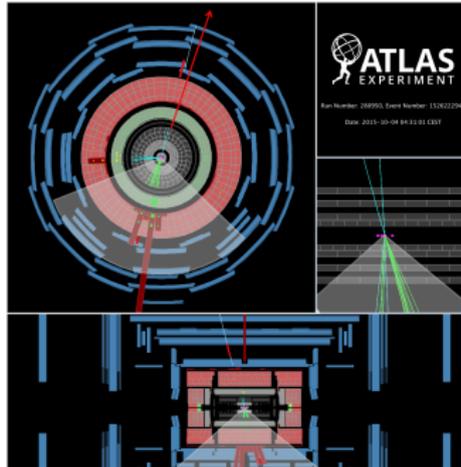


Suche nach Dunkler Materie in Assoziation mit einem hadronisch zerfallenden W/Z -Boson mit den Run-2-Daten des ATLAS-Detektors

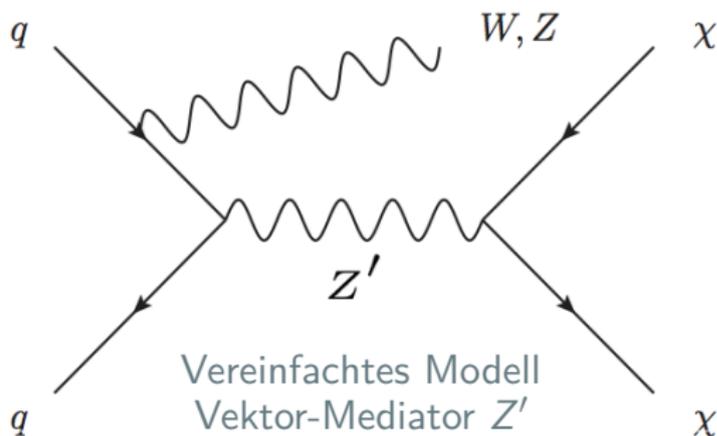


27. März 2017 - DPG-Tagung Münster

Philipp Gadow, Betreuer: Patrick Rieck | Max-Planck-Institut für Physik, München

Einleitung

WIMP: Weakly Interacting Massive Particle



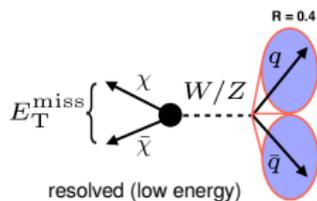
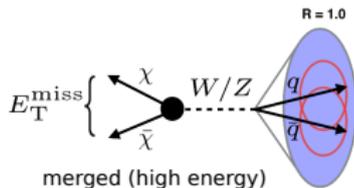
- Suche nach im LHC erzeugter Dunkler Materie (DM)

$$q q' \rightarrow \chi \bar{\chi} + W/Z(\text{hadr.})$$

Mono-W/Z (hadronisch)

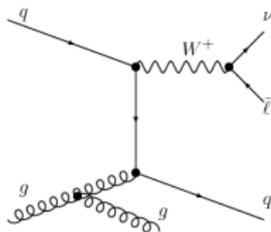
Signatur: Fehlender Transversalimpuls E_T^{miss} mit W/Z-Boson rekonstruiert als

- ▶ (merged) Jet mit großem Radiusparameter ($R = 1.0$)
- ▶ (resolved) zwei Jets mit kleinem Radiusparameter ($R = 0.4$)

