

Untersuchung der HZZ -Tensorstruktur auf anomale Kopplungen und CP-Verletzung im Kanal $pp \rightarrow H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ mit dem ATLAS-Detektor

Katharina Ecker

Betreut von: Sandra Kortner

Max-Planck-Institut für Physik

DPG 2015 (09.-13.03. 2015, Wuppertal)



Eigenschaften des entdeckten Higgsbosons

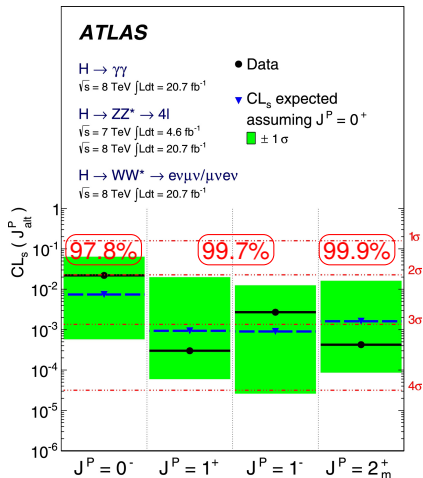
- 1 **Spin-0:** Boson ist mit hoher Wahrscheinlichkeit, wie vom Standardmodell (SM) hervorgesagt, skalares Teilchen.

ATLAS: *Physics Letters B* 726 (2013) 120–144
und CMS: *CMS PAS HIG-14-014*

- 2 **CP-Quantenzahl des entdeckten Higgsbosons?**

CP: Kombination von Parität und Ladungskonjugation.

- CP-gerader Eigenzustand CP^{+} ? SM
 - Kein CP-Eigenzustand? Mischung von CP-gerade und CP-ungerade.
- CP-Verletzung im Higgssektor
mögliche Erklärung für
Materie-Antimaterie-Asymmetrie.
- Zusätzliche, nicht-SM Kopplungen in HVV -Vertex? „Anomale Kopplungen“



CP-Messung im $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ Zerfallskanal

- Zerfallsamplitude, die die WW von Spin-0 Teilchen mit zwei Vektorbosonen beschreibt:

„Spin determination of single-produced resonances at hadron colliders“ (arXiv:1001.3396v2)

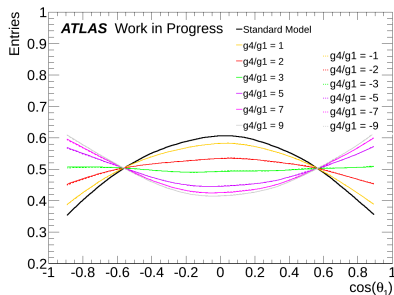
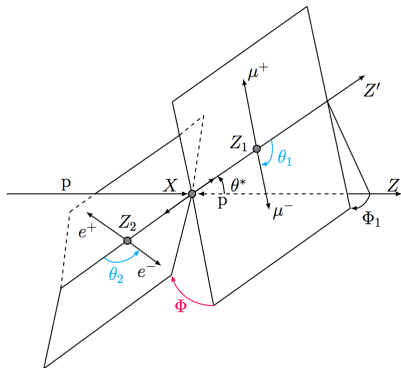
$$A(X \rightarrow V_1 V_2) = \frac{1}{v} \left[\overbrace{g_1 \cdot M_V^2 \epsilon_1^* \epsilon_2^*}_{\text{SM, } g_{i \neq 1} = 0} + g_2 \cdot f_{\mu\nu}^{*(1)} f^{*(2)\mu\nu} \right] \left. \vphantom{\frac{1}{v}} \right\} \text{CP-gerade}$$
$$+ g_4 \cdot f_{\mu\nu}^{*(1)} \tilde{f}^{*(2)\mu\nu} \left. \vphantom{\frac{1}{v}} \right\} \text{CP-ungerade}$$

- CP-Verletzung:** Gleichzeitiges Auftreten von CP-geraden und CP-ungeraden Termen.

