

Messung der differentiellen Wirkungsquerschnitte der  
assozierten Produktion von Top-Quark- und  
Bottom-Quark-Paaren ( $t\bar{t}+b\bar{b}$ ) im dileptonischen  
Zerfallskanal bei  $\sqrt{s} = 13$  TeV mithilfe des CMS  
Experiments

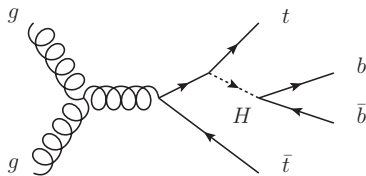
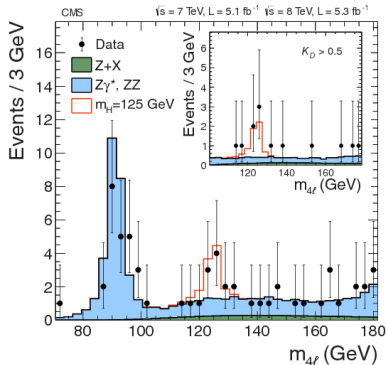
Maria Aldaya Martin, Nazar Bartosik,  
Carmen Diez Pardos, Andrej Saibel

DESY

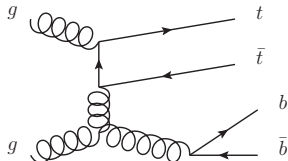
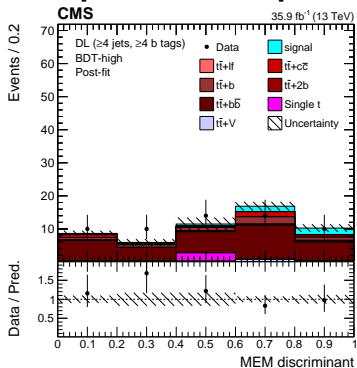
Maria Laach, 2018



- 2012: Entdeckung eines Bosons mit Spin 0,  $m \approx 125$  GeV  
[arXiv:1207.7214], [arXiv:1207.7235]
- Offene Fragen:
  - Standardmodell Higgs?
  - Yukawa-Kopplung wie in SM?
- Suche nach  $t\bar{t}H(b\bar{b})$   
[arXiv:1804.03682]
- Entdeckungen 2018:
  - $t\bar{t}H$   
[arXiv:1806.00425][arXiv:1804.02610]
  - $H(b\bar{b})$   
[arXiv:1808.08238][arXiv:1808.08242]



[arXiv:1804.03682]



## Motivation für die Messung von $t\bar{t}+b\bar{b}$

- Wichtiger Untergrund für SM und BSM Prozesse
  - Irreduzibler Untergrund für  $t\bar{t}H(b\bar{b})$
  - Dominante Unsicherheit in  $t\bar{t}H(b\bar{b})$
- Mehr Daten mit  $\sqrt{s} = 13$  TeV
- Input für verbesserte NLO Berechnungen

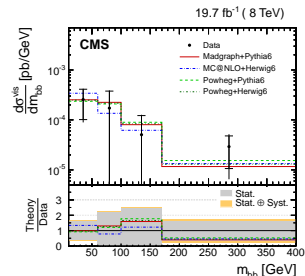
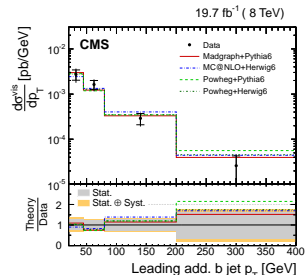
## Ziele der Messung

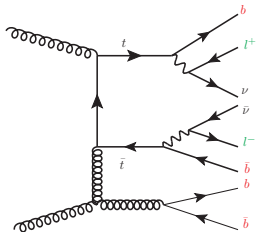
- Differentielle Wirkungsquerschnitte bei  $\sqrt{s} = 13$  TeV
- Vergleiche mit mehreren theoretischen Vorhersagen
- Analyse noch in Arbeit!

