

MSSM: $\phi \rightarrow b\bar{b}$

Johann Rauser
28. Januar 2016

INSTITUTE OF EXPERIMENTAL PARTICLE PHYSICS (IEKP) – PHYSICS FACULTY



1. LHC und CMS
2. MSSM und $\phi \rightarrow b\bar{b}$
3. Signal-Diskriminierung
4. Hintergrund
5. Ergebnisse

LHC und CMS



The Large Hadron Collider

- Construction costs: 4.1 billion \$
- Construction time : 14 years
- Circumference : 27 km
- No of dipoles : 1232
- Power : 120 MW
- Luminosity(8TeV) : 8 nb/sec



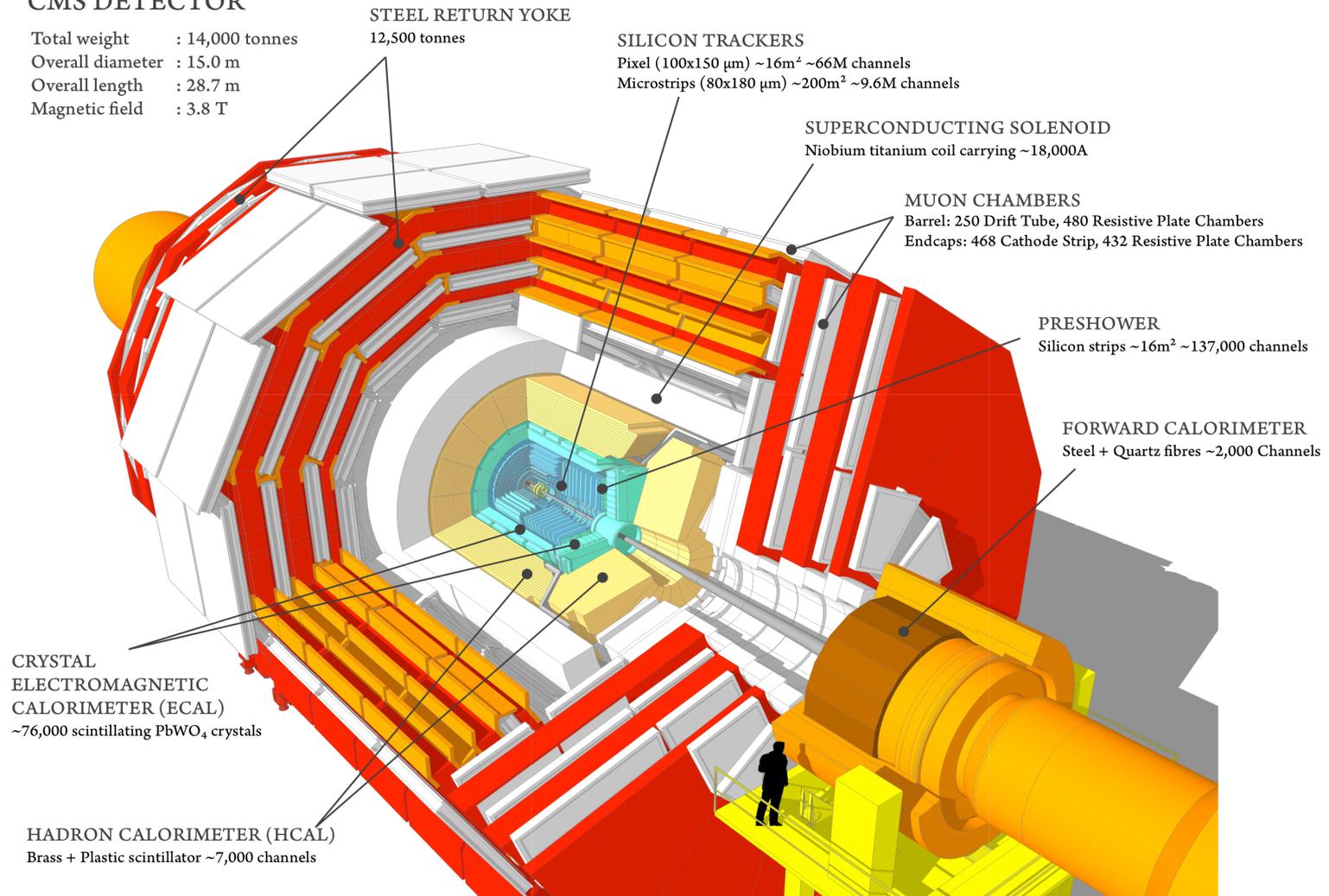
Eigenschaften des LHC

- Luminosität: Anzahl der Teilchenbegegnungen pro Sekunde und Fläche
- $$L = \frac{n N_1 N_2 f}{A}$$
- Damit kann diff. Wirkungsquerschnitt berechnet werden
- Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass eine Interaktion stattfindet
- Invariante Masse \sqrt{s}
- Gesamtenergie aller Teilchen im Schwerpunktssystem

