



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

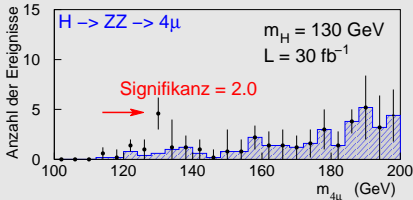
Sandra Horvat, Nectarios Benekos, Oliver Kortner und Hubert Kroha

Untersuchungen des Kanals $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$
im ATLAS-Detektor
mit vollständiger Detektorsimulation

Einleitung

Der Zerfallskanal $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ ($\ell = e, \mu$) bietet eine der klarsten Higgs-Signaturen im ATLAS-Detektor.

Auswertung des Entdeckungspotentials im ATLAS-Detektor anhand detaillierter Detektorsimulation (niedrige Luminosität, bis 30 fb^{-1}):

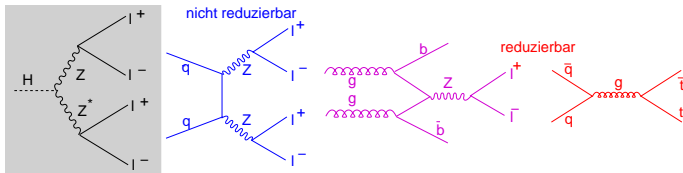


⇒ bisherige Studie mit 4 Myonen im Endzustand (DPG Tagung 2005)

Erreicht man in Kombination mit Elektronen die 5σ -Signifikanz?

- ATLAS-Software hat sich entwickelt → neue Datensätze.
- Optimierung der Schnitte zur Unterdrückung des Untergrunds.
- Ergebnisse.

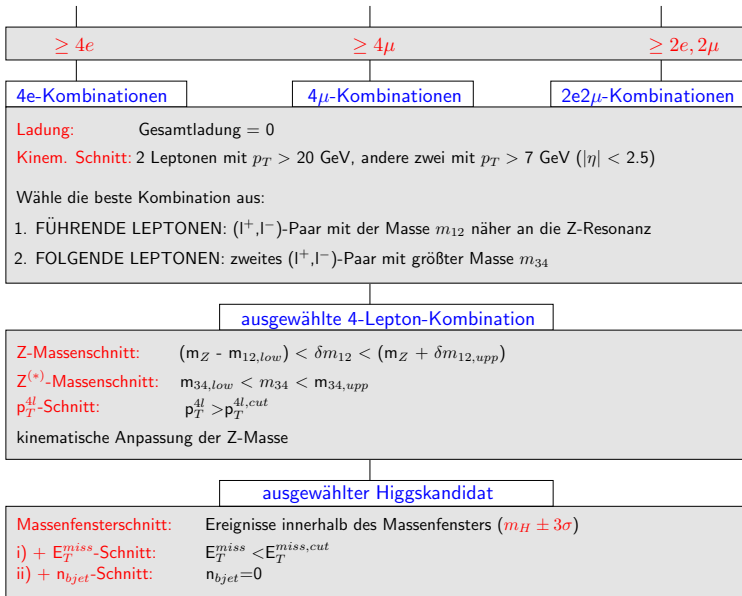
Simulierte Signal- und Untergrundprozesse



Prozess	$\sigma \times \text{BR}$ (fb) (nach dem 4 ℓ -Filter)	$N_{30\text{fb}^{-1}}$	$N_{\text{rekonstruiert}}$
$gg \rightarrow H \rightarrow 4\ell$, 130 GeV	1.624	48.72	60 000
$gg \rightarrow H \rightarrow 4\ell$, 180 GeV	1.656	49.68	15 000
$gg \rightarrow H \rightarrow 4\ell$, 280 GeV	4.397	131.9	32 000
reduzierbar: $t\bar{t} \rightarrow \nu\bar{\nu}b\bar{b}$	1311	39330	442 000
reduzierbar: $Zb\bar{b} \rightarrow \ell\bar{\ell}b\bar{b}$	519.9	15597	53 000
irreduzierbar: $(ZZ^{(*)}, Z\gamma^{*}) \rightarrow 4\ell$	33.36	1000.8	109 000

- PYTHIA(+AcerMC)-Generatoren (4 ℓ -Filter mit $p_T > 5$ GeV/c, $|\eta| < 2.5$)
- Detaillierte Simulation der Prozesse im Detektor (Athena 10.0.4).
- Myonrekonstruktion: Effizienz 92%, p_T -Auflösung 2.5%
Elektronrekonstruktion: Effizienz 86%, p_T -Auflösung 4%
- Große Datensätze ermöglichen die Optimierung der Schnitte.

