

Untergrundbestimmung für die Suche nach dem $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ Zerfallskanal mit dem ATLAS-Detektor

Johanna Bronner, Sandra Kortner,
Sergey Kotov, Hubert Kroha, Sebastian Stern
Max-Planck-Institut für Physik, München



DPG Frühjahrstagung 2011



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

- Der $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$ Kanal ist ein Schlüsselkanal für Higgssuchen im Massenbereich:

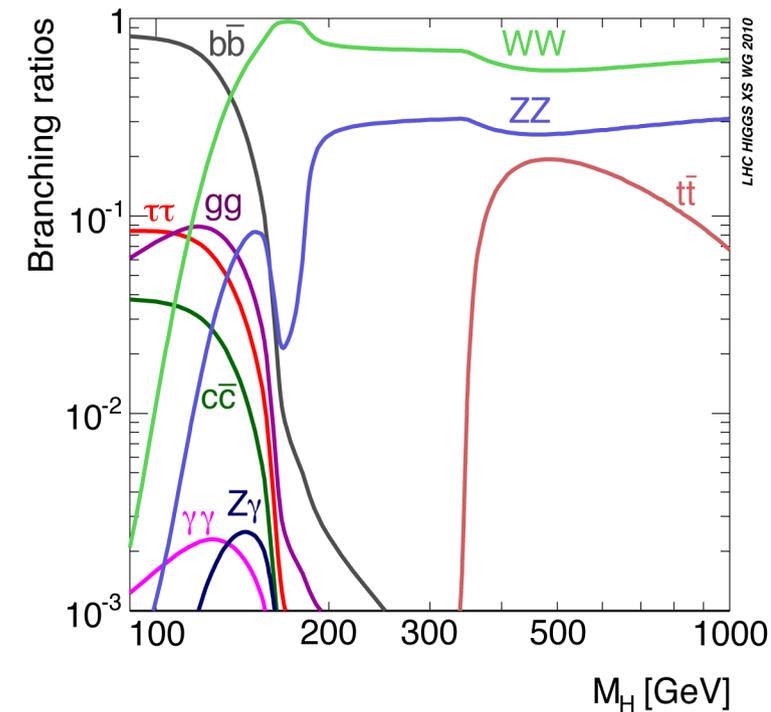
$$120 < M_H < 200 \text{ GeV}$$

- **Signatur:**

- Zwei harte, isolierte Leptonen aus dem W-Zerfall.
- Hohe fehlende transversale Energie (E_T^{miss}).

- **Die wichtigsten Untergrundprozesse:**

- $WW (l\nu l\nu)$
- top ($t\bar{t}$ und single top)
- **$W (\rightarrow l\nu) + \text{jets}$**
- $Z (\rightarrow ll) + \text{jets}$
- Die Untergrundbeiträge im Signalbereich können aus Kontrolldatensätzen abgeschätzt werden.





- **Definition eines Kontrollbereichs** in Daten der angereichert ist mit dem zu bestimmenden Untergrund z.B. durch:
 - Lockern der Schnittkriterien,
 - Umkehren von Schnittkriterien.

**Anzahl der Untergrundereignisse im Signalbereich =
gemessene Anzahl der Untergrundereignisse im Kontrollbereich X Skalierungsfaktor**

- **Skalierungsfaktor** bestimmbar aus simulierten Daten oder aus weiterem Kontrolldatensatz.
 - **W+jet-Kontrollbereich:**
 - Forderung nur eines Leptons, welches alle Kriterien des Signalbereichs erfüllt. (Lepton aus dem W-Zerfall: isoliert)
 - Forderung eines zweiten Leptons, welches nur lockerere Kriterien erfüllen muss. (Lepton aus dem Jet: schwächere Isolierungskriterien)
- Zulassung von Ereignissen mit Leptonen aus Jets

=> Mögliche Verunreinigung durch QCD-Multijet-Ereignisse!

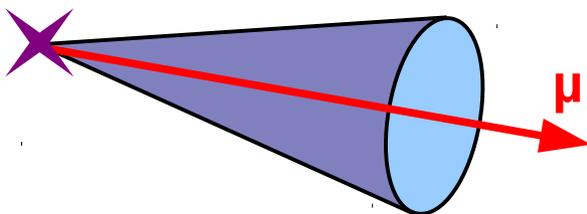
QCD im W+jet-Kontrollbereich



- Die Lockerung der Leptonkriterien im W+jet-Kontrollbereich kann zu Verunreinigungen durch QCD-Prozesse führen.
- QCD-Beitrag nicht verlässlich durch Monte-Carlo-Simulation beschrieben => Abschätzung aus Daten notwendig!
- $\mu\nu\mu\nu$ -Kanal: harte Myonen kommen hauptsächlich aus $b\bar{b}$ -Ereignissen => Myonen haben signifikante Stoßparameter und sind nicht isoliert im Vergleich zu Myonen aus einem W-Zerfall.