⇒ Suche nach nicht-SM CP-Beimischungen in $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ Zerfällen

Der $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ Kanal: CP-sensitive Variablen

- CP-sensitive Variablen definiert durch $H4\ell$ -Kinematik, z.B. Z-Boson Massen m_{12} & m_{34} und Zerfallswinkel $\cos \theta_1$, $\cos \theta_2$, Φ .



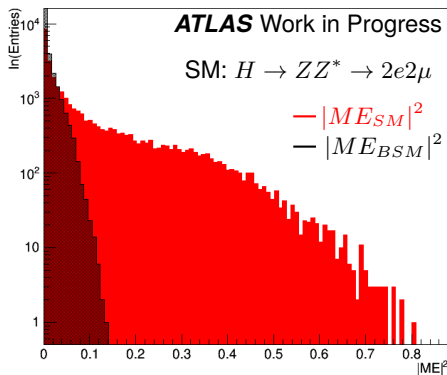
⇒ Statt einzelne kinematische Variablen auf den CP-Zustand der Resonanz zu untersuchen, kann die ganze Kinematik eines Ereignisses durch sein **Matrizelement** beschrieben werden.

Die Matricelement-Methode

- **Matricelement-Methode allgemein:** Kompatibilität von Datenereignis zu verschiedenen Modellen, z.B. SM und bestimmtem BSM, kann verglichen werden.

$$|ME|^2 \propto \frac{d\sigma}{d\Omega dm_{12} dm_{34}} \text{ „Differenzieller Wirkungsquerschnitt“}$$

- **CP-Messung:** Passt die Kinematik von 4ℓ -Ereignissen besser zur Kinematik des Zerfalls eines CP-geraden oder CP-ungeraden Skalars?



Matricelement-Methode in HZZ : Konstruktion von Observablen aus Matricelementen

$$ME_{Mix}(g_1, g_i) = ME_{SM} + \left(\frac{g_i}{g_1} \right) ME_{BSM} \quad \text{mit } i = 2, 4$$

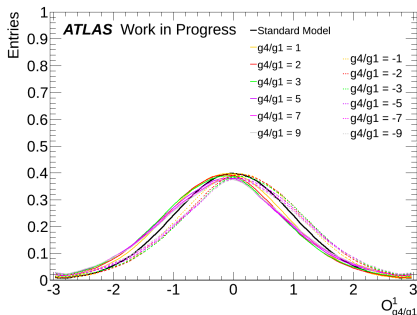
$$\frac{|ME_{Mix}|^2}{|ME_{SM}|^2} = 1 + \left(\frac{g_i}{g_1} \right) \frac{2\text{Re}(ME_{SM}^* ME_{BSM})}{|ME_{SM}|^2} + \left(\frac{g_i}{g_1} \right)^2 \frac{ME_{BSM}^2}{|ME_{BSM}|^2}$$

Vorzeichen sensitiv

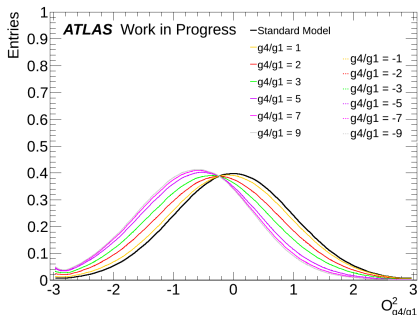
$$O_{g_i/g_1}^1 = \frac{2\text{Re}(ME_{SM}^* ME_{BSM})}{|ME_{SM}|^2}$$

Betrag sensitiv

$$O_{g_i/g_1}^2 = \frac{|ME_{BSM}|^2}{|ME_{SM}|^2}$$



Katharina Ecker (MPP)



