.05079 |
| | GGM (bino NLSP) | 2 γ | - | Yes | 3.2 | \tilde{g} | 1.65 TeV $c\tau(\text{NLSP}) < 0.1 \text{ mm}, \mu < 0$ | 1806.09150 |
| | GGM (Higgsino-bino NLSP) | γ | 1 h | Yes | 20.3 | \tilde{g} | 1.37 TeV $m(\tilde{g}_1^0) < 950 \text{ GeV}, c\tau(\text{NLSP}) < 0.1 \text{ mm}, \mu < 0$ | 1507.05493 |
| GGM (Higgsino-bino NLSP) | γ | 2 jets | Yes | 13.3 | \tilde{g} | 1.8 TeV $m(\tilde{g}_1^0) > 880 \text{ GeV}, c\tau(\text{NLSP}) < 0.1 \text{ mm}, \mu > 0$ | ATLAS-CONF-2016-068 | |
| GGM (Higgsino NLSP) | 2 e, μ (Z) | 2 jets | Yes | 20.3 | \tilde{g} | 900 GeV $m(\text{NLSP}) > 430 \text{ GeV}$ | 1503.03290 | |
| Gravitino LSP | 0 | mono-jet | Yes | 20.3 | $\tilde{g}^{1/2}$ scale | 855 GeV $m(\tilde{G}) > 1.8 \times 10^{-4} \text{ eV}, m(\tilde{g}) = m(\tilde{g}) - 1.5 \text{ TeV}$ | 1502.01518 | |
| 3 rd gen. \tilde{t} med. | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{t}\tilde{t} \tilde{g}_1^0$ | 0 | 3 h | Yes | 14.8 | \tilde{g} | 1.89 TeV $m(\tilde{g}_1^0) = 0 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2016-052 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{t}\tilde{t} \tilde{g}_1^0$ | 0-1 e, μ | 3 h | Yes | 14.8 | \tilde{g} | 1.89 TeV $m(\tilde{g}_1^0) = 0 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2016-052 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{t}\tilde{t} \tilde{g}_1^0$ | 0-1 e, μ | 3 h | Yes | 20.1 | \tilde{g} | 1.37 TeV $m(\tilde{g}_1^0) < 300 \text{ GeV}$ | 1407.06800 |
| 3 rd gen. squarks direct production | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 0 | 2 h | Yes | 3.2 | \tilde{t}_1 | 840 GeV $m(\tilde{t}_1^0) < 100 \text{ GeV}$ | 1806.08772 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 2 e, μ (SS) | 1 h | Yes | 13.2 | \tilde{t}_1 | 325-685 GeV $m(\tilde{t}_1^0) < 150 \text{ GeV}, m(\tilde{t}_1^0) = m(\tilde{t}_1^0) + 100 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2016-037 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 0-2 e, μ | 1-2 h | Yes | 4.7/13.3 | \tilde{t}_1 | 172-170 GeV 200-720 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = 2m(\tilde{t}_1^0), m(\tilde{t}_1^0) \leq 55 \text{ GeV}$ | 1209.2102, ATLAS-CONF-2016-077 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ or $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1$ | 0-2 e, μ | 0-2 jets/1-2 h | Yes | 4.7/13.3 | \tilde{t}_1 | 90-198 GeV 205-850 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = 1 \text{ GeV}$ | 1508.08616, ATLAS-CONF-2016-077 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 0 | mono-jet | Yes | 3.2 | \tilde{t}_1 | 90-323 GeV $m(\tilde{t}_1^0) - m(\tilde{g}_1^0) = 5 \text{ GeV}$ | 1804.07773 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1$ (natural GMSB) | 2 e, μ (Z) | 1 h | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 150-600 GeV $m(\tilde{t}_1^0) > 150 \text{ GeV}$ | 1403.5222 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 + Z$ | 3 e, μ (Z) | 1 h | Yes | 13.3 | \tilde{t}_1 | 290-700 GeV $m(\tilde{t}_1^0) < 300 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2016-038 |
| $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 + h$ | 1 e, μ | 6 jets + 2 h | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 320-620 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = 0 \text{ GeV}$ | 1506.08616 | |
