



# Messung der Higgs-Tensor-Kopplung im $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ -Zerfallskanal mit dem ATLAS-Detektor

DPG-Frühjahrstagung Münster 2017

Verena Walbrecht

Betreuer: Sandra Kortner

Max-Planck-Institut für Physik  
(Werner-Heisenberg-Institut)

27. März 2017



MAX-PLANCK-GESellschaft



## Run-I-Messung der CP-Eigenschaften des Higgs-Boson

- Vorhersage des SM: **Skalares CP-gerades** Teilchen ( $J^P=0^+$ )
- Im Vergleich zu  $0^-$ ,  $1^\pm$  oder  $2^\pm$  ist die Spin  $0^+$ - Hypothese von den Run I Daten **bevorzugt**
- **Aber:** Kleine Beimischungen z.B. des  $0^-$  Zustandes zu dem  $0^+$  Zustand sind noch möglich (BSM):

$$|H_{\text{BSM}}\rangle = \cos(\alpha)|0^+\rangle + \sin(\alpha)|0^-\rangle$$

- $\text{CP}|0^\pm\rangle = \pm|0^\pm\rangle$
- $\text{CP}|H_{\text{BSM}}\rangle \neq \pm|H_{\text{BSM}}\rangle$
- ⇒ **CP Verletzung**

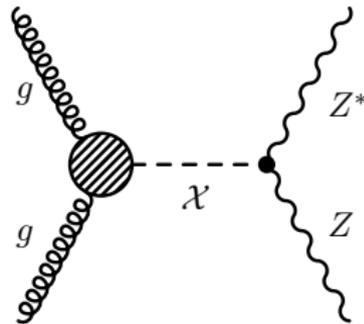
- **Dieser Vortrag:** Untersuchung von möglichen kleinen BSM Beimischungen im Rahmen einer **Effektiven Feld Theorie (EFT)**

Konjugation	CP-gerade skalar
Spin: J	0
Ladung: C	+1
Parität: P	+1
$J^P$	$0^+$
SM Higgs-Boson	

## Messung anomaler Kopplungen

- Annahme in der EFT:  
Physik jenseits des SM tritt erst bei einer Energie Skala  $\Lambda$  auf, die sehr viel größer ist als die Wechselwirkungsenergie  $E \ll \Lambda$
- Diese Studie: Cut-off Energie  $\Lambda=1$  TeV

⇒ Annahme einer punktförmigen Hgg-Wechselwirkung



$$\mathcal{L} = \left\{ \underbrace{\kappa_{SM} \cos \alpha \left[ \frac{1}{2} g_{HZZ} Z_\mu Z^\mu + g_{HWW} W_\mu^+ W^{-\mu} \right]}_{\text{HVV-Vertex: SM CP-gerade } (\kappa_{SM})} - \frac{1}{4} \left[ \underbrace{\kappa_{Hgg} \cos \alpha g_{Hgg} G_{\mu\nu}^a G^{a,\mu\nu}}_{\text{Hgg-Vertex: SM CP-gerade } (\kappa_{Hgg})} + \underbrace{\kappa_{Agg} \sin \alpha g_{Agg} G_{\mu\nu}^a \tilde{G}^{a,\mu\nu}}_{\text{anomal CP-ungerade } (\kappa_{Agg})} \right] \right\} \mathcal{X}$$

- Annahme hier:

$$\kappa_{SM} \cdot \cos \alpha = 1 \quad \text{und} \quad \kappa_{Hgg} \cdot \cos \alpha = 1$$

$g$  = Kopplungsstärke im SM/MSSM

$\kappa$  = Kopplungs-Parameter

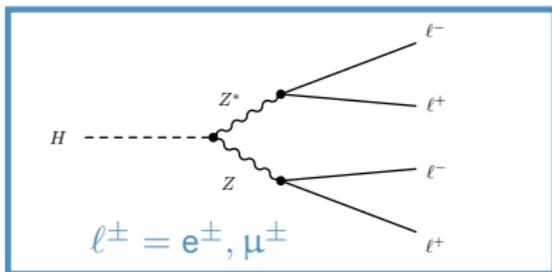
$\mathcal{X}$  = Spin 0 Feld

$$\tilde{G}^{\mu\nu} = 1/2 \epsilon^{\mu\nu\rho\sigma} G_{\rho\sigma}$$

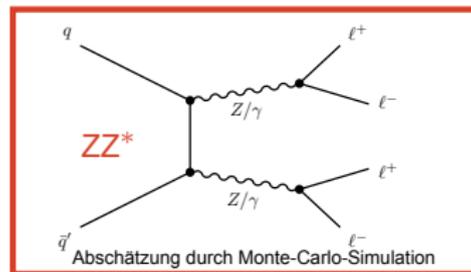
$$G_{\mu\nu}^a = \partial_\mu G_\nu^a - \partial_\nu G_\mu^a + g_s f^{abc} G_\mu^b G_\nu^c$$