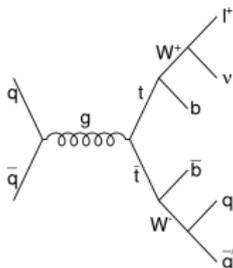


Dominante Untergrundprozesse

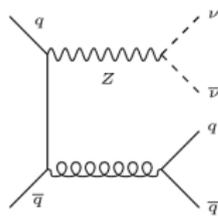
W + Jets



t \bar{t}



Z → νν̄ + Jets



Weitere Untergrundprozesse: Diboson, Einzel-Top-Quark, QCD

Ereignisselektion

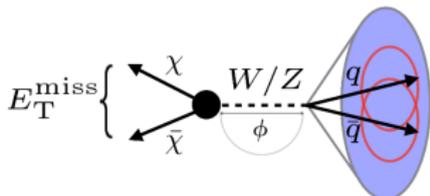
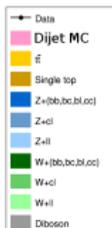
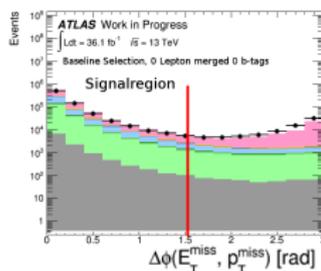
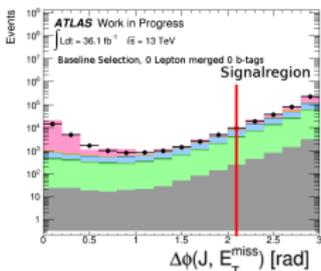
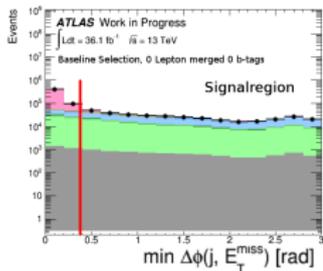
Baseline

▶ E_T^{miss} -Trigger

▶ Lepton-Veto

▶ $p_T^{\text{miss}} > 30 \text{ GeV}$
für 0,1 b -Jets

Anti-QCD-Schnitte



Ereignisselektion

Baseline

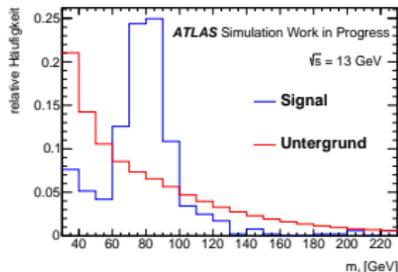
- ▶ $E_{\text{T}}^{\text{miss}}$ -Trigger
- ▶ Lepton-Veto
- ▶ $p_{\text{T}}^{\text{miss}} > 30 \text{ GeV}$
für 0,1 b -Jets

Anti-QCD-Schnitte

- ▶ $\min \Delta\phi(j, E_{\text{T}}^{\text{miss}}) > 0.4$
- ▶ $\Delta\phi(J/jj, E_{\text{T}}^{\text{miss}}) > 2.1$
- ▶ $\Delta\phi(E_{\text{T}}^{\text{miss}}, p_{\text{T}}^{\text{miss}}) < \pi/2$

Merged: $E_{\text{T}}^{\text{miss}} > 250 \text{ GeV}$

- ▶ ≥ 1 Jets mit großem Radiusparameter ($p_{\text{T}} > 200 \text{ GeV}$)
- ▶ Veto auf nicht-assoziierte b -Jets
- ▶ W/Z -Tagger ($m_J, D_2^{\beta=1}$)



Resolved: $E_{\text{T}}^{\text{miss}} > 150 \text{ GeV}$

- ▶ Ereignis nicht in Merged-Kategorie
- ▶ ≥ 2 Jets mit kleinem Radiusparameter ($p_{\text{T}} > 20 \text{ GeV}$)
- ▶ $\Delta\phi(j, j) < 2.4$
- ▶ $\Delta R(j, j) < 1.4$ (2 b -Jets: 1.25)
- ▶ $p_{\text{T}}^{\text{leading jet}} > 45 \text{ GeV}$
- ▶ $\sum p_{\text{T}}^{j1, j2, (j3)} > 120$ (150) GeV
- ▶ 2 oder weniger b -Jets
- ▶ m_{jj} im W/Z -Massenfenster