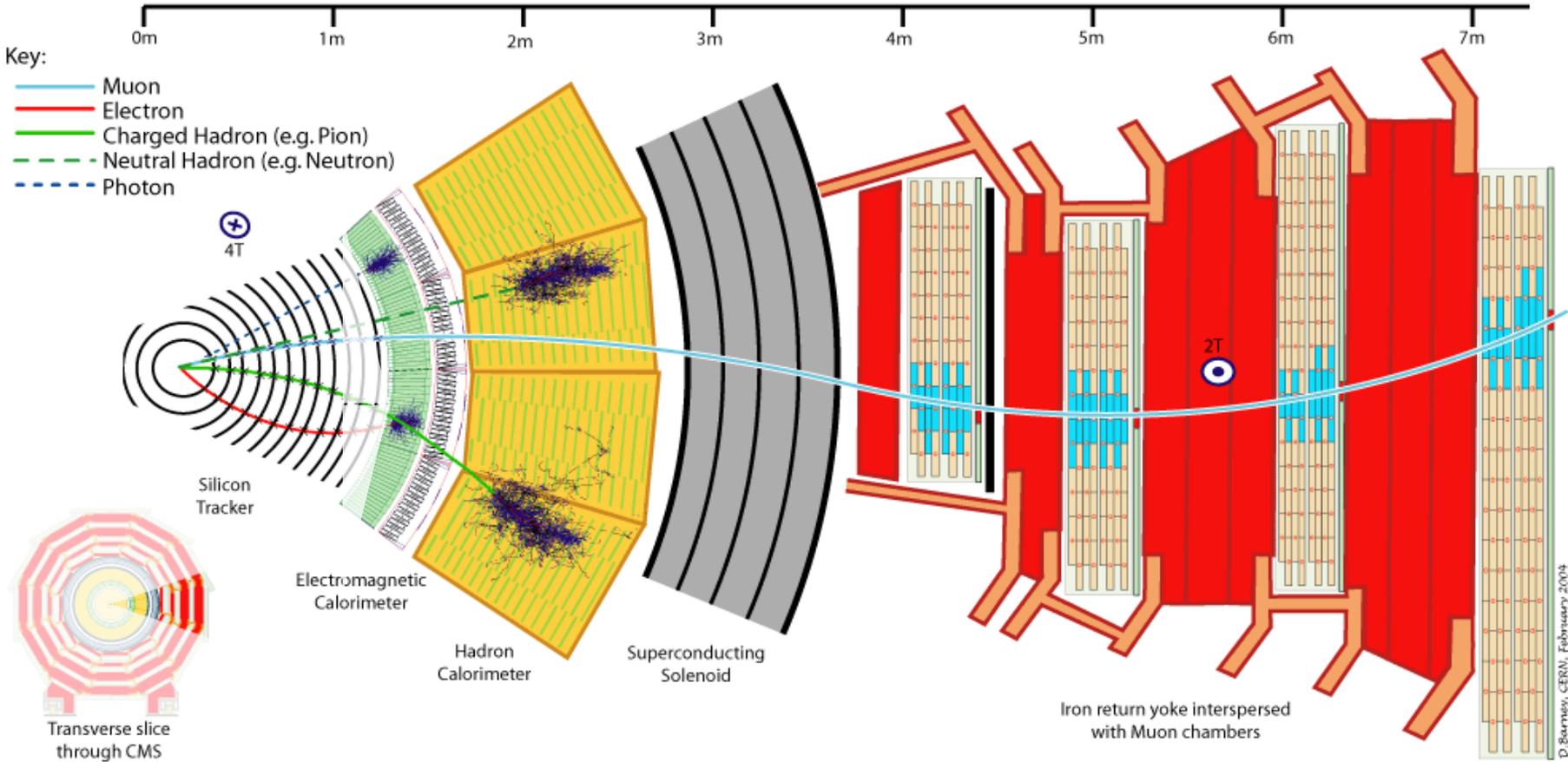
CMS – Compact Muon Solenoid

CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T



CMS – Compact Muon Solenoid

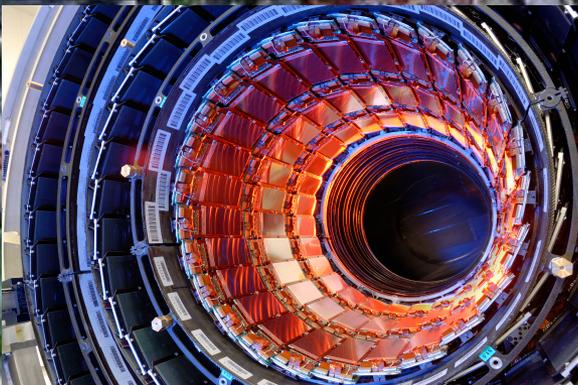


The Compact Solution (CMS)

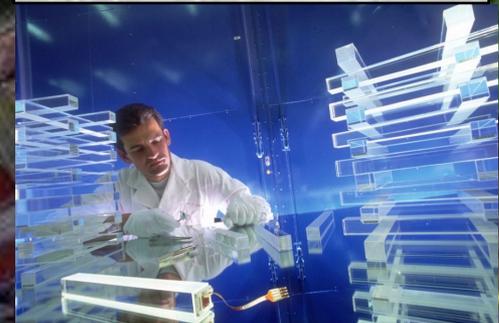
- Magnet field: 3.8 T (outside calorimeter)
- Tracker: Si ($\delta p/p = 0.5\%$ for a 10 GeV track)
- ECAL: PbWO₄ ($\delta E/E = 1\%$ for a 30 GeV e/γ , $X_0 = 28$)
- HCAL: Sampling (brass scintillator, $\delta E/E = 10\%$ for a 100 GeV $\pi^{+/-}$, $\lambda_i = 10$)

- Length : 21 m
- Diameter : 16 m
- Weight : 12'500 t

Silicon Tracker:

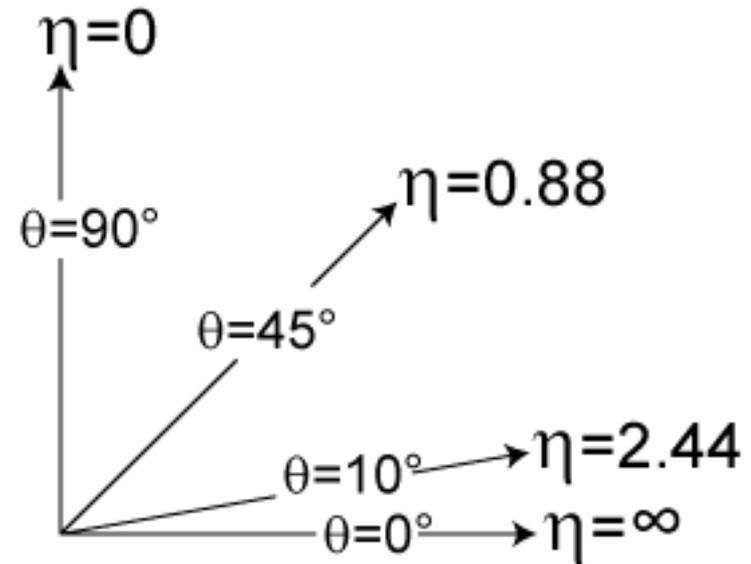


Electromagnetic Calo:



Detektoreigenschaften

- Pseudorapidity $\eta = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)$
- Maß für den Winkel eines Vektors zur Strahlachse
- Transversalimpuls p_T
- Impuls in Richtung der Strahlachse



MSSM

- Two Higgs Doublet Model (THDM) mit 5 Higgs-Bosonen

$$H_u = \begin{pmatrix} H_u^+ \\ H_u^0 \end{pmatrix}, \quad Y_{H_u} = +1, \quad v_u : \text{VEV}_u$$

$$H_d = \begin{pmatrix} H_d^0 \\ H_d^- \end{pmatrix}, \quad Y_{H_d} = -1, \quad v_d : \text{VEV}_d$$

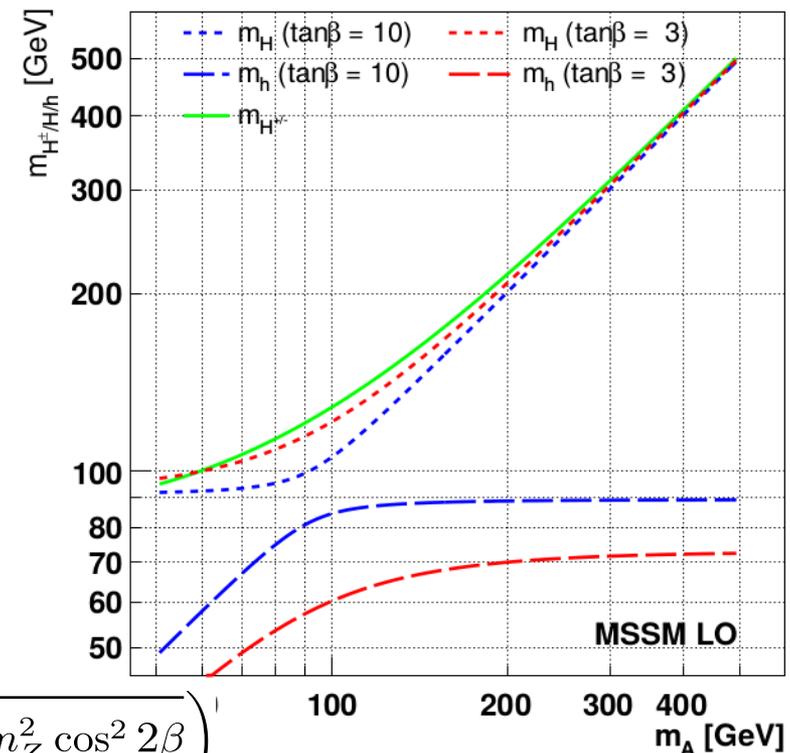
$$N_{\text{ndof}} = 8 \quad - \quad \underbrace{3}_{W, Z} = \underbrace{5}_{H^\pm, H, h, A}$$

Zwei freie Parameter: m_A , $\tan \beta$

$$m_{H^\pm} = m_A^2 + m_W^2$$

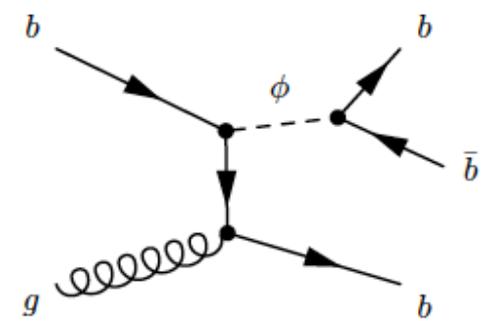
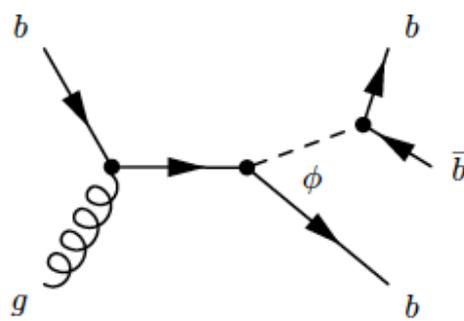
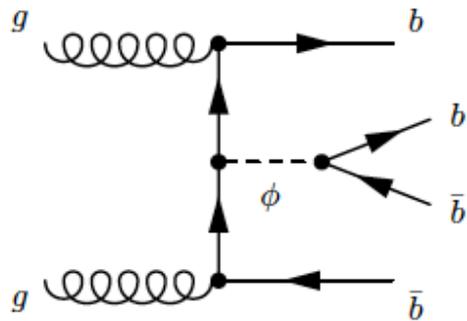
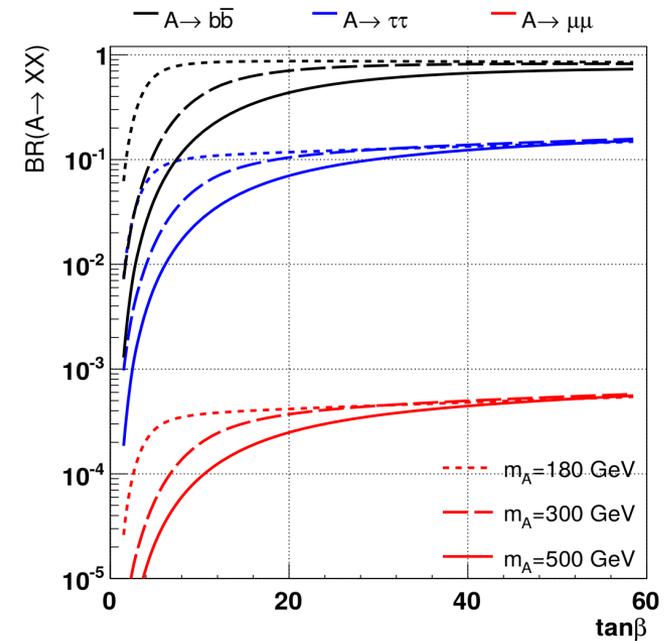
$$m_{H, h} = \frac{1}{2} \left(m_A^2 + m_Z^2 \pm \sqrt{(m_A^2 + m_Z^2)^2 - 4m_A^2 m_Z^2 \cos^2 2\beta} \right)^{1/2}$$

