# Messung von Spin und Parität des Higgs-Bosons im Kanal $pp \rightarrow H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ mit dem ATLAS-Detektor

#### Katharina Ecker, Oliver Kortner

Max-Planck-Institut für Physik

DPG 2014 (24.-28.03. 2014, Mainz)









 Kleines Verzweigungsverhältnis, aber klare Signal Signatur!

Higgs decays at m<sub>H</sub>=125GeV



- Die vier Endzustandsleptonen können vollständig kinematisch rekonstruiert werden:
  - $\Rightarrow$   $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  Kanal bestens für Spin- und Paritätsmessung geeignet

- Signifikanz von Signal über Untergrund 6.6 σ
- Standardmodell Signal Stärke:  $\mu = 1.7^{+0.5}_{-0.4}$
- Masse in  $H \to ZZ^* \to 4\ell$ :  $m_H = 124.3^{+0.6}_{-0.5} \text{ (stat)} \stackrel{+0.5}{_{-0.3}} \text{ (sys)} \text{ GeV}$
- ATLAS kombinierter Wert:  $m_H = 125.5 \pm 0.2 \text{ (stat)} \stackrel{+0.5}{-0.6} \text{ (sys)} \text{ GeV}$



ATLAS-CONF-2013-013

- Für Messung von Spin- und Parität *J*<sup>*P*</sup> werden Ereignisse der Standardselektion im Massenbereich [115, 130] GeV berücksichtigt
- Sieben Variablen für Messung:
  - Fünf  $J^P$ -sensitive Productions- und Helizitätswinkel  $\theta^*, \Phi_1, \theta_1, \theta_2, \Phi$
  - Massen der zwei Z-Bosonen m<sub>12</sub> und m<sub>34</sub> zur Untergrundunterscheidung



- Berücksichtigung von Korrelationen durch multivariate Analyse
  - Boosted Decision Tree (BDT)
  - 2 Matrix Element Likelihood Analysis (MELA)

Relevante Winkelverteilungen: Produktionswinkel

• Winkelverteilungen für  $pp \rightarrow X \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell \mid \text{mit } J(X) = 0, 1, 2$ 



- Die Produktionswinkel sind abhängig vom Produktionsmechanismus  $gg \rightarrow X$  oder  $q\bar{q} \rightarrow X$
- Verteilungen sind flach für J(X) = 0



Relevante Winkelverteilungen: Produktionswinkel

• Winkelverteilungen für  $pp \rightarrow X \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  mit J(X) = 0, 1, 2





- Die Produktionswinkel sind abhängig vom Produktionsmechanismus  $gg \rightarrow X$  oder  $q\bar{q} \rightarrow X$
- Verteilungen sind flach für J(X) = 0



Relevante Winkelverteilungen: Helizitätswinkel

• Winkelverteilungen für  $pp \rightarrow X \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell \mid \text{mit } J(X) = 0, 1, 2$ 



ATLAS-CONF-2013-013



Relevante Winkelverteilungen: Helizitätswinkel

• Winkelverteilungen für  $pp \rightarrow X \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell \mid \text{mit } J(X) = 0, 1, 2$ 



ATLAS-CONF-2013-013



Relevante Winkelverteilungen: Helizitätswinkel

• Winkelverteilungen für  $pp \rightarrow X \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell \mid \text{mit } J(X) = 0, 1, 2$ 





Relevante Winkelverteilungen: Helizitätswinkel

• Winkelverteilungen für  $pp \rightarrow X \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell \mid \text{mit } J(X) = 0, 1, 2$ 





- Spin- und Paritätshypothesen Test:
  - Die Standardmodell (SM) Annahme  $J^P = 0^+$  wird mit anderen  $J^P$ -Hypothesen verglichen:  $J^P = 0^-, 1^+, 1^-, 2_m^+, 2^-$
  - J = 1: Verboten durch  $H \to \gamma \gamma$  wegen Landau-Yang Theorem (Spin 1 Boson kann nicht in zwei masselose Spin 1 Bosonen zerfallen)
    - $\rightarrow$  Wird zur Vollständigkeit getestet
  - J = 2: Große Anzahl an Modellen
    - $\rightarrow$  Modell mit minimalen Kopplungen zu SM-Teilchen und einer Graviton Tensor Struktur  $2_m^+$  wird getestet
- 2 CP-mixing Analyse:
  - Mögliche Mischung von Quantenzahlen CP-gerade und CP-ungerade des Higgsbosons wird untersucht
  - Für diese Messung ist mehr Statistik notwendig als im Datensatz 2012 vorhanden → Relevant für den nächsten Large Hadron Collider Run in 2015