Ereignisselektion

Baseline

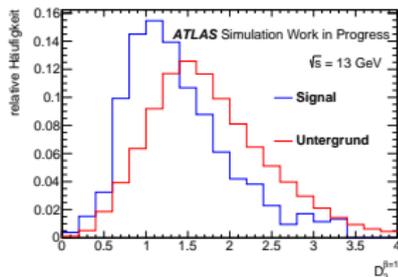
- ▶ $E_{\text{T}}^{\text{miss}}$ -Trigger
- ▶ Lepton-Veto
- ▶ $p_{\text{T}}^{\text{miss}} > 30 \text{ GeV}$
für 0,1 b -Jets

Anti-QCD-Schnitte

- ▶ $\min \Delta\phi(j, E_{\text{T}}^{\text{miss}}) > 0.4$
- ▶ $\Delta\phi(J/jj, E_{\text{T}}^{\text{miss}}) > 2.1$
- ▶ $\Delta\phi(E_{\text{T}}^{\text{miss}}, p_{\text{T}}^{\text{miss}}) < \pi/2$

Merged: $E_{\text{T}}^{\text{miss}} > 250 \text{ GeV}$

- ▶ ≥ 1 Jets mit großem Radiusparameter ($p_{\text{T}} > 200 \text{ GeV}$)
- ▶ Veto auf nicht-assoziierte b -Jets
- ▶ W/Z -Tagger ($m_J, D_2^{\beta=1}$)



Resolved: $E_{\text{T}}^{\text{miss}} > 150 \text{ GeV}$

- ▶ Ereignis nicht in Merged-Kategorie
- ▶ ≥ 2 Jets mit kleinem Radiusparameter ($p_{\text{T}} > 20 \text{ GeV}$)
- ▶ $\Delta\phi(j, j) < 2.4$
- ▶ $\Delta R(j, j) < 1.4$ (2 b -Jets: 1.25)
- ▶ $p_{\text{T}}^{\text{leading jet}} > 45 \text{ GeV}$
- ▶ $\sum p_{\text{T}}^{j1, j2, (j3)} > 120 (150) \text{ GeV}$
- ▶ 2 oder weniger b -Jets
- ▶ m_{jj} im W/Z -Massenfenster

Ereignisselektion

Baseline

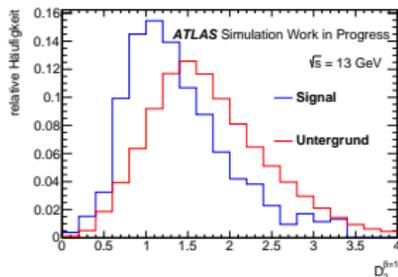
- ▶ $E_{\text{T}}^{\text{miss}}$ -Trigger
- ▶ Lepton-Veto
- ▶ $p_{\text{T}}^{\text{miss}} > 30 \text{ GeV}$
für 0,1 b -Jets

Anti-QCD-Schnitte

- ▶ $\min \Delta\phi(j, E_{\text{T}}^{\text{miss}}) > 0.4$
- ▶ $\Delta\phi(J/jj, E_{\text{T}}^{\text{miss}}) > 2.1$
- ▶ $\Delta\phi(E_{\text{T}}^{\text{miss}}, p_{\text{T}}^{\text{miss}}) < \pi/2$