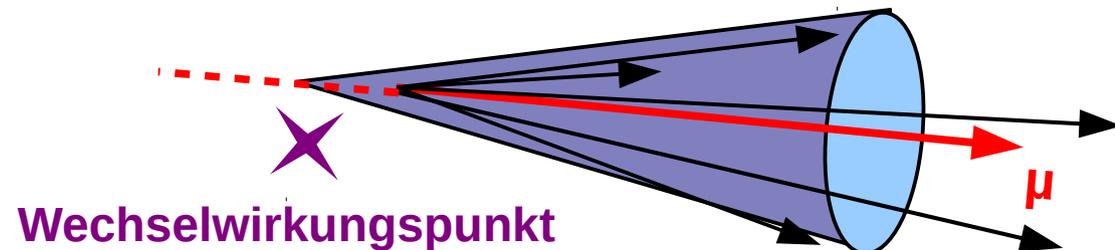
μ aus einem W-Zerfall:

- wenig Aktivität um das Myon (isoliert).
- entspringt im Wechselwirkungspunkt (kleine Stoßparameter).



μ aus einem B-Zerfall:

- viel Jetaktivität um das Myon (nicht isoliert).
- entspringt nicht im Wechselwirkungspunkt (große Stoßparameter).



W+jet- und $b\bar{b}$ -Kontrollbereich



H → WW-Signalbereich:

2 Myonen mit:

- $ISO_{calo} = \sum p_T^{calo}/p_T < 0.15$
- $ISO_{track} = \sum p_T^{track}/p_T < 0.1$
- Stoßparameter-Signifikanz
= $d_0/\sigma(d_0) < 10$

W+jet-Kontrollbereich:

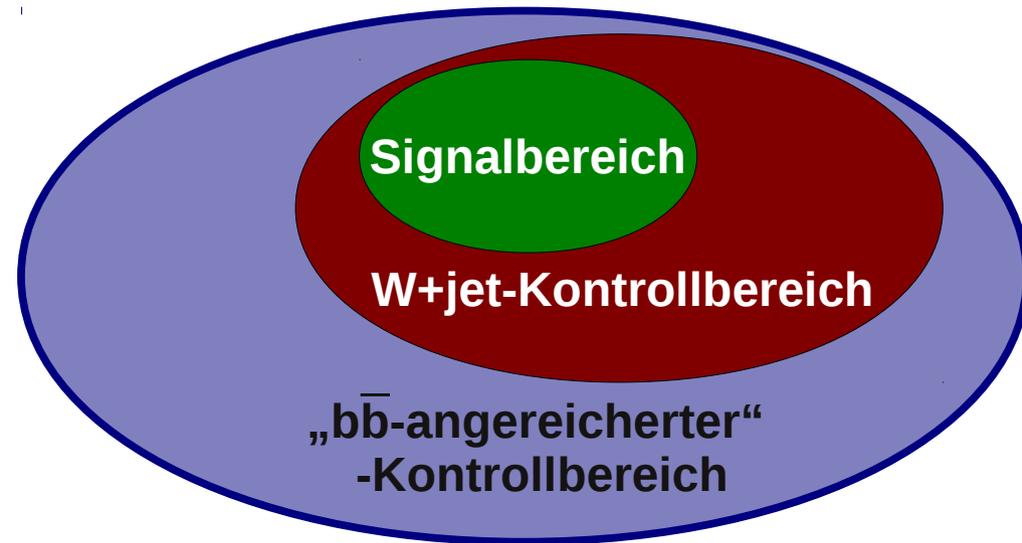
1. Myon mit:

- $ISO_{calo} < 0.15$
- $ISO_{track} < 0.1$
- Stoßparameter-Signifikanz < 10

„ $b\bar{b}$ -angereicherter“-Kontrollbereich:

1. Myon mit:

- ~~$ISO_{calo} < 0.15$~~
- $ISO_{track} < 0.1$
- ~~Stoßparameter Signifikanz < 10~~



2. Myon mit:

- $ISO_{calo} < 0.3$
- ~~$ISO_{track} < 0.1$~~
- ~~Stoßparameter Signifikanz < 10~~