# Der $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\ell$ - Zerfallskanal

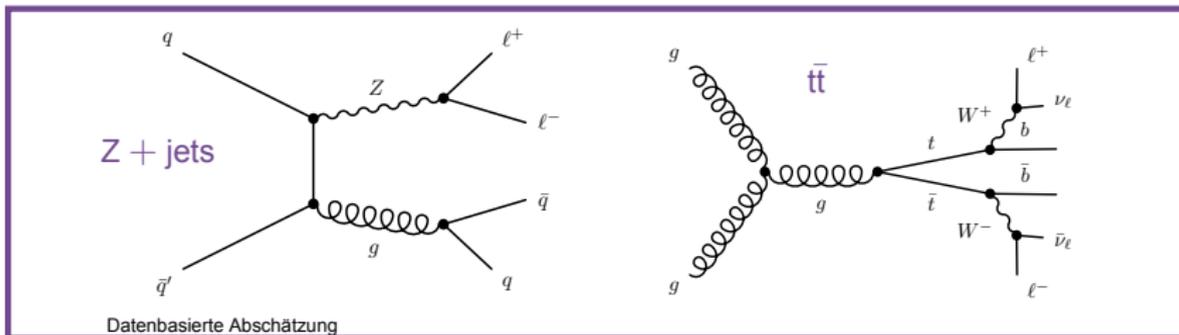
■ Signal:



■ Dominanter Untergrund:

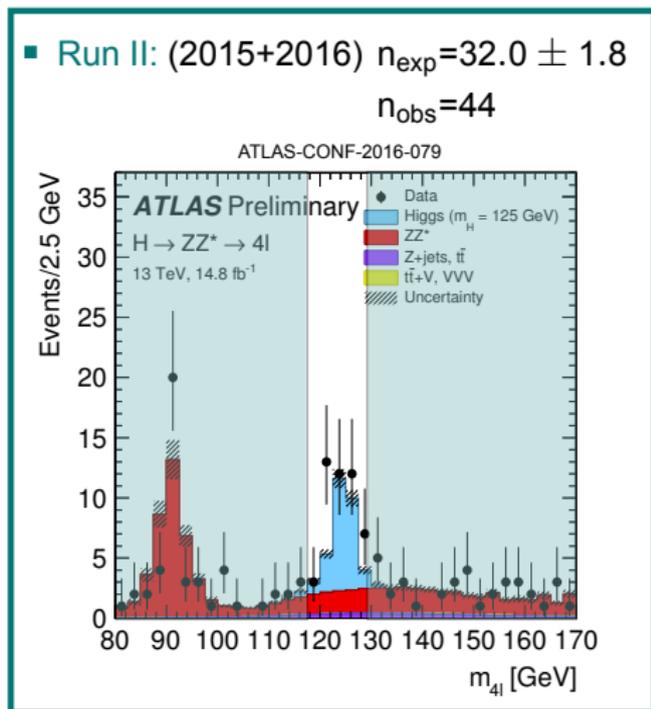


■ Kleinere Untergrund-Beiträge: Mindestens ein Lepton stammt aus einem Jet



## Ergebnis der $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$ - Analyse

- Massenspektrum nach der Ereignisselektion ( $\mathcal{L} = 14.8 \text{ fb}^{-1}$ )
- Gute Beschreibung der Daten mit der Simulation
- Im Folgenden:  $\mathcal{L} = 36.1 \text{ fb}^{-1}$  (voller 2015+2016 Datensatz)



Wieder-Beobachtung des Higgs-Boson mit Run II

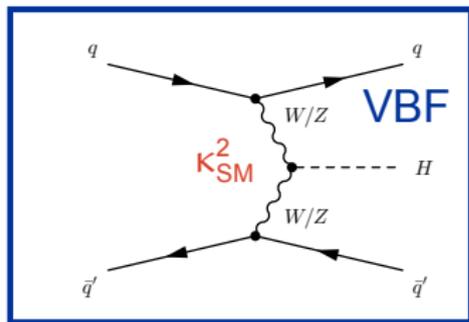
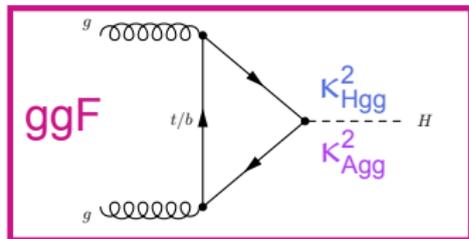