## Messung der differentiellen Wirkungsquerschnitte

- Ziel: Differentielle WQ von "zusätzlichen" b-Jets
  - 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>  $p_T$ ,  $|\eta|$  zusätzlicher Jets
  - $\Delta R_{b\bar{b}}$ ,  $m_{b\bar{b}}$
- Identifizierung von b-Jets aus dem Top-Quark-Zerfall
  - Grund: Vermeidung von Bias
- Sortiere die übrigen (zusätzlichen) b-Jets nach  $p_T$
- Vergleiche Daten mit theoretischen Vorhersagen
  - Entfaltung der Daten
  - Subtraktion der Untergründe

[arXiv:1510.03072] (8 TeV)





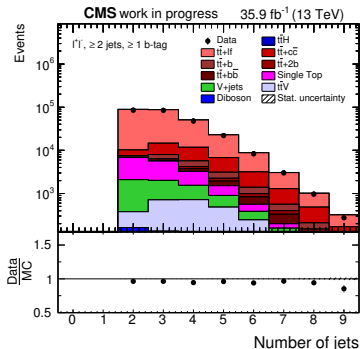
## ➤ Single- and Dileptontrigger

### ➤ Leptons:

- $l^+l^-$ , entgegengesetzt geladen
- Veto Resonanzen  $m_{ll} \leq 20$
- Gleicher Flavour: veto Z-Massen-Fenster
- $E_T^{\text{miss}} \geq 40$  GeV

### ➤ Jets:

- Zwei Jets  $p_T > 30$  GeV, andere Jets  $p_T > 20$  GeV
- $\geq 3$  b-getaggte Jets



➤  $t\bar{t}, t\bar{t}H$ : Powheg+Pythia8

➤  $V+j, t\bar{t}V$ : MG5aMC@NLO+Pythia8

➤  $VV$ : Pythia8

➤ Motivation:

- Daten-MC Übereinstimmung für Entfaltung
- Untergrundabschätzung

➤ Fit an die b-Tag-Multiplizität

➤ Templates für:

- **$t\bar{t}+HF$** :  $t\bar{t}+b\bar{b}$ ,  $t\bar{t}+b$ ,  $t\bar{t}+2b$
- **$t\bar{t}+Other$** :  $t\bar{t}+c\bar{c}$ ,  $t\bar{t}+LF$
- **Andere Untergründe**
  - V+Jets, VV,  $t\bar{t}V$ ,  $t\bar{t}H$

**ttbb**



or more b jets

**ttb**



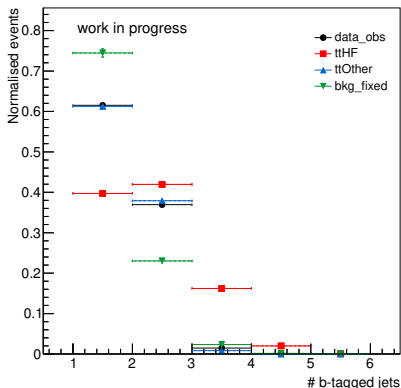
not in acceptance

**tt2b**



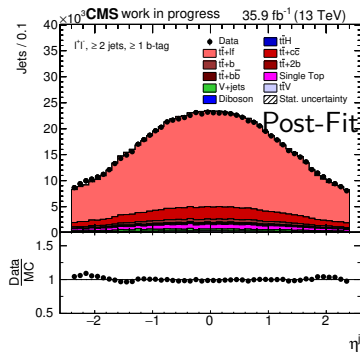
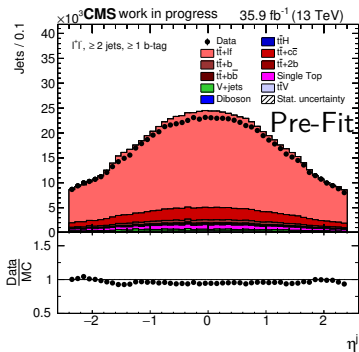
overlapping

B-tagged jet multiplicity





# Einfluss der Fit-Ergebnisse auf die Beschreibung der Daten



- Daten-MC-Übereinstimmung verbessert sich
- Einfluss der Fit-Ergebnisse ist klein



# Identifikation der b-Jets aus dem $t\bar{t}$ -Zerfall (RECO)

## ➤ Motivation:

- Kombinatorisches Problem der Zuordnung von b-Jets
- Kinematische Rekonstruktion:  $\approx 25\%$  Effizienz