Messung HZZ -Tensorstruktur

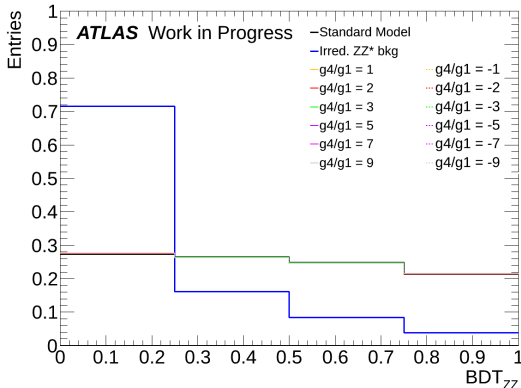
10.03.2015

6 / 2

Diskriminante zur Unterdrückung des Untergrunds

- Untergrund von ZZ^* -Kontinuumsproduktion
- Boosted Decision Tree (BDT) um Signal und Untergrund von einander zu unterscheiden:

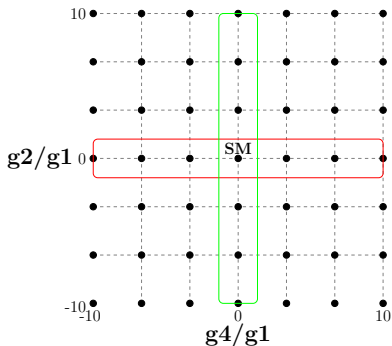
Nicht CP-sensitiv! $\{m_{4\ell}, p_{T4\ell}, \eta_{4\ell}, \cos \theta^*, \Phi_1\} \rightarrow BDT_{ZZ}$



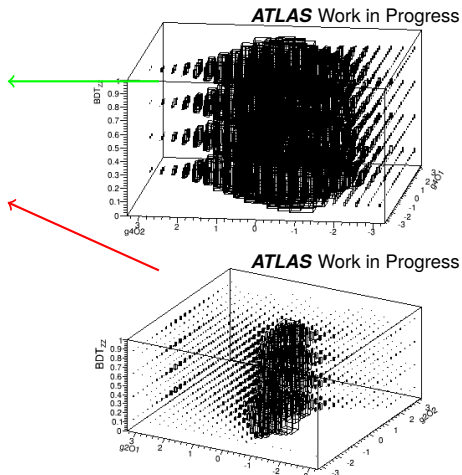
Fitmodell für Fit von $\frac{g_i}{g_1}$ auf Daten

Modell ist 3D Verteilung von zwei CP-sensitiven Observablen ($O_{g_i/g_1}^1, O_{g_i/g_1}^2$) und BDT_{ZZ}

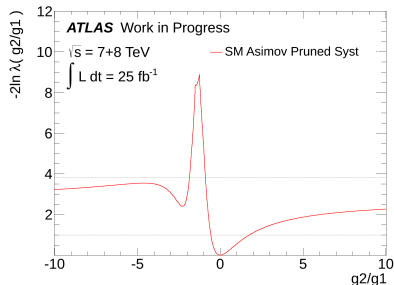
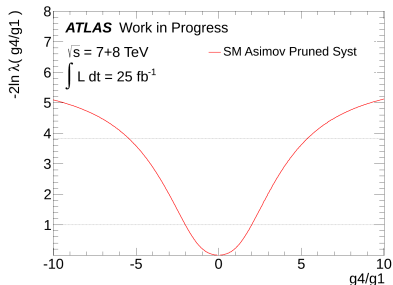
Scan Ebene



3D Modell



Erwartetes Fitergebnis mit Run-I Datensatz



- Erwartete Ausschlussgrenzen mit 95% CL:

$$g_4/g_1: \quad] -\infty, -5.46] \cup [5.41, +\infty[$$

$$g_2/g_1: \quad [-1.84, -0.89]$$

Zusammenfassung

- Eine Methode zur Messung von CP-ungeraden und nicht-SM CP-geraden Beimischungen zur $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ Zerfallsamplitude wurde vorgestellt
- Die CP-sensitiven Observablen werden aus Matrixelementen gebildet
- Erwartete Ausschlussgrenzen mit 95% CL auf vollem Run-I Datensatz aufgezeichnet mit dem ATLAS Detektor:

$$g_4/g_1: \quad] - \infty, -5.46] \cup [5.41, +\infty[$$

$$g_2/g_1: \quad [-1.84, -0.89]$$

- Veröffentlichung der Ergebnisse im Frühjahr 2015