# Messung der Hgg-Tensor-Kopplung

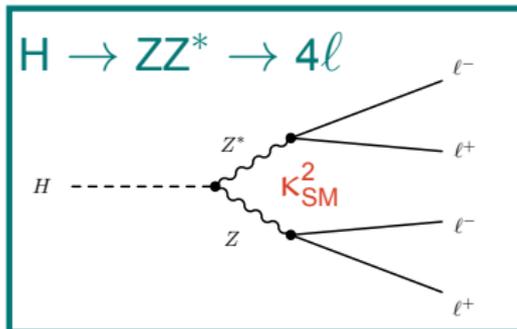
- Produktions- und Zerfallsraten sind abhängig von den anomalen Kopplungen:

Produktion:

Abhängigkeit:



Zerfall:



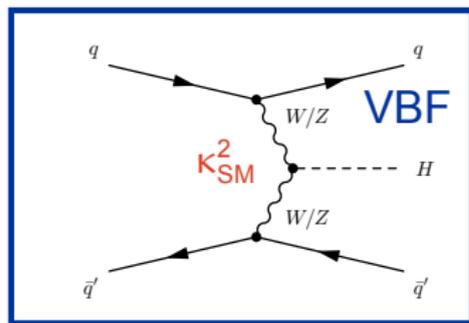
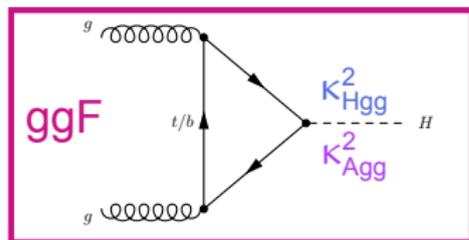
$$\sigma_{ggF} \propto K_{Agg}^2$$

Produktionsraten sind sensitiv auf kleine Agg-BSM-Beimischungen

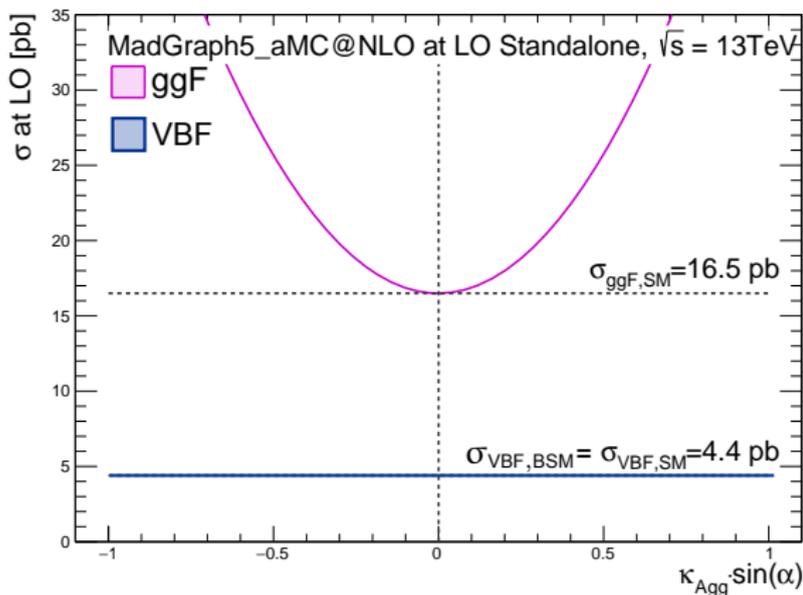
## Messung der Hgg-Tensor-Kopplung

- Produktions- und Zerfallsraten sind abhängig von den anomalen Kopplungen:

Produktion:



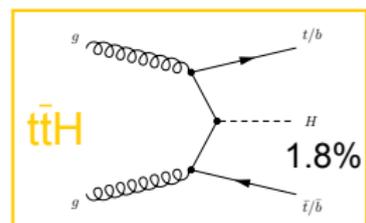
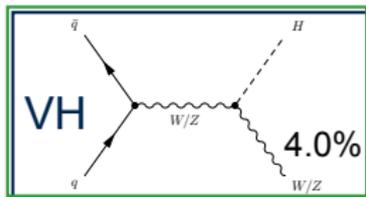
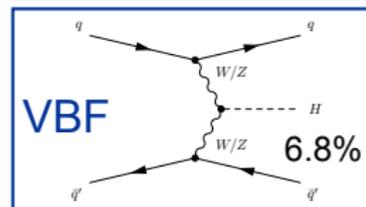
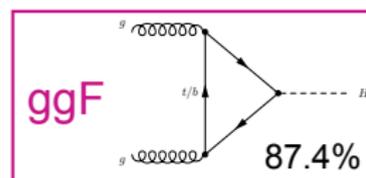
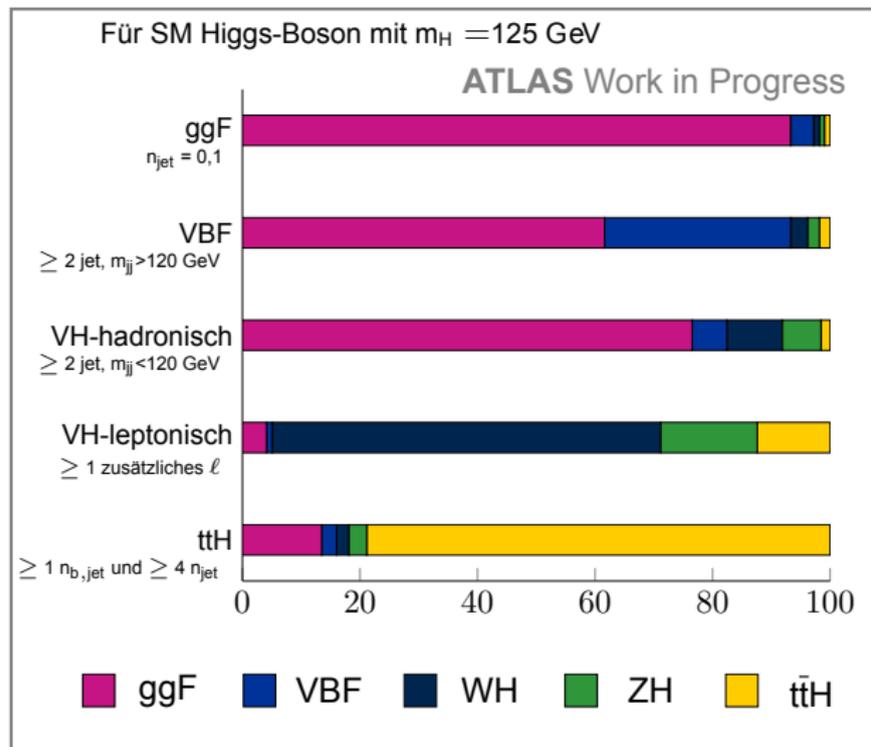
Abhängigkeit:



Produktionsraten sind sensitiv auf kleine Agg-BSM-Beimischungen

## Kategorisierung der Ereignisse

- Unterteilung der Ereignisse nach Produktionsmechanismen:





## Signal-Modellierung

- **Kontinuierliches Signalmodell** um das zu erwartende Signal in Abhängigkeit der BSM Kopplung zu beschreiben ( $\kappa_{\text{Agg}}$ )
- Sagt **kinematische Verteilungen** und **Wirkungsquerschnitte** an jedem Punkt des Parameterraums voraus basierend auf einem **diskreten Set** von simulierten Eingangs-Templates

**Ausgangs-Verteilung** ↓  $N_{\text{out}}(\vec{\kappa}_{\text{out}})$

**Eingangs-Verteilung** ↓  $N_i(\vec{\kappa}_i)$

**Gewicht** ↓  $w_i$

$$N_{\text{out}}(\vec{\kappa}_{\text{out}}) = \sum_{i=1}^{N_{\text{input}}} w_i(\vec{\kappa}_{\text{out}}; \vec{\kappa}_i) \cdot N_i(\vec{\kappa}_i) \quad \vec{\kappa} = (\kappa_{\text{SM}}, \kappa_{\text{Hgg}}, \kappa_{\text{Agg}})$$



## Ergebnis der Hgg-Tensor-Kopplungs Messung

- Messung von  $\kappa_{\text{Agg}} \cdot \sin \alpha$ :  
Vergleich der beobachteten Anzahl an Ereignissen in jeder Kategorie mit der vom Signal-Modell vorhergesagten Anzahl
- Erwartete Anzahl an Ereignissen für SM Signal mit  $118 \text{ GeV} < m_{4\ell} < 129 \text{ GeV}$  ( $\mathcal{L} = 36.1 \text{ fb}^{-1}$ ):