$$\tan \alpha = \frac{(m_A^2 + m_Z^2) \sin 2\beta}{(m_Z^2 - m_A^2) \cos 2\beta + \sqrt{(m_A^2 + m_Z^2)^2 - 4m_A^2 m_Z^2 \cos^2 2\beta}}$$



MSSM und $\phi \rightarrow b\bar{b}$

- Für $m_A \gg m_Z$: Kopplung an down-type artige Fermionen um $\tan(\beta)$ verstärkt
- Massenentartung von A führt zu Verstärkungsfaktor $\sim 2 \tan^2(\beta)$
- Zerfall $\phi \rightarrow b\bar{b}$ hat erwartetes Verzweigungsverhältnis von ungefähr 90%
- Wahrscheinlichkeit dass Higgs in b-Quarks zerfällt
- Gilt selbst bei großen Massen des Higgs

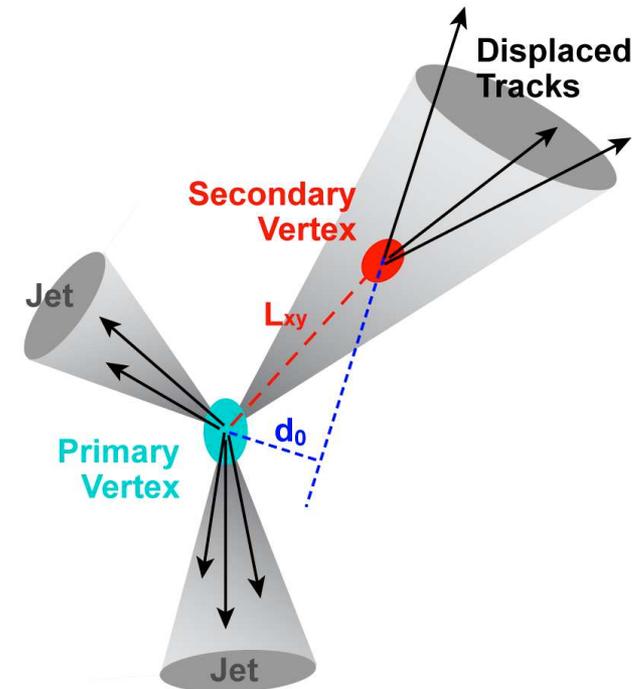


Signal-Diskriminierung

- Untersuchung mit zwei Datensätzen
- 7 TeV und 2.7 – 4.8 fb⁻¹
- 8 TeV und 19.7 fb⁻¹
- Erlaubt Suche bis zu einer Massengrenze von 900 GeV

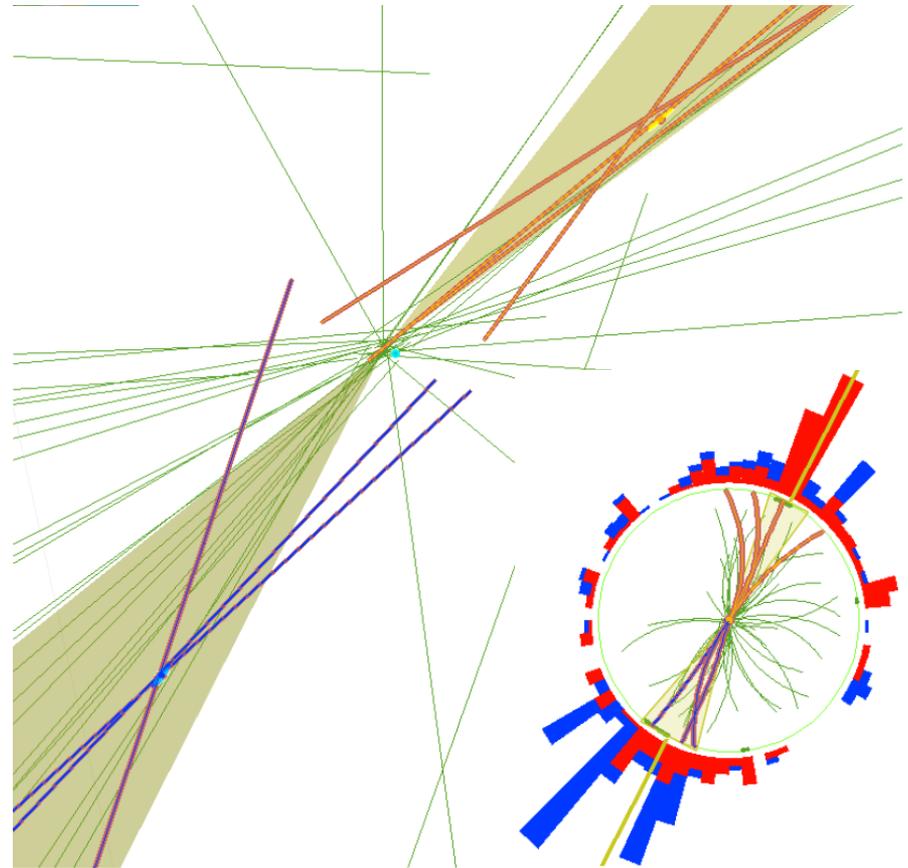
Signal-Diskriminierung

- Forderung: Mindestens 3 b-tagged Jets
- Kein vierter b-tagged Jet aufgrund zu hoher Pseudorapidität
- Events werden bereits online selektiert
- Anschließend offline-Selektion über combined secondary vertex algorithm (CSV)



