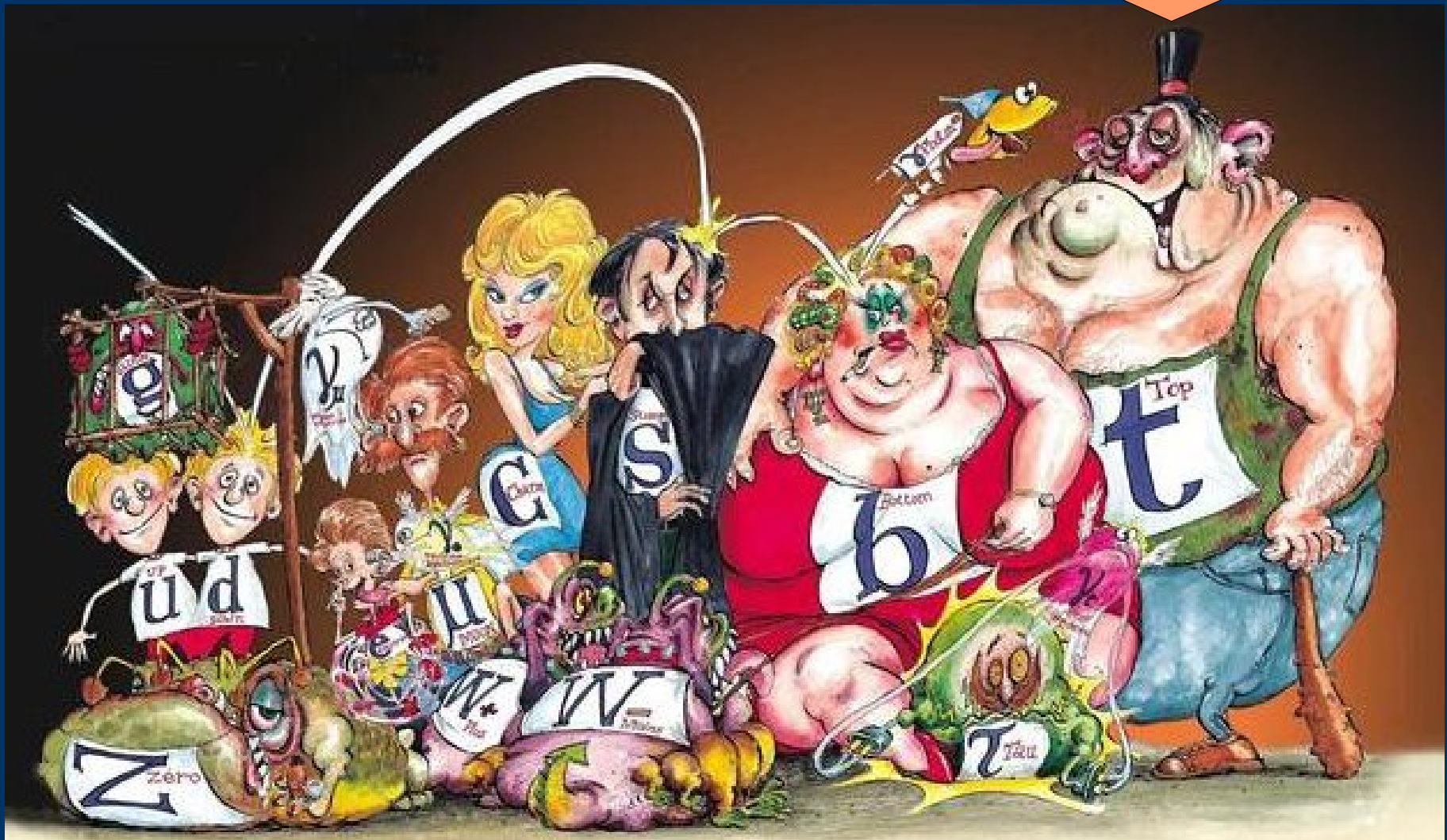


Entdeckung des Top Quarks



Gliederung

Top Quark:

- Charakteristik
- Daten der Entdeckung
- Notwendigkeit des Tops
- Erzeugung und Zerfall des Tops

Entdeckung des Top Quarks:

- Zerfallkanäle
- Untergrund
- Detektor
- Definition des Top-Signals
- Daten der Entdeckung

Ausblick

Literatur

Quarks?