2. Myon mit:

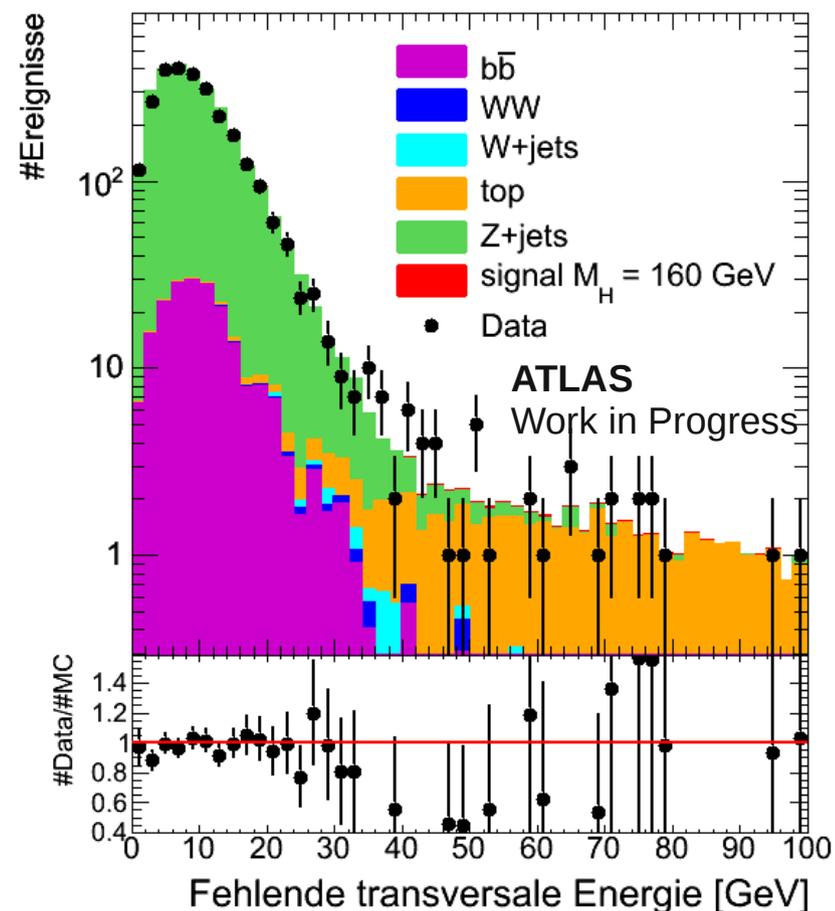
- $ISO_{calo} < 0.3$
- ~~$ISO_{track} < 0.1$~~
- ~~Stoßparameter Signifikanz < 10~~

$b\bar{b}$ -Kontrollbereich: Daten und Simulation



“ $b\bar{b}$ -angereicherter“-Kontrollbereich nach allen Schnitten der Vorselektion außer dem Schnitt auf die fehlende transversale Energie

- Gute Übereinstimmung von Daten und Simulation.
- **dominiert vom Z+jet-Untergrund für niedrige fehlende transversale Energien.**
- **dominiert vom top-Untergrund für hohe fehlende transversale Energien.**
- **$b\bar{b}$ hat signifikanten Beitrag!** (obwohl nicht dominant nach der Vorselektion)
- Nach einem Schnitt auf die fehlende transversale Energie, ist die Statistik von Daten und der Simulation nicht ausreichend um den $b\bar{b}$ -Untergrund abschätzen zu können.



$b\bar{b}$ -Untergrundabschätzung wird vor dem E_T^{miss} -Schnitt durchgeführt!

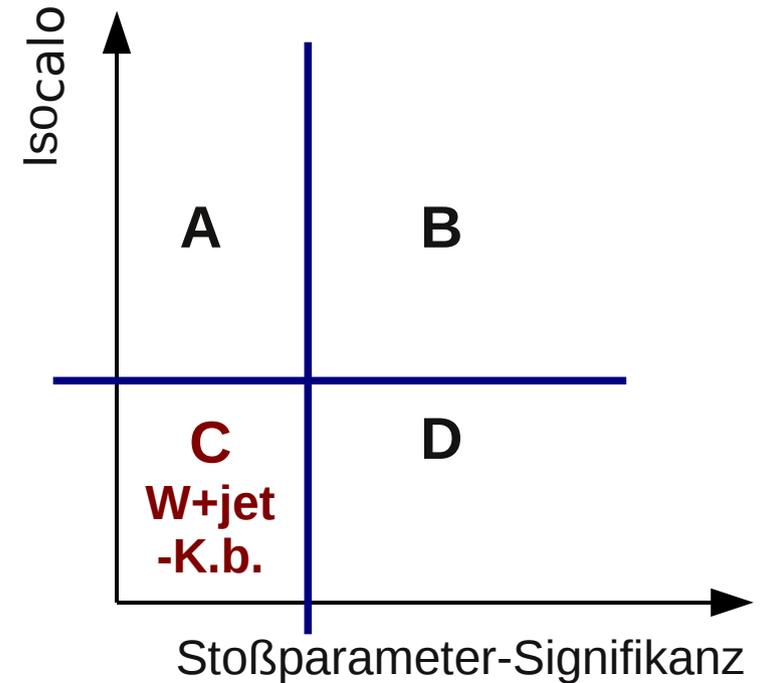
Das Prinzip: „ABCD-Methode“



Bestimmung des $b\bar{b}$ -Beitrags im W+jet-Kontrollbereich:

“ $b\bar{b}$ -angereicherter“-Kontrollbereich:

- 2D Verteilung: Iso_{calo} gegen Stoßparameter-Signifikanz
 - **Bereich C:** (kleine Iso_{calo} und kleine Stoßparameter-Signifikanz) **W+jet-Kontrollbereich.**
 - **Bereiche A, B und D:** (großes Iso_{calo} und große Stoßparameter-Signifikanz) dominiert von $b\bar{b}$ -Ereignissen.
- Bestimme $\#b\bar{b}$ -Ereignisse im Bereich **C** aus gemessener $\#$ Ereignisse in A, B und D.



$$\frac{A}{B} = \frac{C}{D}$$

(wenn Isolierung und Stoßparameter unkorreliert)

$$\mathbf{C \text{ (abgeschätzt)} = A/B * D}$$

- Bedingung: Iso_{calo} und Stoßparameter-Signifikanz unkorreliert

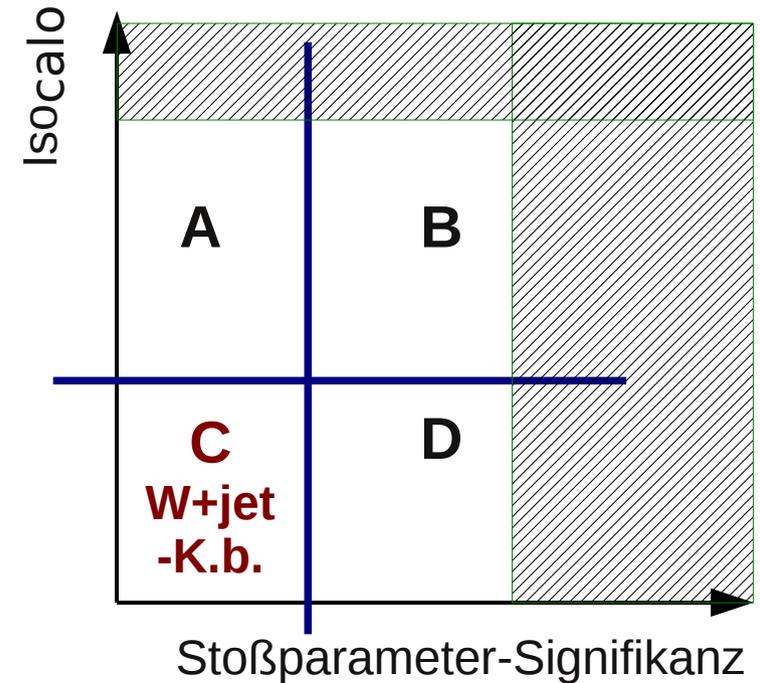
Das Prinzip: „ABCD-Methode“



Bestimmung des $b\bar{b}$ -Beitrags im W+jet-Kontrollbereich:

“ $b\bar{b}$ -angereicherter“-Kontrollbereich:

- 2D Verteilung: Iso_{calo} gegen Stoßparameter-Signifikanz
 - **Bereich C:** (kleine Iso_{calo} und kleine Stoßparameter-Signifikanz) **W+jet-Kontrollbereich.**
 - **Bereiche A, B und D:** (großes Iso_{calo} und große Stoßparameter-Signifikanz) dominiert von $b\bar{b}$ -Ereignissen.
- Bestimme $\#b\bar{b}$ -Ereignisse im Bereich **C** aus gemessener $\#$ Ereignisse in A, B und D.