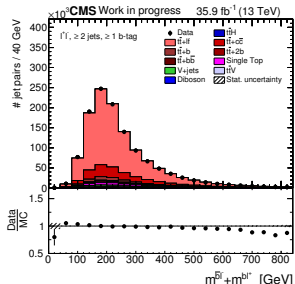
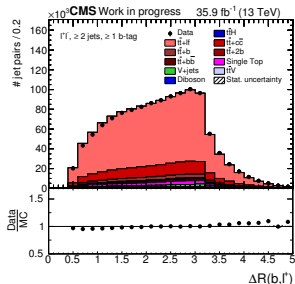
## ➤ Jet-Ladung zur Unterscheidung $b, \bar{b}$ -Jet

$$c_{rel} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i (\vec{p}_{jet} \cdot \vec{p}_i)^x}{\sum_{i=1}^n (\vec{p}_{jet} \cdot \vec{p}_i)^x}$$

## ➤ BDTs, um b-Jets aus dem $t\bar{t}$ -Zerfall zu finden

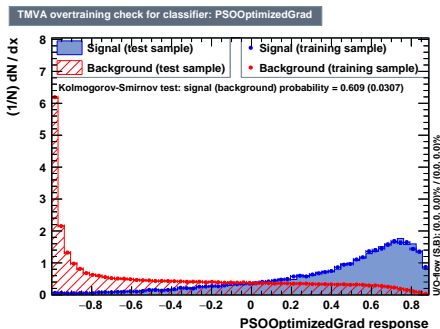
## ➤ BDT Inputvariablen:

- $c_{rel}^b - c_{rel}^{\bar{b}}$  jet charge
- $\Delta R^{b, l^+}, \Delta R^{\bar{b}, l^-}$
- $|\Delta\phi^{bl^+}, \bar{b}l^-|$
- $p_T^{b, l^+}, p_T^{\bar{b}, l^-}$
- $m^{b, l^+} + m^{\bar{b}, l^-}$
- $m^{b, l^+} - m^{\bar{b}, l^-}$
- $m^{b\bar{b}l^+l^-} - m^{b\bar{b}}$
- $\frac{1}{2}(m_t^{bE_t^{miss}} + m_t^{\bar{b}E_t^{miss}})$



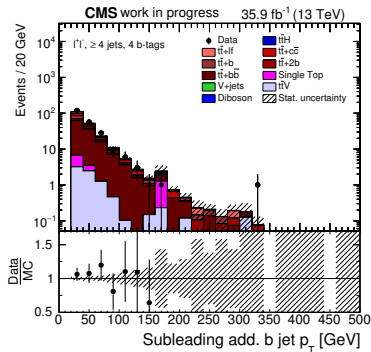
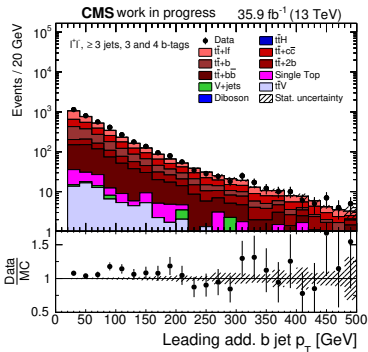


- Training:
  - Powheg+Pythia8  $t\bar{t}$ +jets
  - Trainingsereignisse:  $\geq 3$  jets, 3 b-tags und 4 jets, 4 b-tags
  - MC-Wahrheit:
    - Hadron-Flavour, Ursprung (z.B: Top-Quark) durch Generatorhistorie
  - Signal(Untergrund): richtige(falsche) Zuordnung von b-Jets aus  $t\bar{t}$ -Zerfall
- Optimierung
  - Variation der Hyperparameter und Variablensätze
  - Kriterium: größtes ROC-Integral bei Kolmogorov-Smirnov-Test  $> 0.2$



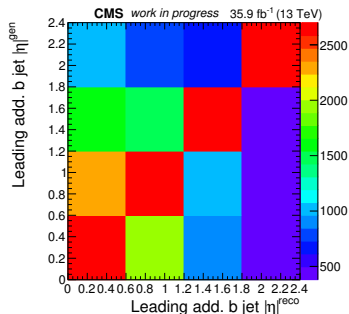
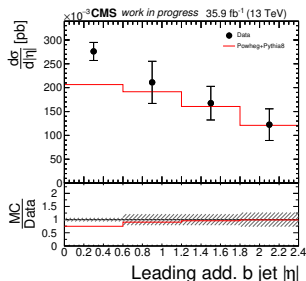
# Verteilungen der zusätzlichen b-Jets (RECO)

- Verhalten der zusätzlichen b-Jets ist für die Theorie von zentralem Interesse
- Zusätzliche b-Jets nach der MVA-Klassifizierung