- zusammen mit den Leptonen: die fundamentalen Bausteine der Materie
- bilden die Hadronen
- Das Standard-Modell:

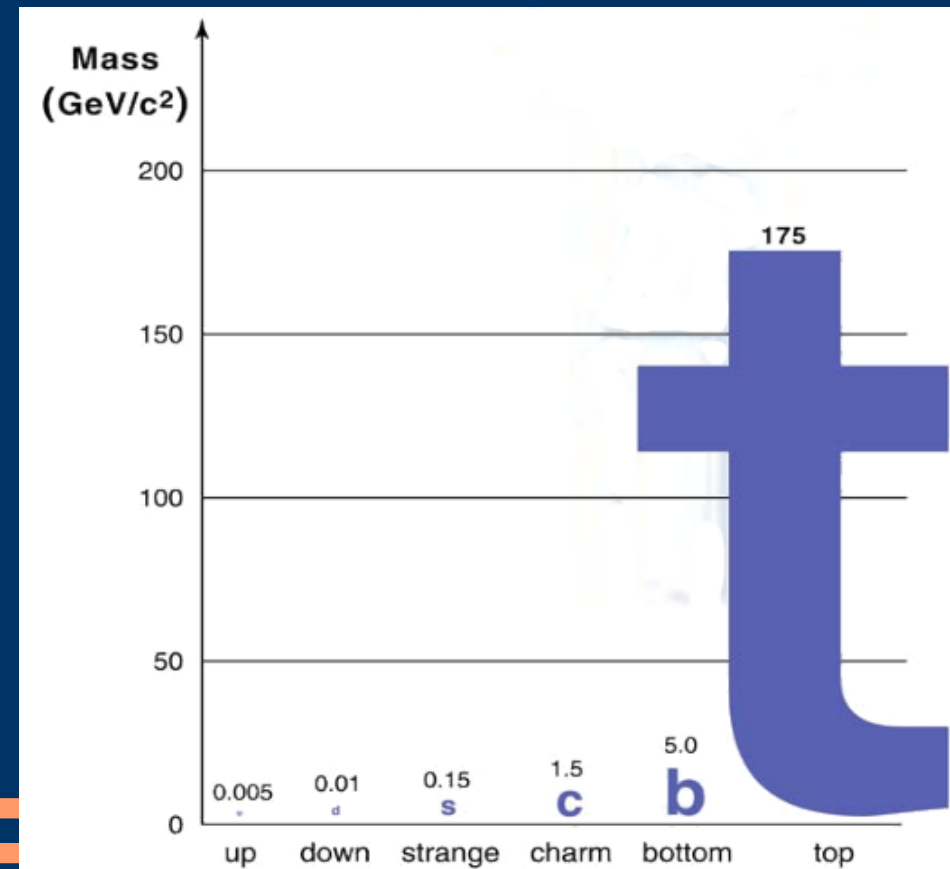
Quarks	<i>u</i> up	<i>c</i> charm	<i>t</i> top
	<i>d</i> down	<i>s</i> strange	<i>b</i> bottom
Leptonen	<i>ν_e</i> <i>e</i> neutrino	<i>ν_μ</i> <i>μ</i> neutrino	<i>ν_τ</i> <i>τ</i> neutrino
	<i>e</i> electron	<i>μ</i> muon	<i>τ</i> tau

mit den Eichbosonen:

- Photon
- Gluonen
- W^+ , W^- und Z^0
- Graviton?

Top?

- schwerstes Quark
- als letztes Quark entdeckt (1994)
- nur bei hochenergetischen Stößen erzeugt (Fermilab, LHC ...)
- Bestimmung der Masse: $175 \text{ GeV}/c^2$



Wichtige Daten der Entdeckung des Top Quarks

Entwicklung des Standard-Modells

- 1964: Gell-Mann und Zweig: 3 Quarks (u,d,s)
 - 1970: Glashow, Liopoulos und Maiani: c zusätzlich:
4 Quarks Modell (u,d,s,c)
 - 1973: Kobayashi und Maskawa: 2 neue Quarks
zusätzlich → Erklärung der CP-Verletzung
 - 1974: Ting und Richter: Charm Entdeckung
 - 1977: Lederman: Bottom Entdeckung
-
-

Wichtige Daten der Entdeckung des Top Quarks

Entwicklung des Standard-Modells

- Ende der 70er-Jahre: Versuche zur Bestimmung der Masse des Top Quarks
 - 1983: Z und W Entdeckung
 - Juni-Juli 1984: Falsche Entdeckung des Top Quarks am CERN
 - Diskussionen und Sammlung von Daten bis 94-95: Publikation der Entdeckung in CDF Detektor am Fermilab
-
-