$A/B = C/D$
(wenn Isolierung und Stoßparameter unkorreliert)

$$C \text{ (abgeschätzt)} = A/B * D$$

- Bedingung: Iso_{calo} und Stoßparameter-Signifikanz unkorreliert
- **Obere Grenzen auf A, B und D um Korrelationen zu verringern.**

Test der ABCD-Methode mit $b\bar{b}$ -Simulation (I)

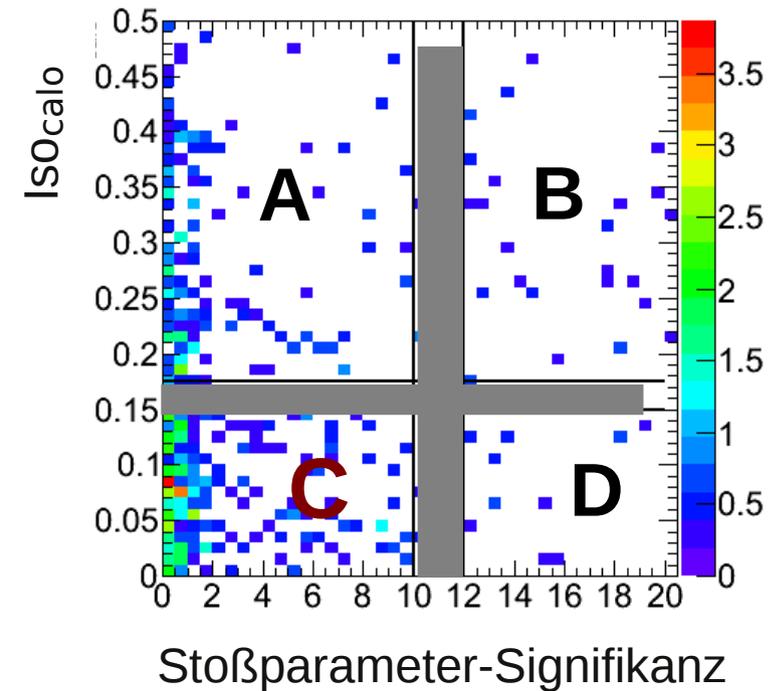


Aufgezeichnete Datenmenge: $\int L dt = 35 \text{ pb}^{-1}$

$b\bar{b}$ Monte-Carlo Statistik: $= 980 \text{ pb}^{-1}$

W+jet-Kontrollbereich

C : $d_0/\sigma(d_0) < 10 ; \text{ISO}_{\text{calo}} < 0.15$



Kontrollbereiche für die $b\bar{b}$ -Abschätzung:

A : $d_0/\sigma(d_0) < 10 ; \text{ISO}_{\text{calo}} > 0.175$

B : $d_0/\sigma(d_0) > 12 ; \text{ISO}_{\text{calo}} > 0.175$

D : $d_0/\sigma(d_0) > 12 ; \text{ISO}_{\text{calo}} < 0.15$

Test der ABCD-Methode mit $b\bar{b}$ -Simulation (II)

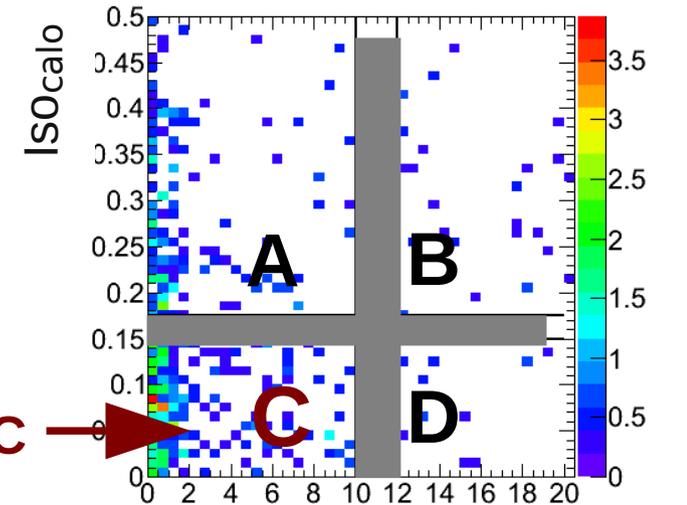


keine oberen Grenzen:

normiert auf $L = 35 \text{ pb}^{-1}$

Sample	A	B	C	D	C (abgeschätzt)
$b\bar{b}$	67 ± 5	18 ± 3	91 ± 6	6 ± 2	23 ± 7

W+jet-Kontrollbereich C



Abschätzung der Anzahl an $b\bar{b}$ -Ereignissen im W+jet-Kontrollbereich über:

$$\mathbf{C \text{ (abgeschätzt)} = A/B * D}$$

Abschätzung unterschätzt tatsächliche Anzahl an $b\bar{b}$ -Ereignissen im Bereich C auf Grund von Korrelationen zwischen Stoßparameter-Signifikanz und der Isolierungsvariablen (ISOcalo).

Idee: Einschränkung der Bereiche A,B und D durch obere Grenzen.