#### Spin- und Paritätsmessung: Hypothesentest

- Test von SM  $J^P = 0^+$  gegen  $J^P = 0^-, 1^+, 1^-, 2_m^+, 2^-$
- Beispiel: Vergleich SM-Annahme von skalarem Boson  $J^P = 0^+$  zu pseudoskalarem Boson  $J^P = 0^-$  mit BDT Analyse



 $\Rightarrow J^P = 0^-$  Hypothese ausgeschlossen mit 97.8% CL gegen SM 0<sup>+</sup> Hypothese

#### Spin- und Paritätsmessung: Hypothesentest

Abhängigkeit vom Produktionsmechanismus

#### • Produktionswinkel $\cos \theta^*$ und $\Phi_1$ abhängig von Produktion $gg \to X$ oder $q\bar{q} \to X$ :

 $\begin{array}{ll} J(X) = 0: & \cos \theta^* \mbox{ und } \Phi_1 \mbox{ flach für Spin } 0 \\ J(X) = 1: & 100\% \ q \bar{q} \rightarrow X \mbox{ Produktion} \\ & (gg \rightarrow X \mbox{ verboten wegen Landau-Yang Theorem)} \\ J(X) = 2: & gg \rightarrow X \mbox{ und } q \bar{q} \rightarrow X \mbox{ Produktion möglich} \end{array}$ 

Produktion nicht relevant

Produktion relevant für J<sup>P</sup>-Messung

#### Variation von Anteil an $q\bar{q} \rightarrow X$ Produktion von Spin 2 Teilchen:



- $\ln H \to ZZ^* \to 4\ell$ :
  - ⇒ Erwartete Separation SM  $0^+$  zu  $2_m^+$ unabhängig von Spin 2 Produktion
- Dies ist nicht der Fall in anderen Zerfallskanälen

$SMJ^P=0^+$	$J^{p}$ ausgeschl. m. CL [%]	
Test mit J <sup>P</sup>	BDT	MELA
0-	97.8	99.6
$1^{+}$	99.8	99.4
1-	94.0	96.9
$2_{m}^{+}$	83.2	81.8
$2^{-}$	64.2	88.4

ATLAS-CONF-2013-013

 $\Rightarrow$  SM  $J^P = 0^+$  bevorzugt für das neue Boson gegenüber  $J^P = 0^-, 1^+, 1^-$ 

Frühjahr 2014: Veröffentlichung neuer Ergebnisse der  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  Gruppe mit 2011-2012 Datensatz von 25 fb<sup>-1</sup>

Katharina Ecker (MPP)

Zusätzliche (50 - 75) fb<sup>-1</sup>werden für die nächste LHC Datennahme ab 2015 erwartet:

- Hypothesentest:
  - Zusätzliche Spin 2 Modelle zu 2<sup>+</sup><sub>m</sub> und 2<sup>-</sup> untersuchen
  - Spin 2 ausschließen in  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$  Kanal
- OP-mixing Analyse:
  - Hypothesentest: SM  $J^P = 0^+$  bevorzugt und purer  $J^P = 0^-$  ausgeschlossen
    - $\rightarrow$  Beimischung von nicht-SM CP-Zuständen zu SM CP-Zustand in Zerfallsamplitude  $A(H \rightarrow ZZ^*)$  noch nicht ausgeschlossen!
  - ATL-PHYS-PUB-2013-013:

Prospects for measurements of the HZZ vertex tensor structure in H  $\to$  ZZ\*  $\to$  4ℓ decay channel with ATLAS

Ausschlussgrenzen für nicht-SM CP-geraden/CP-ungeraden Anteil an Higgs Produktion mit 95% CL:

> $f_{g2} < 0.29 (0.12)$  bei 300 fb<sup>-1</sup>(3000 fb<sup>-1</sup>)  $f_{g4} < 0.15 (0.037)$  bei 300 fb<sup>-1</sup>(3000 fb<sup>-1</sup>)