Signal-Diskriminierung

- Größte Herausforderung: QCD multijet background
- Sehr strikte Bedingungen für Online-Auswahl
- Sortiere Jets nach Transversalimpuls p_T
- Bestimmt Pseudorapidität für jeden Jet



Online-Diskriminierung

- Mindestens zwei Jets mit $\eta \leq 1.74$
- Führender Jet: $p_T > 80 \text{ GeV}$
- Zweiter Jet: $p_T > 70 \text{ GeV}$
- Dritter Jet wird offline selektiert
- Differenz in Pseudorapidität darf 1.74 nicht überschreiten
- b-tagging hat keine perfekte Effizienz, wichtig für Hintergrund

Offline-Diskriminierung

- Führender Jet: $p_T > 80$ GeV
- Zweiter Jet: $p_T > 70$ GeV
- Dritter Jet: $p_T > 20$ GeV
- $\eta \leq 1.65$ für die beiden führenden Jets
- $\eta \leq 2.2$ für den dritten Jet
- Schließe b-Quark-Paare durch Gluonenaufspaltung aus über Winkelbeziehungen
- Übrig bleiben ca. 50% der Online-Events
- Missidentifikationsrate von ca. 0,1%
- Ungefähr 69k Signal bleiben für Analyse

Signal-Klassifizierung

- Klassifiziere Signale um Gluonaufspaltung weiter auszuschließen
- Secondary Vertex Mass: $\sum M_{SV,j}$
- Event b tagging variable X_{123} zwischen 0 und 8

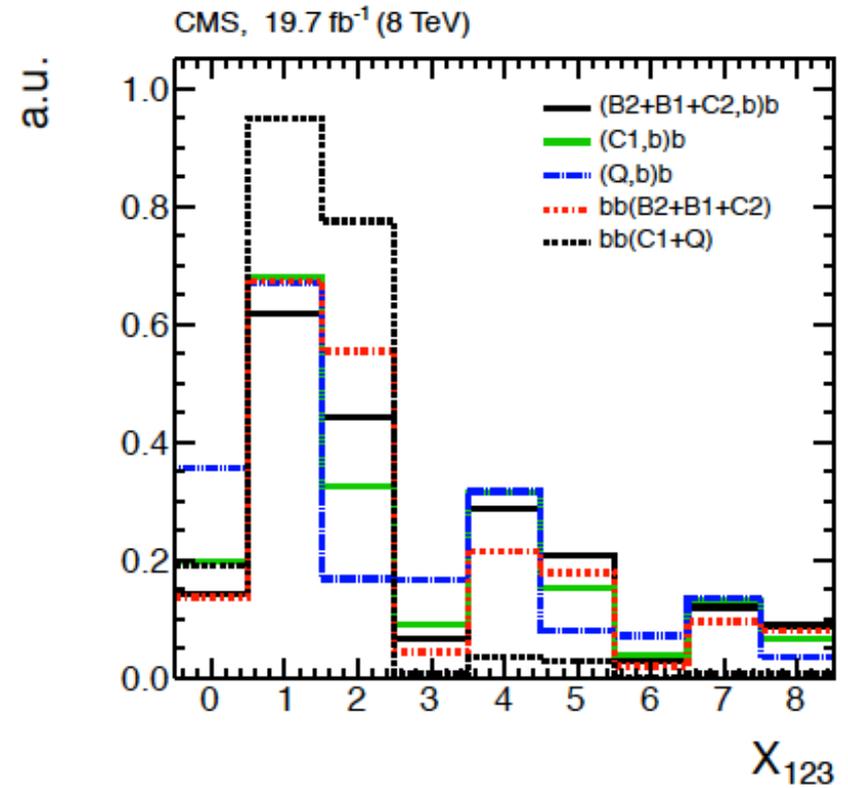
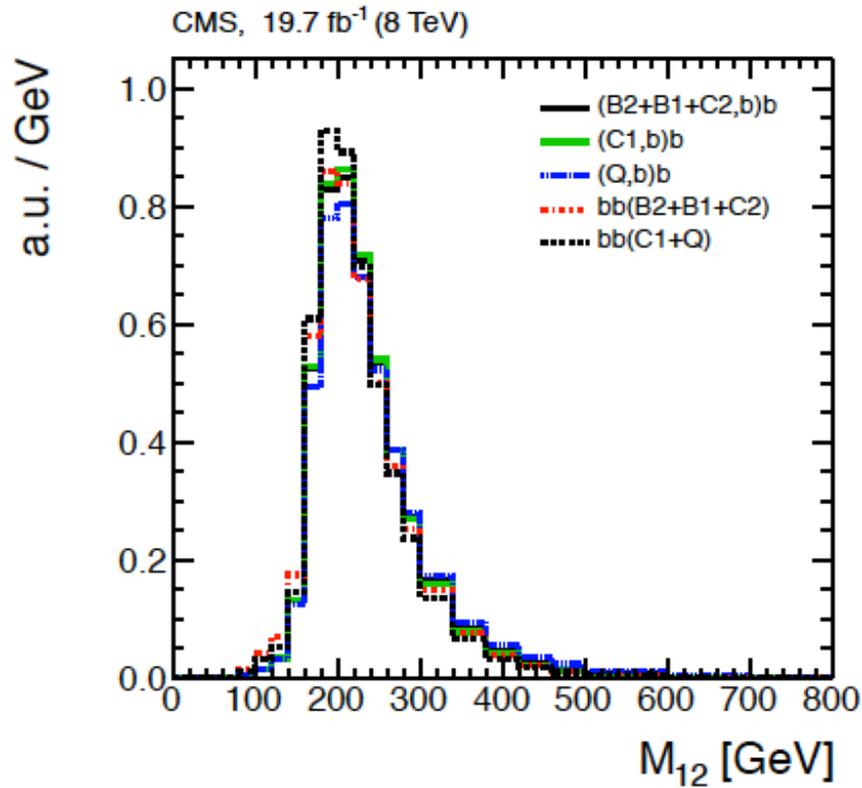
$\sum M_{SV,j}$ [GeV]	B_j
0-1	0
1-2	1
2-3	2
>3	3