Test der ABCD-Methode mit $b\bar{b}$ -Simulation (II)



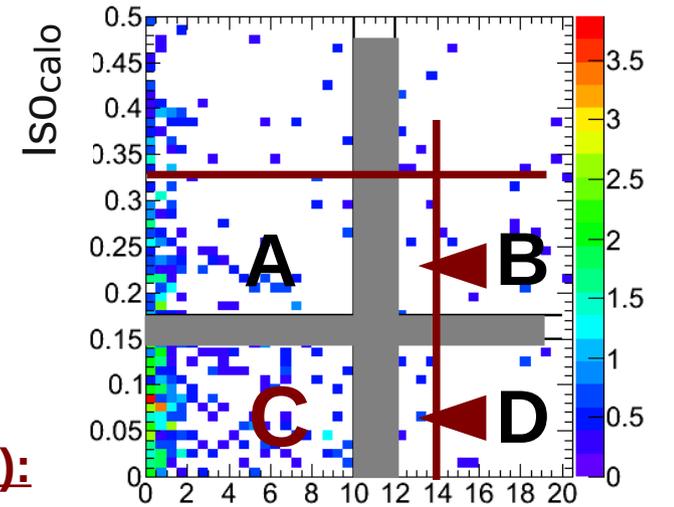
keine oberen Grenzen:

normiert auf $L = 35 \text{ pb}^{-1}$

Sample	A	B	C	D	C (abgeschätzt)
bb	67 ± 5	18 ± 3	91 ± 6	6 ± 2	23 ± 7

strenge oberen Grenzen ($d_0/\sigma(d_0) < 13.9$; $ISO_{\text{calo}} < 0.33$):

Sample	A	B	C	D	C (abgeschätzt)
bb	38 ± 4	1 ± 0.6	91 ± 6	2.1 ± 0.9	82 ± 60



Stoßparameter-Signifikanz

Gutes abgeschätztes Ergebnis aber sehr großer statistischer Fehler.

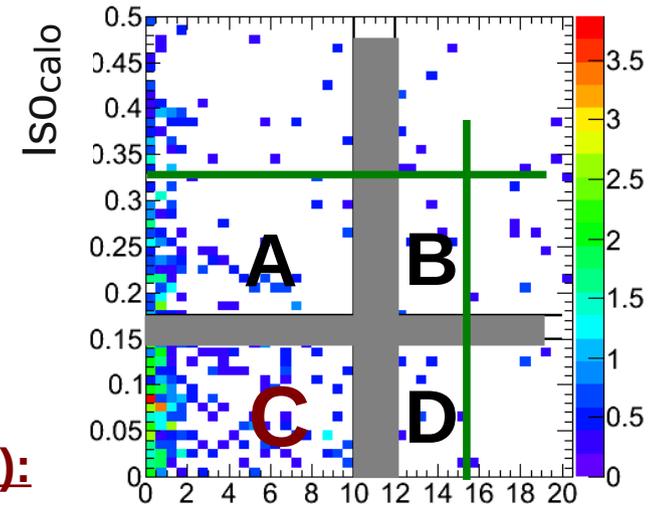
Test der ABCD-Methode mit $b\bar{b}$ -Simulation (II)



keine oberen Grenzen:

normiert auf $L = 35 \text{ pb}^{-1}$

Sample	A	B	C	D	C (abgeschätzt)
bb	67 ± 5	18 ± 3	91 ± 6	6 ± 2	23 ± 7



strenge oberen Grenzen ($d_0/\sigma(d_0) < 13.9$; $ISO_{calo} < 0.33$):

Sample	A	B	C	D	C (abgeschätzt)
bb	38 ± 4	1 ± 0.6	91 ± 6	2.1 ± 0.9	82 ± 60

Stoßparameter-Signifikanz

Gutes abgeschätztes Ergebnis aber sehr großer statistischer Fehler.

lockere obere Grenzen ($d_0/\sigma(d_0) < 15.7$; $ISO_{calo} < 0.33$):

Sample	A	B	C	D	C (abgeschätzt)
bb	38 ± 4	1.9 ± 0.8	91 ± 6	2.7 ± 1	54 ± 31

Ergebnis akzeptabel mit kleinerem statistischen Fehler = **Guter Kompromiss!**
Systematische Unsicherheit durch Variation der oberen Grenzen vereinbar mit statistischen Fehlern.