Merged: $E_{\text{T}}^{\text{miss}} > 250 \text{ GeV}$

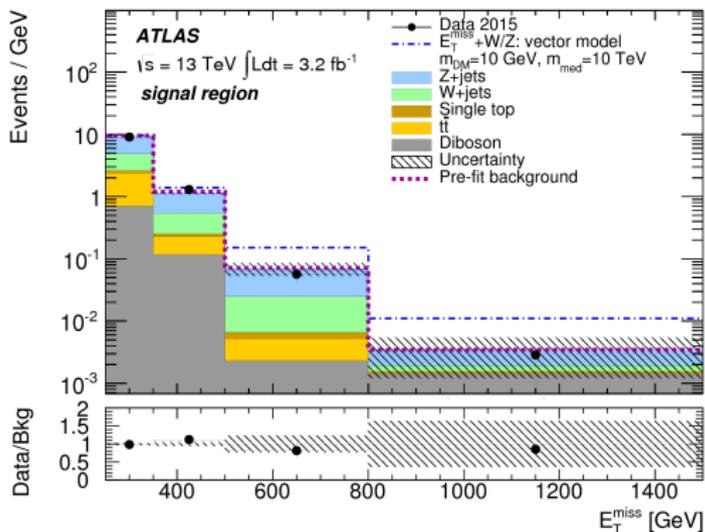
- ▶ ≥ 1 Jets mit großem Radiusparameter ($p_{\text{T}} > 200 \text{ GeV}$)
- ▶ Veto auf nicht-assoziierte b -Jets
- ▶ W/Z -Tagger ($m_J, D_2^{\beta=1}$)



Resolved: $E_{\text{T}}^{\text{miss}} > 150 \text{ GeV}$

- ▶ Ereignis nicht in Merged-Kategorie
- ▶ ≥ 2 Jets mit kleinem Radiusparameter ($p_{\text{T}} > 20 \text{ GeV}$)
- ▶ $\Delta\phi(j, j) < 2.4$
- ▶ $\Delta R(j, j) < 1.4$ (2 b -Jets: 1.25)
- ▶ $p_{\text{T}}^{\text{leading jet}} > 45 \text{ GeV}$
- ▶ $\sum p_{\text{T}}^{j1, j2, (j3)} > 120$ (150) GeV
- ▶ 2 oder weniger b -Jets
- ▶ m_{jj} im W/Z -Massenfenster

Ereigniskategorien und Statistische Auswertung



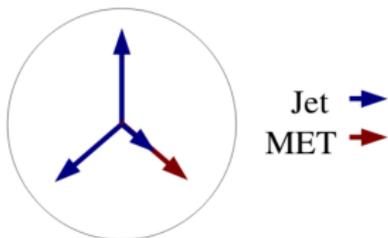
		# of b-tagged jets		
		0	1	2
# of leptons	0	SR W/Z mass side-band	SR W/Z mass side-band	SR W/Z mass side-band
	1	CR, W+jets	CR, W+jets, $t\bar{t}$	CR, W+jets, $t\bar{t}$
	2	CR, Z+ jets	CR, Z+ jets	CR, Z+ jets

Ereigniskategorien

- ▶ Profile-Likelihood-Fit in E_T^{miss}
- ▶ 0 Lepton Signalregion, 1 Lepton- und 2 Lepton Kontrollregion für dominante Untergründe mit 0, 1, and 2 b-tag Kategorien
- ▶ QCD-Abschätzung aus Daten notwendig, insbesondere für kleinere E_T^{miss} -Beiträge (Resolved-Analyse)

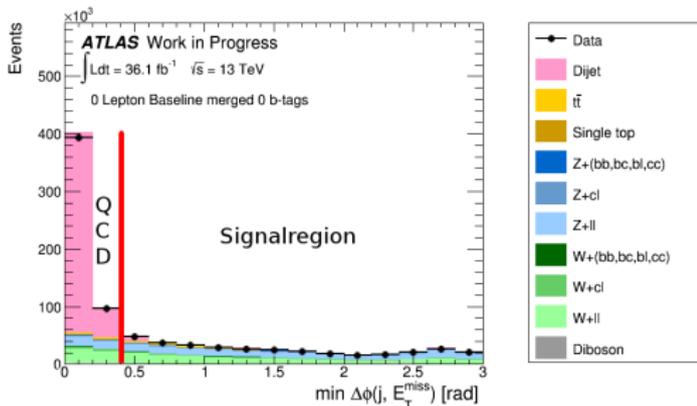
QCD-Untergrund-Abschätzung

- ▶ Quelle für E_T^{miss} in QCD:
Fehlerhafte Messung der
Jet-Energie
- ▶ E_T^{miss} ist für
QCD-Multijet-Prozess
meist kollinear zu einem
der Jets