| EW direct | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 2 e, μ | 0 | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 90-335 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = 0 \text{ GeV}$ | 1403.5294 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 2 e, μ | 0 | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 140-475 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = 0 \text{ GeV}, m(\tilde{t}_1^0) = 0.5(m(\tilde{t}_1^0) + m(\tilde{t}_2^0))$ | 1403.5294 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 2 τ | - | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 355 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = 0 \text{ GeV}, m(\tilde{t}_1^0) = 0.5(m(\tilde{t}_1^0) + m(\tilde{t}_2^0))$ | 1407.0350 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0, \tilde{t}_1 \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 3 e, μ | - | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 715 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = m(\tilde{t}_1^0), m(\tilde{t}_1^0) = 0, m(\tilde{t}_1^0) = 0.5(m(\tilde{t}_1^0) + m(\tilde{t}_2^0))$ | 1402.7029 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0, \tilde{t}_1 \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 2-3 e, μ | 0-2 jets | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 425 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = m(\tilde{t}_1^0), m(\tilde{t}_1^0) = 0, \tilde{L}$ decoupled | 1403.5294, 1402.7029 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0, \tilde{t}_1 \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | e, μ, γ | 0-2 h | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 270 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = m(\tilde{t}_1^0), m(\tilde{t}_1^0) = 0, \tilde{L}$ decoupled | 1501.07110 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0, \tilde{t}_1 \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 4 e, μ | 0 | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 635 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = m(\tilde{t}_1^0), m(\tilde{t}_1^0) = 0, \tilde{L}$ decoupled | 1405.5068 |
| | GGM (wino NLSP) weak prod. | 1 $e, \mu + \gamma$ | - | Yes | 20.3 | \tilde{W} | 115-370 GeV $m(\tilde{W}) < 1 \text{ mm}$ | 1507.05493 |
| | GGM (bino NLSP) weak prod. | 2 γ | - | Yes | 20.3 | \tilde{W} | 590 GeV $c\tau < 1 \text{ mm}$ | 1507.05493 |
| | Long-lived particles | Direct $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1$ prod., long-lived \tilde{t}_1 | Disapp. trk | 1 jet | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 270 GeV $m(\tilde{t}_1^0) - m(\tilde{g}_1^0) = 180 \text{ MeV}, \tau(\tilde{t}_1^0) = 0.2 \text{ ns}$ |
| Direct $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1$ prod., long-lived \tilde{t}_1 | | dEIdx trk | - | Yes | 18.4 | \tilde{t}_1 | 495 GeV $m(\tilde{t}_1^0) - m(\tilde{g}_1^0) = 180 \text{ MeV}, \tau(\tilde{t}_1^0) < 15 \text{ ns}$ | 1506.05392 |
| Stable, stopped \tilde{g} R-hadron | | 0 | 1-5 jets | Yes | 3.2 | \tilde{g} | 850 GeV $m(\tilde{g}_1^0) = 100 \text{ GeV}, 10 \mu\text{s} < c\tau(\tilde{g}) < 1000 \text{ s}$ | 1310.6584 |
| Stable \tilde{g} R-hadron | | trk | - | - | - | \tilde{g} | 1.58 TeV $m(\tilde{g}_1^0) = 100 \text{ GeV}, \tau > 10 \text{ ns}$ | 1806.05129 |
| Metastable \tilde{g} R-hadron | | dEIdx trk | - | - | - | \tilde{g} | 1.37 TeV $m(\tilde{g}_1^0) = 100 \text{ GeV}, \tau > 10 \text{ ns}$ | 1804.04520 |
| GMSB, stable $\tilde{g}, \tilde{g}_1^0 \rightarrow \tilde{g}(\tilde{g}_1^0) + \tau(\tilde{g}_1^0) + \tau(\tilde{g}_1^0, \mu)$ | | 1-2 μ | - | - | - | \tilde{g} | 537 GeV $10 < \ln(\tau/\text{s}) < 50$ | 1411.6795 |