ABCD-Bereiche aller simulierten Prozesse



Prozess	A	B	C	D
signal ($M_H = 160$ GeV)	$17 \cdot 10^{-5} \pm 9 \cdot 10^{-5}$	0 ± 0	0.984 ± 0.007	$4 \cdot 10^{-5} \pm 5 \cdot 10^{-5}$
$b\bar{b}$	38 ± 4	1.9 ± 0.8	91 ± 6	2.7 ± 1
W+jets	0 ± 0	0 ± 0	4 ± 1	0 ± 0
Z+jets	1.4 ± 0.7	0 ± 0	2512 ± 29	0.08 ± 0.09
$t\bar{t}$	0.03 ± 0.02	0 ± 0	59.5 ± 0.6	0.03 ± 0.02
WW	0.0011 ± 0.0006	0 ± 0	4.87 ± 0.04	0.0002 ± 0.0003
alle Untergründe	40 ± 4	2.0 ± 0.8	2672 ± 36	3 ± 1

normiert auf $L = 35 \text{ pb}^{-1}$

- $b\bar{b}$ -Beitrag dominant in allen drei für ABCD-Methode notwendigen Bereichen A, B und D.
- Kleinere Beiträge von Z+jets und Top in A- und D-Bereichen.
 - Gute Beschreibung der Daten durch Z+jet- und Top-Monte-Carlo-Simulation.
=> Verwendung der Monte-Carlo-Vorhersage zum subtrahieren dieser Beiträge in Bereichen A und D legitim!

ABCD-Methode an Daten



Prozess	A	B	C	D
signal ($M_H = 160$ GeV)	$17 \cdot 10^{-5} \pm 9 \cdot 10^{-5}$	0 ± 0	0.984 ± 0.007	$4 \cdot 10^{-5} \pm 5 \cdot 10^{-5}$
$b\bar{b}$	38 ± 4	1.9 ± 0.8	91 ± 6	2.7 ± 1
W+jets	0 ± 0	0 ± 0	4 ± 1	0 ± 0
Z+jets	1.4 ± 0.7	0 ± 0	2512 ± 29	0.08 ± 0.09
$t\bar{b}$	0.03 ± 0.02	0 ± 0	59.5 ± 0.6	0.03 ± 0.02
WW	0.0011 ± 0.0006	0 ± 0	4.87 ± 0.04	0.0002 ± 0.0003
alle Untergründe	40 ± 4	2.0 ± 0.8	2672 ± 36	3 ± 1
Daten	32	4	2645	1

$$A = 32 - 1.4 \\ = 31 \pm 6$$

$$B = 4 \pm 1.9$$

$$D = 1 - 0.08 - 0.03 \\ = 0.9 \pm 0.8$$

Anzahl abgeschätzter $b\bar{b}$ -Ereignisse im W+jet-Kontrollbereich (**vor** dem E_T^{miss} -Schnitt):
C (abgeschätzt vor E_T^{miss}) = $A/B * D = 7 \pm 7$

Anzahl abgeschätzter $b\bar{b}$ -Ereignisse im W+jet-Kontrollbereich (**nach** dem E_T^{miss} -Schnitt):
 (Skalierung mit E_T^{miss} -Schnitteffizienz aus Monte-Carlo: 0.011 ± 0.007) :

$$C \text{ (abgeschätzt nach } E_T^{\text{miss}}) = C \text{ (vor } E_T^{\text{miss}}) * E_T^{\text{miss}}\text{-Schnitteffizienz (MC)} \\ = 0.07 \pm 0.09$$

(W+jet Ereignisse nach E_T^{miss} = 2.9 ± 0.9)

=> $b\bar{b}$ -Beitrag zum W+jet-Kontrollbereich vernachlässigbar!