isolierte Leptonen normierter Stoßparameter

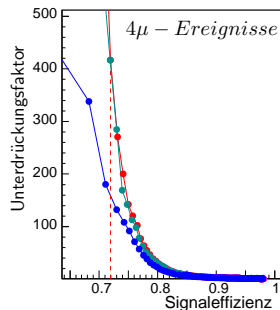
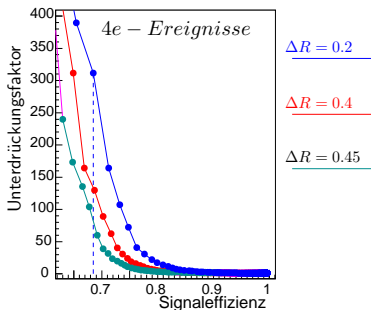
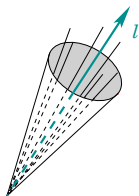


Isolierte Leptonen

Stärkste Unterdrückung der $t\bar{t}$ - und $Zb\bar{b}$ - Untergründe.

(2 von 4 Leptonen umgeben von Jet-Teilchen aus b-Zerfällen).

- \Rightarrow Maximale Energie $E_T^{max}(\Delta R)$ deponiert im Kegel ΔR um den Leptonenkandidaten herum, getrennt für Elektronen und Myonen:

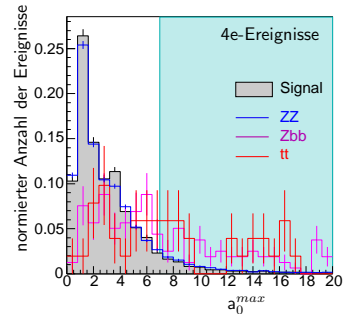
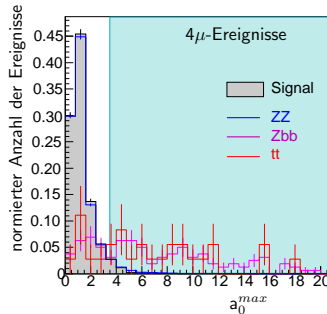
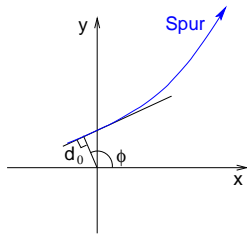


	Signaleffizienz	Unterdrückungsfaktor
Elektronen: $E_T(\Delta R = 0.2) < 6 \text{ GeV}$	0.68	320
Myonen: $E_T(\Delta R = 0.4) < 9 \text{ GeV}$	0.72	420

Normierter Stoßparameter

Leptonen aus b-Zerfällen versetzt vom primären Vertex.

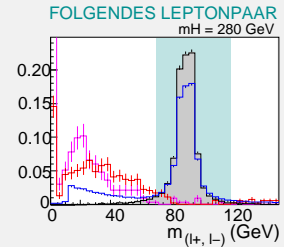
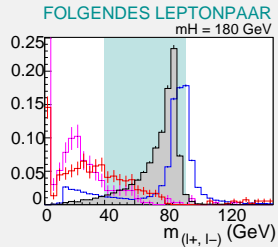
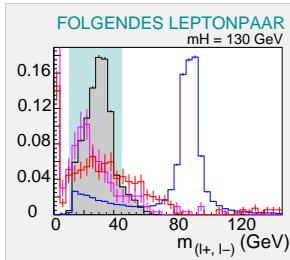
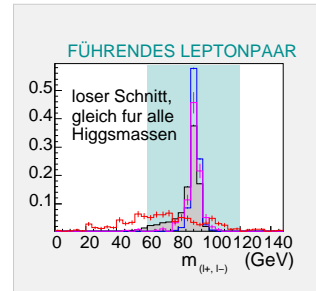
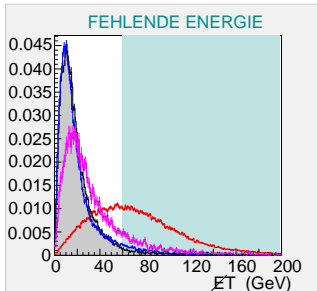
- d_0 - rekonstruierter Abstand vom primären Vertex
- Normierter Stoßparameter $a_0^{max} = \frac{d_0}{\sqrt{\text{Var}(d_0)}}$:



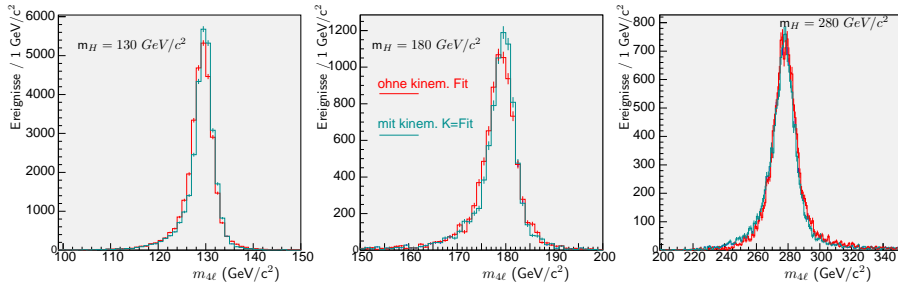
	Signaleffizienz	Unterdrückungsfaktor
Elektronen: $a_0^{max} < 7$	0.90	2.0
Myonen: $a_0^{max} < 3.4$	0.95	4.5

Zusätzliche diskriminierende Variablen

- fehlende Energie, Anzahl der b-jets, invariante Masse führender und folgender Leptonpaare



Higgsmassenauflösung



Kanal	σ für $m_H=130$ (GeV/c^2)	σ für $m_H=180$ (GeV/c^2)	σ für $m_H=280$ (GeV/c^2)
$H \rightarrow 4\mu$	1.94 (1.74)	2.82 (2.36)	7.79 (7.29)
$H \rightarrow 4e$	2.29 (2.26)	2.81 (2.53)	6.90 (6.68)
$H \rightarrow 2e2\mu$	2.18 (2.00)	2.79 (2.52)	7.11 (6.81)
$H \rightarrow 4\ell$	2.07 (1.85)	2.81 (2.45)	7.30 (6.81)
Δm (GeV/c^2)	5.6	7.3	20.4

- In Klammern: Werte nach dem kinematischen Fit der Z-Masse.
- Massenfenster für die Signalsignifikanz: $\Delta m = \pm 3\sigma$

Signalsignifikanz bei $L = 30 \text{ fb}^{-1}$

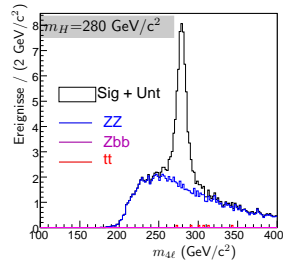
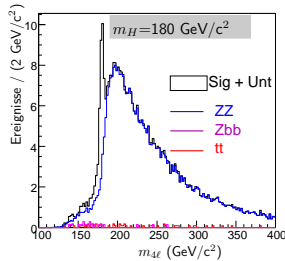
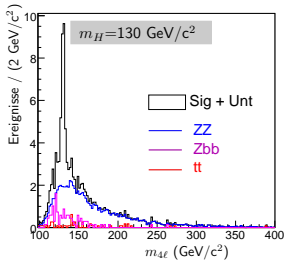
	$m_H = 130 \text{ GeV}/c^2$	$m_H = 180 \text{ GeV}/c^2$	$m_H = 280 \text{ GeV}/c^2$
N_{Signal}	19.7 ± 0.1	23.4 ± 0.3	53.0 ± 0.1
N_{ZZ}	12.0 ± 0.3	31.8 ± 0.5	35.2 ± 0.6
$N_{Zb\bar{b}}$	4 ± 2	1 ± 1	0 ± 2
$N_{t\bar{t}}$	0.7 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.4 ± 0.4
Signifikanz	4.1 ± 0.3	3.8 ± 0.2	7.4 ± 0.4
TDR-Studie	4.8	11.2	14.5

- Nach allen Schnitten dominiert der irreduzierbare ZZ-Untergrund.
- Große Abweichung von vorherigen (TDR-)Ergebnissen für $m_H \geq 180 \text{ GeV}/c^2$:
nur der ZZ^* -Untergrund betrachtet, kein ZZ-Beitrag.
- Verschlechterung der Elektronrekonstruktion spiegelt sich in der Signalsignifikanz wider:

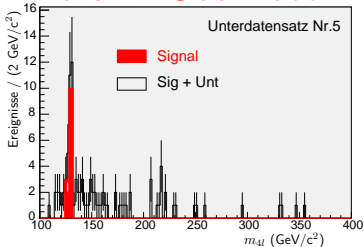
	$H \rightarrow 4e$	$H \rightarrow 4\mu$	$H \rightarrow 2e2\mu$	total
Signifikanz $m_H = 130 \text{ GeV}/c^2$	1.5	2.0	2.6	4.1
Raum für die Verbesserung der Rekonstruktion.				