| GMSB, $\tilde{g}_1^0 \rightarrow \tilde{g}, \tilde{g}_1^0$ long-lived \tilde{g}_1^0 | | 2 γ | - | Yes | 20.3 | \tilde{g} | 440 GeV $1 < c\tau(\tilde{g}_1^0) < 3 \text{ ns}, \text{SPSB model}$ | 1409.5542 |
| $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g} \tilde{g}_1^0 \tilde{g}_1^0$ | | displ. $e\ell/\mu\mu\tau$ | - | - | - | \tilde{g} | 1.0 TeV $6 < c\tau(\tilde{g}_1^0) < 740 \text{ mm}, m(\tilde{g}) = 1.3 \text{ TeV}$ | 1504.05182 |
| GGM $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow Z\tilde{g}$ | | displ. vtx + jets | - | - | - | \tilde{g} | 1.0 TeV $7 < c\tau(\tilde{g}_1^0) < 480 \text{ mm}, m(\tilde{g}) \geq 1.1 \text{ TeV}$ | 1504.05182 |
| RPV | | LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_\tau + X, \tilde{\nu}_\tau \rightarrow e\mu/\tau/\mu/\tau$ | $e\mu/\tau/\mu/\tau$ | - | - | - | $\tilde{\nu}_\tau$ | 1.9 TeV $A_{111} = 0.11, A_{122}/A_{133} = 0.07$ |
| | Bilinear RPV CMSSM | 2 e, μ (SS) | 0-3 h | Yes | 20.3 | \tilde{g}, \tilde{g} | 1.45 TeV $m(\tilde{g}) = m(\tilde{g}), c\tau_{200} < 1 \text{ mm}$ | 1404.2500 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 4 e, μ | - | Yes | 13.3 | \tilde{t}_1 | 1.14 TeV $m(\tilde{t}_1^0) > 400 \text{ GeV}, A_{122} \neq 0 (k = 1, 2)$ | ATLAS-CONF-2016-075 |
| | $\tilde{t}_1 \tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0, \tilde{t}_1 \rightarrow \tilde{t}_1 \tilde{g}_1^0$ | 3 $e, \mu + \tau$ | - | Yes | 20.3 | \tilde{t}_1 | 450 GeV $m(\tilde{t}_1^0) = 0.2m(\tilde{t}_1^0), A_{122} \neq 0$ | 1405.5068 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}$ | 0 | 4-5 large- R jets | - | 14.8 | \tilde{g} | 1.08 TeV $\text{BR}(\tilde{g} \rightarrow \text{BR}) = \text{BR}(\tilde{g} \rightarrow \tau) = 0\%$ | ATLAS-CONF-2016-057 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}$ | 0 | 4-5 large- R jets | - | 14.8 | \tilde{g} | 1.35 TeV $m(\tilde{g}_1^0) = 80 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2016-057 |
| | $\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g} \rightarrow \tilde{g}\tilde{g}$ | 2 e, μ (SS) | 0-3 h | Yes | 13.2 | \tilde{g} | 1.3 TeV $m(\tilde{g}_1^0) < 750 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2016-037 |
| Other | Scalar charm, $\tilde{c} \rightarrow \tilde{c} \tilde{g}_1^0$ | 0 | 2 c | Yes | 20.3 | \tilde{c} | 410 GeV 450-510 GeV $\text{BR}(\tilde{c} \rightarrow \text{BR}) > 20\%$ | ATLAS-CONF-2016-022, ATLAS-CONF-2016-084 |
| | | | | | | \tilde{c} | 0.4-1.0 TeV $m(\tilde{c}_1^0) < 200 \text{ GeV}$ | ATLAS-CONF-2015-015 |

*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown.

10⁻¹ 1 Mass scale [TeV]



Ausblick

Entdeckung des Higgs ist ein Meilenstein der Physik

- Erfolgreiche Datennahme von 2010 – 2012 und 2015 – 2016
- Wesentliche Resultate der Analysen von 2011 / 2012
- Entdeckung des Higgs-Bosons bei ~ 126 GeV
- Standardmodell exzellent bestätigt in vielen Aspekten
- keine Anzeichen für Physik jenseits des Standardmodells
- Viele Modelle konnten ausgeschlossen bzw. eingegrenzt werden

Ziele für 2015 - 2017

- Eingehendes Untersuchen der Eigenschaften des Higgs-Bosons
- Präzisionsmessung der Parameter des Standardmodells
- Messung von Ausschlussgrenzen für “neue Physik”
- Suche nach neuen Teilchen
- Wegweisende Resultate für die Zukunft unabhängig von den Resultaten

Run3: Luminositätsverdopplung, ttH

Nächster Upgrade 2025:

- nächste Ausbaustufe zu höheren Strahlintensitäten
- Upgrade der Detektor- und Datennahme-Technologien

Es bleibt unglaublich spannend!