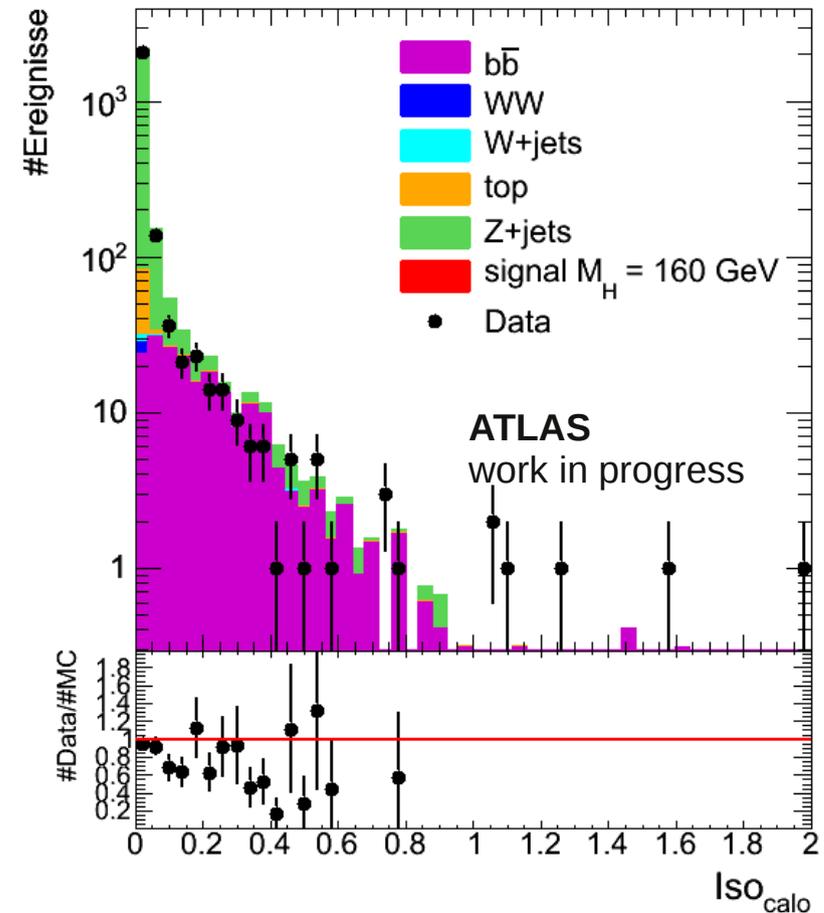
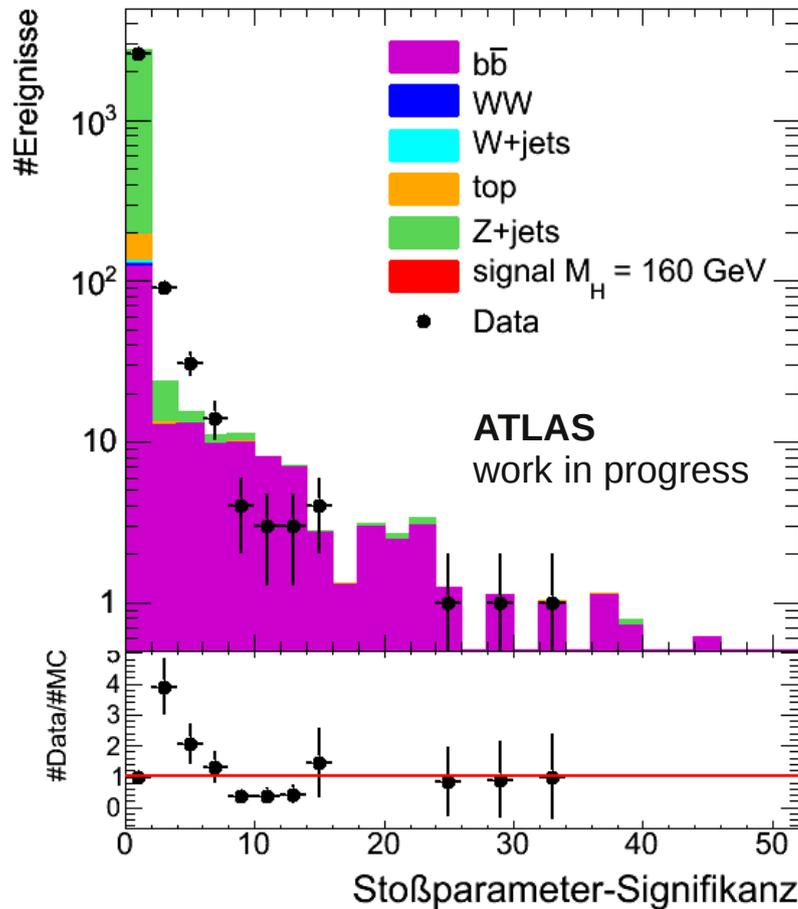
- Abschätzung des $b\bar{b}$ -Untergrunds im W +jet-Kontrollbereich der $H \rightarrow WW$ Analyse notwendig, da die Beschreibung durch Simulation nicht verlässlich ist.
- Vor allem im W +jet-Kontrollbereich kann auf Grund der lockereren Schnitte ein $b\bar{b}$ -Beitrag befürchtet werden.
- Anhand der ABCD-Methode kann der $b\bar{b}$ -Beitrag im W +jet-Kontrollbereich abgeschätzt werden.
- Ergebnis: Für die $H \rightarrow WW^* \rightarrow l\nu l\nu$ Analyse mit 7 TeV ATLAS-Daten von 2010 (Luminosität von 35 pb^{-1}) ist der $b\bar{b}$ -Beitrag kompatibel mit Null und kann vernachlässigt werden.

Backup

Stoßparameter-Signifikanz und Isolierung



Nach allen Schnitten der Vorselektion außer dem Schnitt auf die fehlende transversale Energie



Gute Übereinstimmung von Daten und Simulation für Z und top dominierte Bereiche.

Diskrepanz zwischen Daten und Simulation im $b\bar{b}$ -dominierten Bereich.