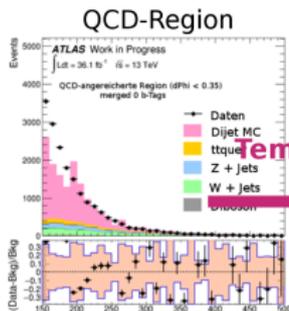
Diskriminierende Variable

$$\Delta\phi := \min_{i=1,2,3} \Delta\phi(\vec{E}_T^{\text{miss}}, \vec{p}_{\text{jet},i})$$

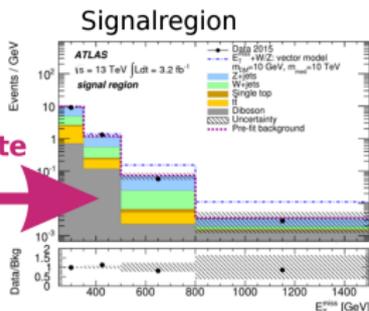


Datenbasierte Template-Methode

1. E_T^{miss} -Template aus QCD-Region mit $\Delta\phi < 0.4$ als **Daten - MC**



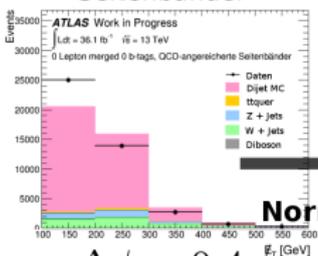
Template



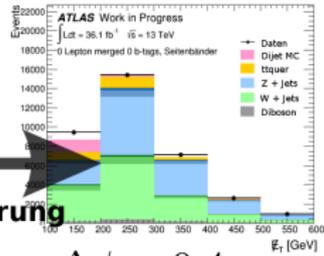
2. Bestimme Normierung der Template aus Maximum-Likelihood-Fit in Seitenbändern der W/Z -Masse

QCD-angereicherte Seitenbänder

Seitenbänder



Normierung



$\Delta\phi < 0.4$

$\Delta\phi > 0.4$

Methode wird separat angewendet für alle 6 Signalregionen (merged 0,1,2 b -tag, resolved, 0,1,2 b -tag)

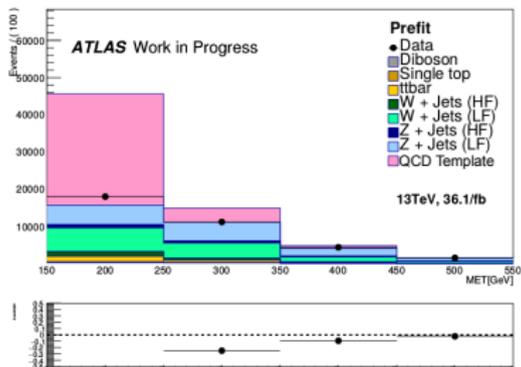
Datenbasierte Template-Methode

- ▶ Normierung des E_T^{miss} -Templates durch Effizienz des $\Delta\phi$ -Schnitts

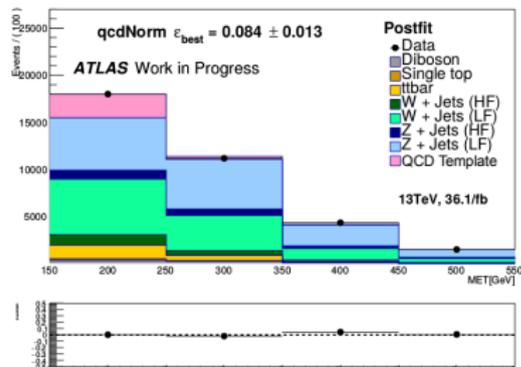
$$\varepsilon = \frac{n_{\text{Signal}}}{n_{\text{QCD}}}$$