B_3	$B_1 + B_2$		
	0-1	2-3	4-6
0-1	0	1	2
2	3	4	5
3	6	7	8

Hintergrund

- QCD multijet production
- Mistagging
- Kann durch MC-Simulation nicht vorhergesagt werden
- Nehme data control samples
- Signale mit nur zwei identifizierten b-Jets (ca. 2.4 Millionen)
- Unterscheidung nach Transversalimpuls
- bbx, bxb. xbb
- Unidentifizierter Jet hat 5 Möglichkeiten: Q,C1,C2,B1,B2
- Q ist leichtes Quark, 1 oder zwei identifiziert Paarproduktion
- Insgesamt 15 Möglichkeiten
- Fasse Möglichkeiten zusammen
- Gewichtung über Modell
- Hintergrund durch Top-Quarks ist vernachlässigbar

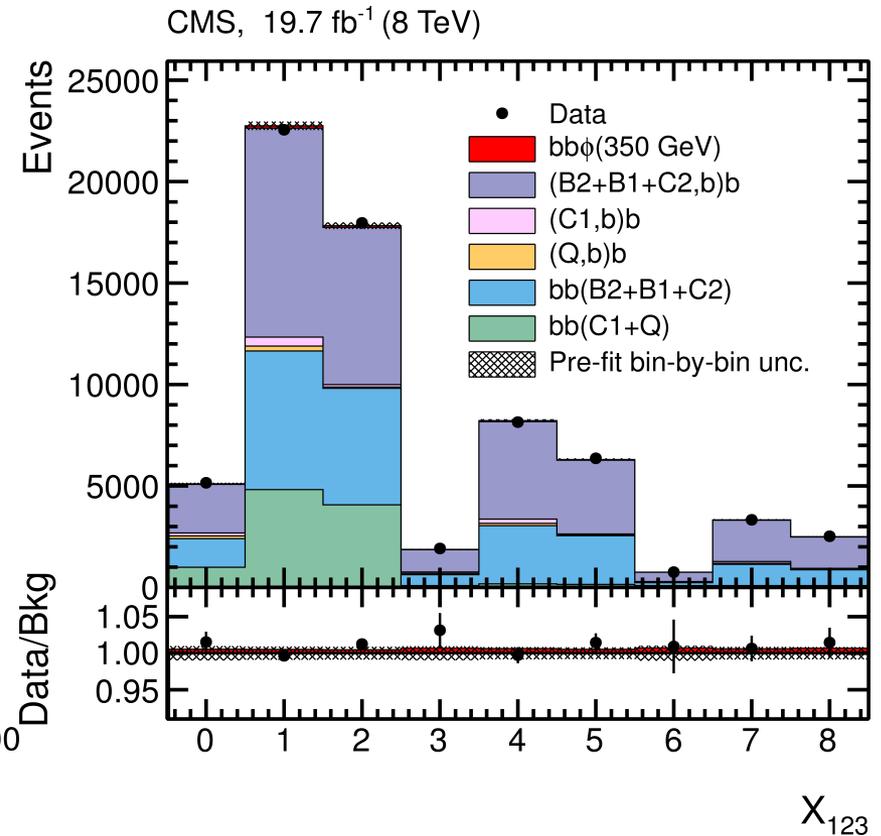
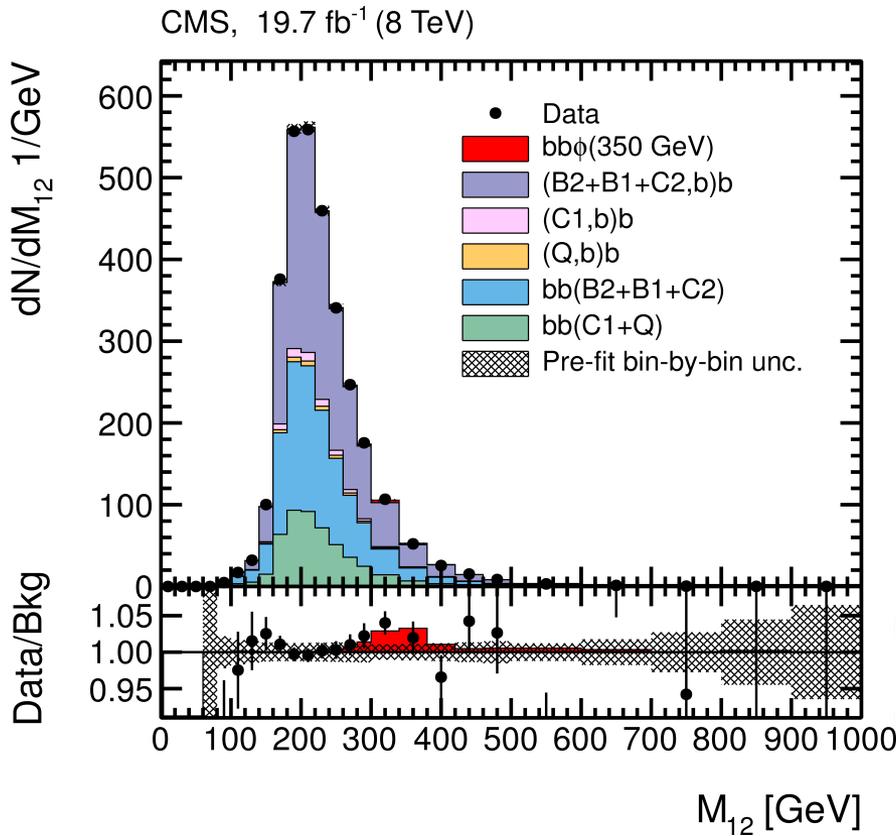
Hintergrund