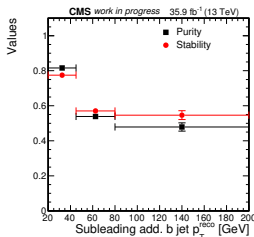
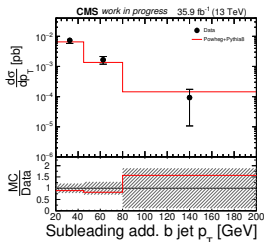
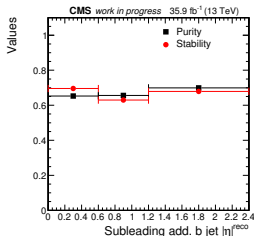
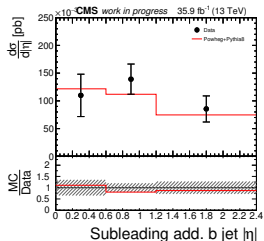


- Einfache Verteilungen sind gut beschrieben

- Berechnung differentieller WQ:  $\frac{d\sigma}{dx_i} = \frac{\sum_j A_{ij}^{-1} (N_j^{data} - N_j^{bkg})}{\Delta_i^x \cdot L}$
- Mit  $A_{ij}$  der Migrationsmatrix, für jede Verteilung einzeln abgeleitet



- Absolute WQ: Powheg+Pythia8 skaliert auf NNLO Vorhersage
- $\approx 25\%$  Unterschied zwischen Daten und Powheg+Pythia8
  - Fit ergibt gleichen Wert
  - Konsistent mit anderen aktuell durchgeführten Messungen in CMS



➤ Purity (Reinheit):  $p = \frac{N^{gen\&reco}}{N^{gen}}$ , Stability (Stabilität):  $s = \frac{N^{gen\&reco}}{N^{reco}}$

## Zusammenfassung

- $t\bar{t}+b\bar{b}$  ist ein wichtiger und hochaktueller Prozess in SM und BSM Physik
- Verringerte stat. Unsicherheit im Vgl. zu 8 TeV um Faktor  $\approx 2$
- Monte Carlo und Daten allgemein in guter Übereinstimmung
- Allerdings gibt es  $\approx 25\%$  Abweichung bei den absoluten Wirkungsquerschnitten

## Ausblick

- Systematische Unsicherheiten zur Messung propagieren
- Differentielle Wirkungsquerschnitte:
  - Vergleich mit NLO Vorhersagen: Sherpa, PowHel, Herwig 7
  - Collaboration: Maria Vittoria Garzelli (PowHel) für 13TeV  $t\bar{t}+b\bar{b}$  Vorhersagen
- Rivet routine
  - Verbesserte kinematische Rekonstruktion für  $t\bar{t}+b\bar{b}$ ?

Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!



# BACKUP

## Datensätze

- Daten:  $L = 35.867 \pm 0.9 \text{ fb}^{-1}$ , 2016
  - Signal: Powheg+Pythia8
  - Untergründe:
    - Single Top: Powheg+Pythia8
    - Diboson: Pythia8
    - V+Jets,  $t\bar{t}+V$ : MG5aMC@NLO+Pythia8
  - Zusätzliche Vorhersagen zum Vergleich mit den entfalteten Daten:
    - Powheg+Herwig++
    - Produktion/Evaluation anderer Vorhersagen ist im Gange
  
- Angewandte Skalenfaktoren
  - Lepton ID/Iso
  - b-tag
  - PU reweighting
  - JER und JES





# Unsicherheiten in der $t\bar{t}H(b\bar{b})$ Analyse

[arXiv:1804.03682]



Uncertainty source	$\pm\Delta\mu$ (observed)	$\pm\Delta\mu$ (expected)
Total experimental	+0.15/-0.16	+0.19/-0.17
b tagging	+0.11/-0.14	+0.12/-0.11
jet energy scale and resolution	+0.06/-0.07	+0.13/-0.11
Total theory	+0.28/-0.29	+0.32/-0.29
$t\bar{t}+hf$ cross section and parton shower	+0.24/-0.28	+0.28/-0.28
Size of the simulated samples	+0.14/-0.15	+0.16/-0.16
Total systematic	+0.38/-0.38	+0.45/-0.42
Statistical	+0.24/-0.24	+0.27/-0.27
Total	+0.45/-0.45	+0.53/-0.49