- ▶ Bestimme Normierung durch Maximum-Likelihood-Fit der E_T^{miss} -Verteilung in Seitenbändern der W/Z -Masse

Vor Fit in Seitenband-Region



Seitenband-Region, post-fit



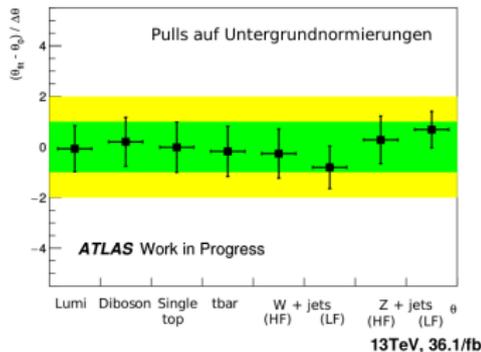
Datenbasierte Template-Methode

- ▶ Normierung des E_T^{miss} -Templates durch Effizienz des $\Delta\phi$ -Schnitts

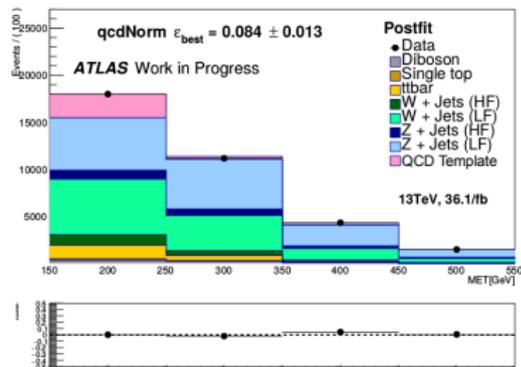
$$\varepsilon = \frac{n_{\text{Signal}}}{n_{\text{QCD}}}$$

- ▶ Bestimme Normierung durch Maximum-Likelihood-Fit der E_T^{miss} -Verteilung in Seitenbändern der W/Z -Masse

Fit in Seitenband-Region

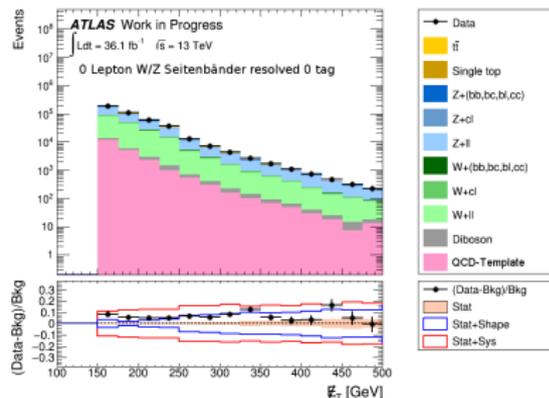
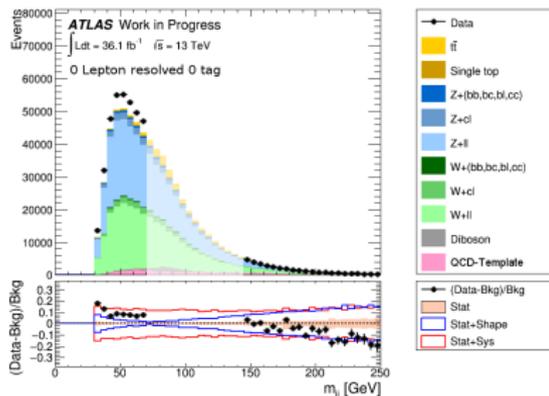


Seitenband-Region, post-fit



Ergebnis der QCD-Abschätzung

Verteilungen mit QCD-Templates als Input für statistische Analyse (Seitenbänder)