Verteilung der invariante Masse

- Verteilungen nach unten skaliert, der Anzahl der Ereignisse bei 30 fb^{-1} entsprechend:

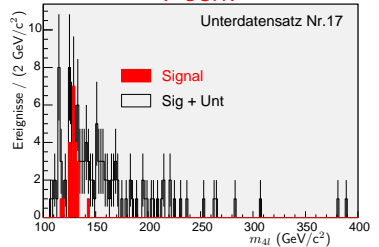


- Wirkliche Daten bei 30 fb^{-1} werden eher so aussehen (130 GeV):
falls wir Glück haben



(2 unabhängige
Unterdatensätze)

Pech!



Ensembletest mit Unterdatensätzen von 30 fb^{-1}

Extraktion des Signals aus Anpassung der 4ℓ -Massenverteilung:

- Test zweier Hypothesen,

1.) Funktion für **Untergrund** allein:

$$f_b(m_k) = N_b \cdot \alpha^2(m_k - \epsilon)e^{-\alpha(m_k - \epsilon)}$$

2.) Funktion für **Signal+Untergrund**:

$$f_{sb}(m_k) = \frac{N_s}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot e^{-\frac{(m_k - \mu)^2}{2\sigma^2}} + N_b \cdot \alpha^2(m_k - \epsilon)e^{-\alpha(m_k - \epsilon)}$$

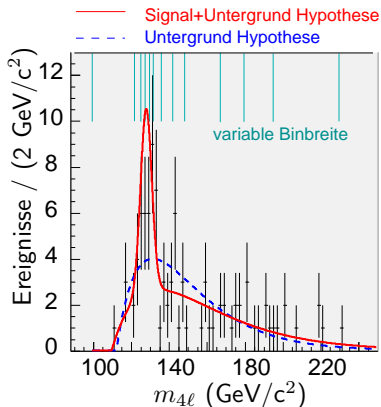
- Die Güte des Fits bestimmt die wahrscheinlichste Hypothese.
- **Signalsignifikanz** = $\frac{N_s}{\sqrt{\text{Var}(N_s)}}$.

Stabilität der Anpassung getestet mit 60 unabhängigen Unterdatensätzen, jeder mit der Anzahl der Ereignisse wie bei 30 fb^{-1} .

Niedrige Statistik → **variable Binbreite**, Inhalt der Bins konstant.

O.Kortner, Č.Zupančič, Nucl. Instr. And Meth. A 531 (2004)

Ergebnisse des Ensembletests für $m_H=130 \text{ GeV}/c^2$



	Fitergebnis	Bemerkung
$N_{good\ fits}$	54	max. 60
$\langle N_s - N_s^{true} \rangle$ (RMS)	2 (6)	$N_s^{true}=23$ (3)
$\langle N_b - N_b^{true} \rangle$ (RMS)	3 (12)	$N_b^{true}=86$ (10)
$\langle \frac{\chi_b^2 - \chi_{sb}^2}{\chi_{sb}^2} \rangle$ (RMS)	1.6 (1.0)	Hypothesentest
$\langle \text{Signf.} \rangle$ (RMS)	2.9 (0.6)	

- Genaue Trennung der Signal- und Untergrundbeiträge (N_s , N_b).
- Unterscheidung zweier Hypothesen möglich (χ_b^2 , χ_{sb}^2).
- Signalsignifikanz etwas niedriger als bei der Berechnung im bestimmten Massenfenster (aber innerhalb statistischer Fehler): Higgsmasse und -breite sind freie Parameter der Anpassung.

Potential für eine frühe Higgsentdeckung im Kanal $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ bewertet durch detaillierte Simulation der Physikprozesse im ATLAS, mit der aktuellsten Detektorbeschreibung und Rekonstruktionssoftware.

Große Datenmengen (monatelange Datenproduktion) ermöglichen die Optimierung der Schnitte und präzise Ermittlung der Signalsignifikanz:

- Verschlechterung der Signifikanz im Vergleich zum ATLAS-TDR, wegen Änderungen des Detektorlayouts und noch zu schaffenden Verbesserungen der Rekonstruktionsalgorithmen.
- Signalsignifikanz aus den gesamten Datensätzen (volle Statistik) bestätigt durch den Ensembletest mit Unterdatensätzen deren Grösse der integrierten Luminosität von 30 fb^{-1} entspricht.