Unsicherheiten

Source	Type	Target	Impact
Online b tagging	Rate	Signal	11%
Integrated luminosity	Rate	Signal	0.1%
Jet trigger	Rate + Shape	Signal	0.1%
Jet energy scale	Rate + Shape	Signal	0.5%
Jet energy resolution	Rate + Shape	Signal	0.1%
Offline b tagging (bc)	Rate + Shape	Signal + Background	2–16%
Offline b tagging (uds)	Shape	Background	0.2%
Template stat. uncertainty	Shape	Background	1–21%
Secondary vertex mass sum	Shape	Signal + Background	0.9%
bb purity correction	Shape	Background	3.4%
Online b tagging correction	Shape	Background	0.5%

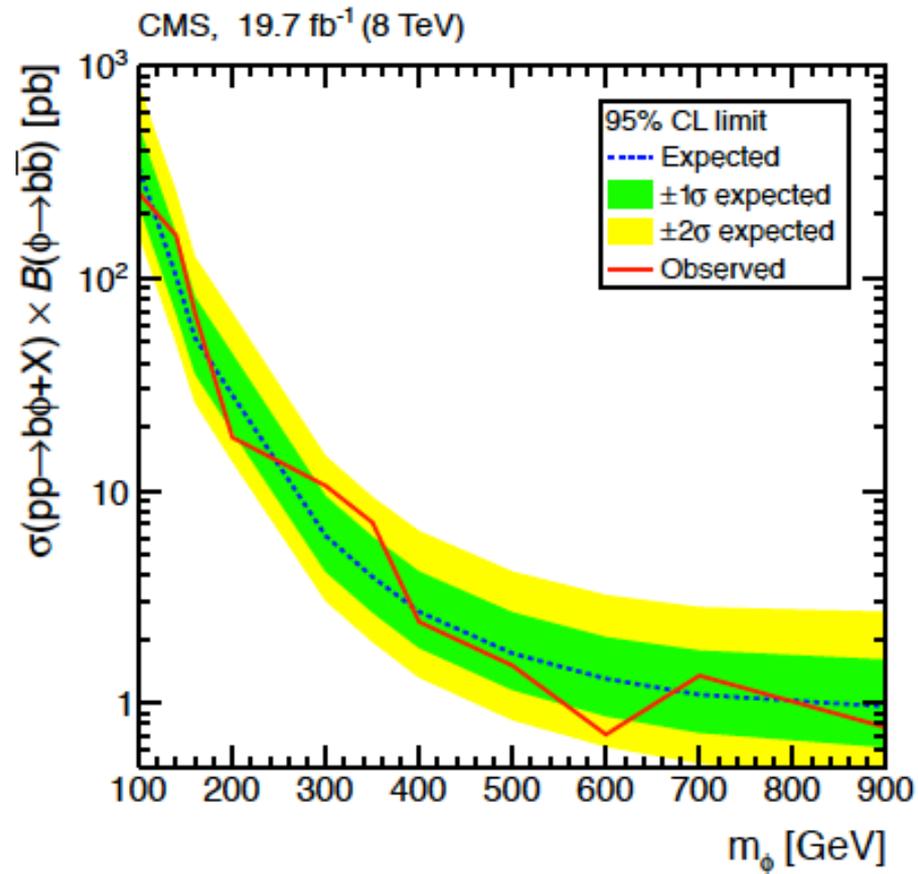
Ergebnisse



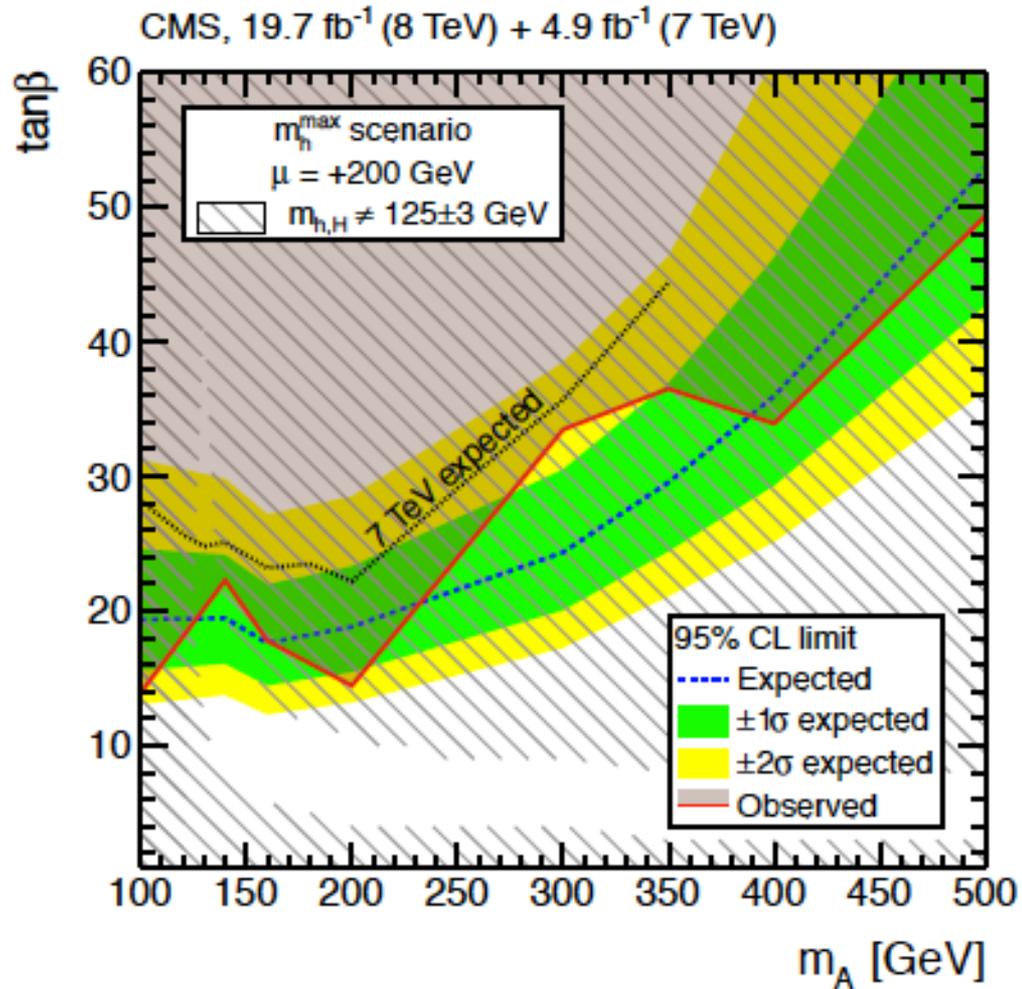
$m_\phi = 350 \text{ GeV}$ und $\frac{\chi^2}{N_{dof}} = \frac{205.2}{208}$, kein Signal beobachtet

Ergebnisse

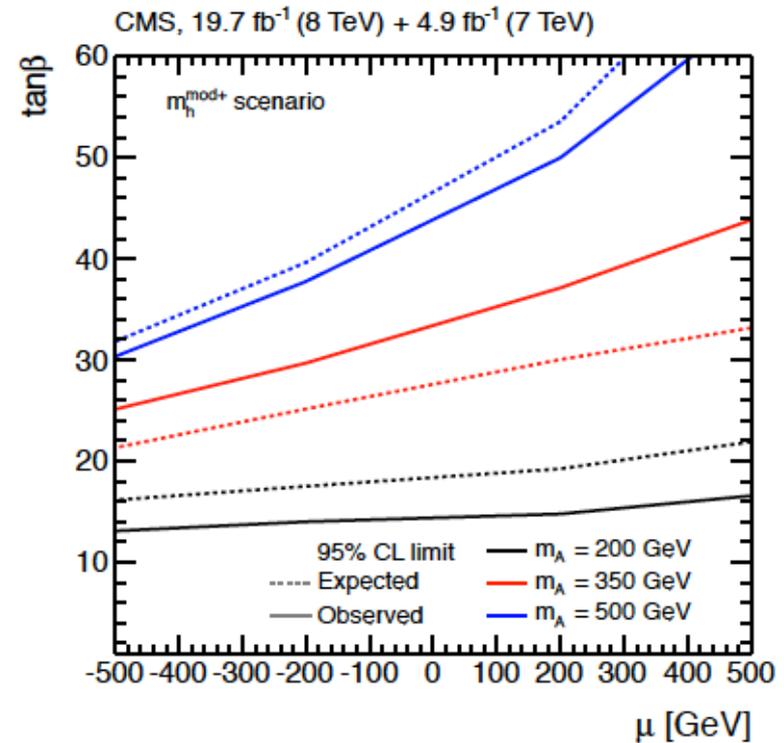
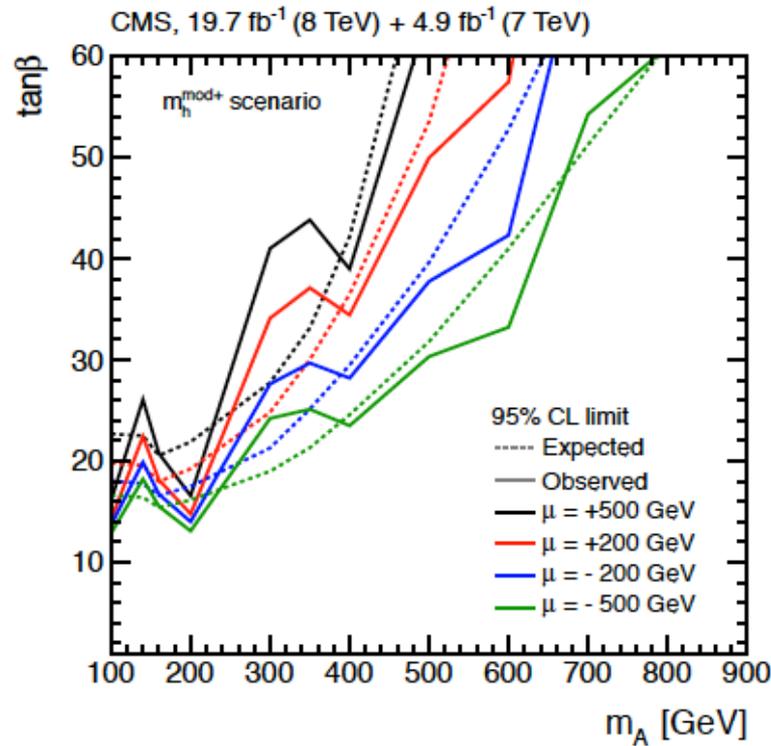
Ausschlussgrenze



Ergebnisse



Ergebnisse



Ausschlussgrenze für $\tan(\beta) \approx 15$ (100 GeV) und $\tan(\beta) \approx 45$ (500 GeV)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!