Anteil von QCD-Ereignissen am Untergrund in Signalregion

	0 b -tag	1 b -tag	2 b -tag
merged	1.1 %	1.2%	2.1 %
resolved	2.0%	1.1%	1.4%

Systematische Unsicherheiten der QCD-Abschätzung

- ▶ **Normierungs-Unsicherheit:**
Unsicherheit aus Maximum-Likelihood-Fit
- ▶ **Modellierungs-Unsicherheit:**
Template = **Daten - MC**, somit abhängig von Modellierung anderer Untergründe. Fehlerabschätzung durch Fits mit Variation der Untergrund-Normierungen
- ▶ **Extrapolations-Unsicherheit:** Normierung des Template wird mit gelockerten Anti-QCD-Schnitten bestimmt. Fehlerabschätzung mittels Differenz zur Template-Bestimmung mit Anwendung der vollen Anti-QCD-Schnitte

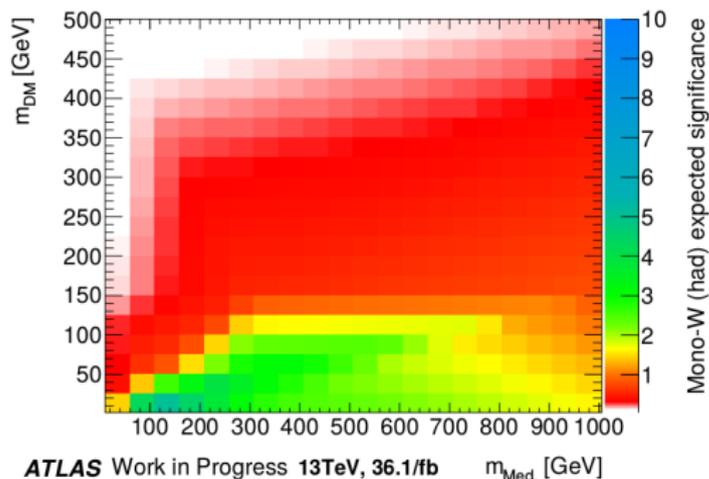
Unsicherheiten werden quadratisch addiert:

Pro Region ein Nuisance Parameter im statistischen Modell

Sensitivität der Analyse

Maß für Sensitivität der Analyse:

- ▶ erwartete Signifikanz ($\approx s/\sqrt{b}$)



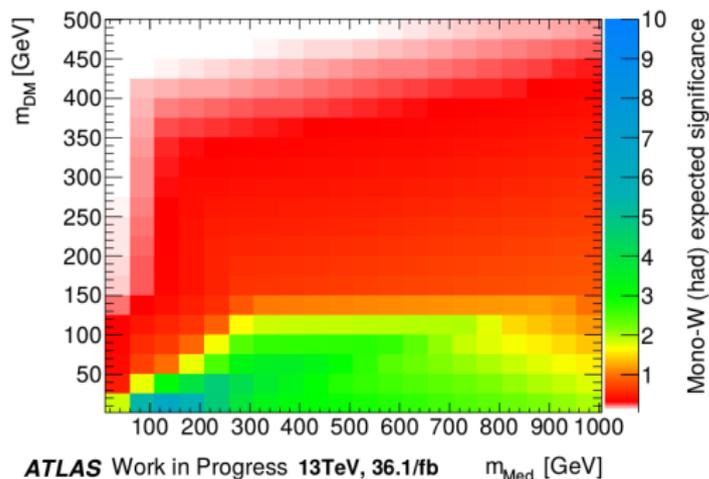
Verbesserungen durch:

- ▶ Hinzufügen der Resolved-Region
- ▶ Hinzufügen der B-Tagging Kategorien
- ▶ Datenbasierte Multijet-Abschätzung

Sensitivität der Analyse

Maß für Sensitivität der Analyse:

- ▶ erwartete Signifikanz ($\approx s/\sqrt{b}$)