ATLAS Work in Progress

Ereignis Kategorie	ggF	VH- hadronisch	VBF	VH- leptonisch	ttH	Total
Signal	$43.19 \pm 5.63$	$3.43 \pm 1.33$	$7.17 \pm 2.62$	$0.32 \pm 0.01$	$0.37 \pm 0.03$	$54.10 \pm 5.00$
ZZ*	$17.34 \pm 1.23$	$0.65 \pm 0.06$	$0.85 \pm 0.08$	$0.05 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	$18.90 \pm 1.70$
Z+jets, tt	$3.02 \pm 0.14$	$0.36 \pm 0.01$	$0.41 \pm 0.02$	$0.02 \pm 0.00$	$0.11 \pm 0.01$	$3.92 \pm 0.23$
Erwartet	$63.40 \pm 5.8$	$4.44 \pm 1.33$	$8.45 \pm 2.62$	$0.39 \pm 0.01$	$0.48 \pm 0.03$	$77.00 \pm 5.00$

- Test-Statistik:

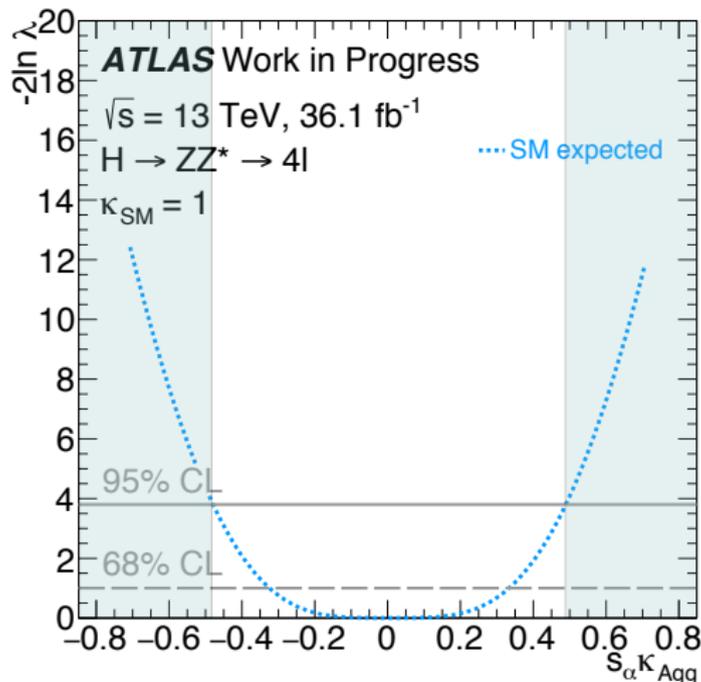
$$q(\kappa) = -2 \ln \frac{L(\kappa)}{L(\hat{\kappa})} = -2 \Delta \ln(L)$$

- $L(\hat{\kappa})$  ist das Maximum des Likelihoods



## Ergebnis der Hgg Tensor-Kopplungs Messung

- Erwartete Verteilung der Test Statistik für ein SM Higgs-Boson:



Ausgeschlossene  
Bereiche  
bei 95% CL

$$\kappa_{\text{SM}} \cdot \cos \alpha = 1$$

$$\kappa_{\text{Hgg}} \cdot \cos \alpha = 1$$

Erwarteter erlaubter Bereich im 95% Konfidenzintervall (CL): [-0.48, 0.49]



## Zusammenfassung

- **Wieder-Beobachtung** des Higgs-Bosons mit den Run II Daten im Zerfallskanal  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$
- **Erstmalige** Messung der **anomalen Hgg-Kopplung** im Zerfallskanal  $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$
- **Sensitivität** der Messung limitiert mit den jetzigen Daten
- Erlaubte erwartete Abweichung vom SM bei einem Konfidenzniveau von 95% :  
$$-0.48 \leq \kappa_{\text{Agg}} \cdot \sin(\alpha) \leq 0.49$$
- **Ausblick:** Steigerung der Sensitivität durch Berücksichtigung der kinematischen Verteilungen von  $\Delta\phi_{jj}$  in Ereignissen mit  $\geq 2$  Jets  
→ mehr Statistik erforderlich

# ANHANG

# Erwartete Ereignisse in Kategorien