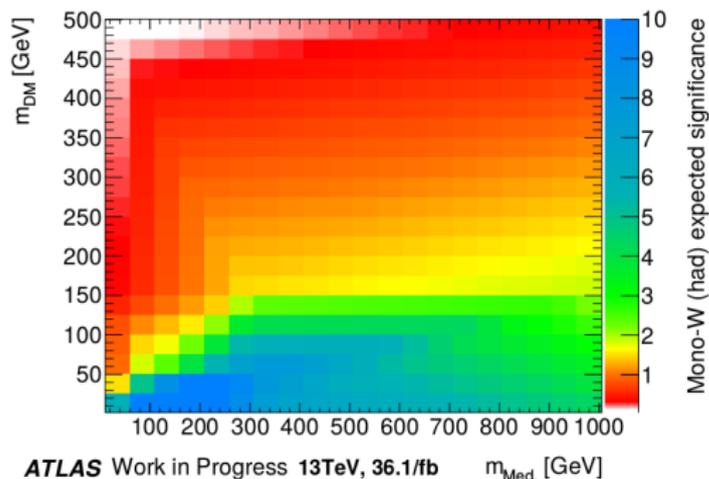
Verbesserungen durch:

- ▶ Hinzufügen der Resolved-Region
- ▶ Hinzufügen der B-Tagging Kategorien
- ▶ Datenbasierte Multijet-Abschätzung

Sensitivität der Analyse

Maß für Sensitivität der Analyse:

- ▶ erwartete Signifikanz ($\approx s/\sqrt{b}$)



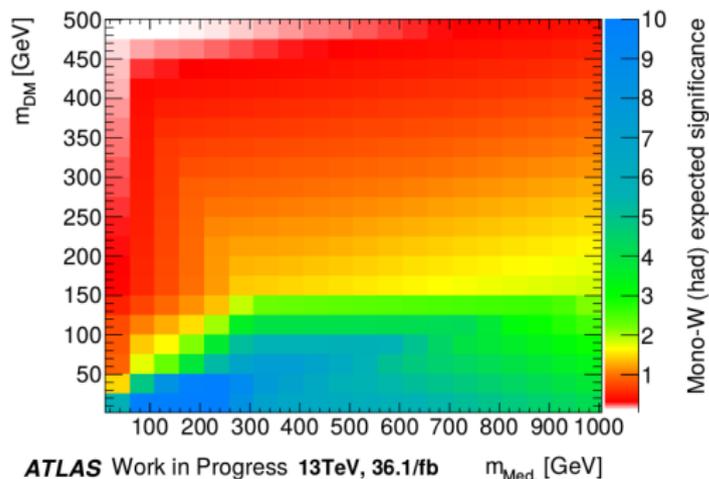
Verbesserungen durch:

- ▶ Hinzufügen der Resolved-Region
- ▶ Hinzufügen der B-Tagging Kategorien
- ▶ Datenbasierte Multijet-Abschätzung

Sensitivität der Analyse

Maß für Sensitivität der Analyse:

- ▶ erwartete Signifikanz ($\approx s/\sqrt{b}$)



Verbesserungen durch:

- ▶ Hinzufügen der Resolved-Region
- ▶ Hinzufügen der B-Tagging Kategorien
- ▶ Datenbasierte Multijet-Abschätzung

Zusammenfassung

- ▶ Suche nach Dunkler Materie in Assoziation mit hadronisch zerfallendem W/Z -Boson am ATLAS-Experiment
- ▶ QCD-Untergrund wurde abgeschätzt mit datenbasierter Template-Methode
- ▶ ATLAS Mono- W/Z -Suche ist vor allem für DM-Teilchen bis 150 GeV und leichte Mediatoren sensitiv
- ▶ Ausblick: Mono- W/Z besonders relevant für neue, konsistente Modelle Dunkler Materie (Zwei-Higgs-Dublett mit pseudoskalarem Mediator, [🔗 arxiv:1701.07427](https://arxiv.org/abs/1701.07427))