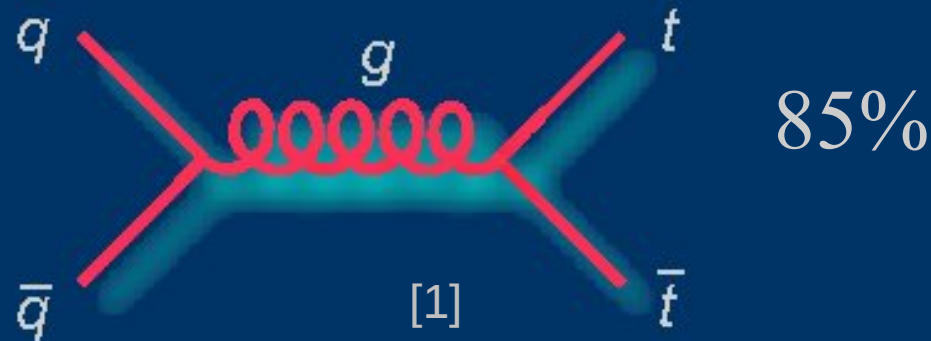
Warum muss es ein Top geben?

Standard-Modell ohne Top:

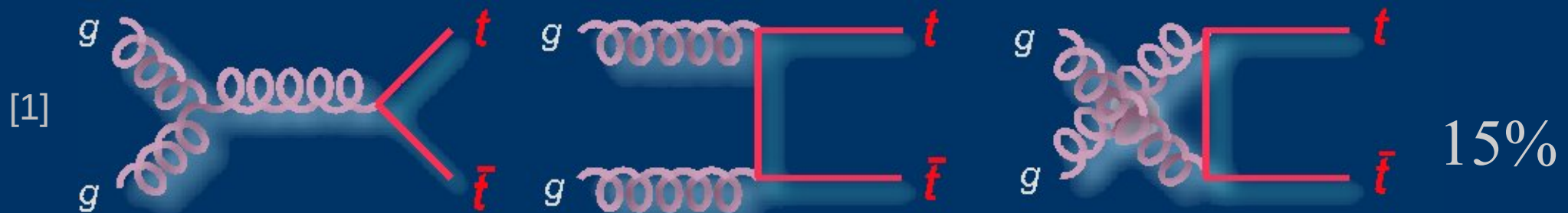
- Bottoms würden hauptsächlich in Leptonen zerfallen:
 - → experimentell ausgeschlossen
- Ein das Dublett (τ, ν_τ) begleitendes Quark-Dublett wird theoretisch benötigt
 - Bottom kann kein Singulett sein
- Existenz des Bottoms impliziert ein Top

Top Erzeugung am Fermilab

Tops werden als $t\bar{t}$ Paar durch Quarksvernichtung:



oder als durch starke Wechselwirkung erzeugt



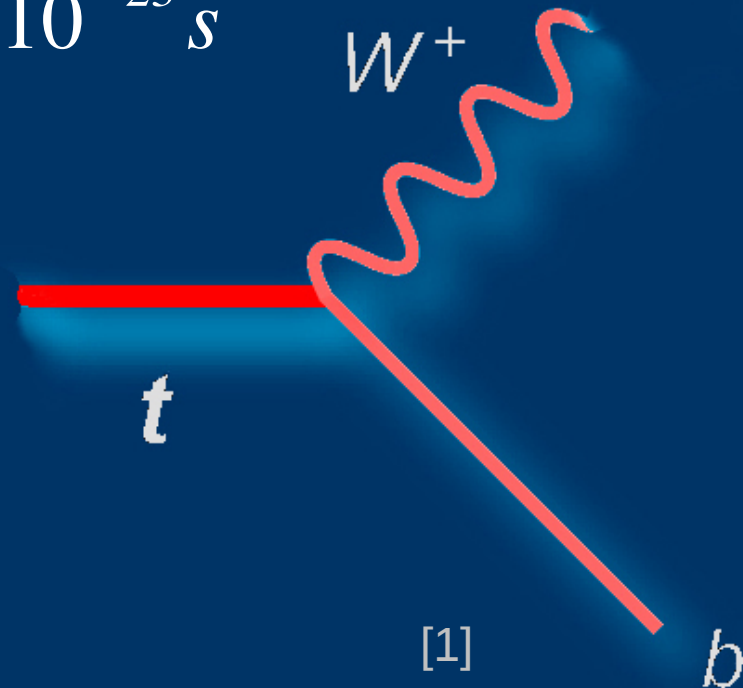
→ Auch Solo Tops erzeugt aber zu kleine Statistik

Top Zerfall

Top hadronisiert nicht:

Top Leben $\approx 4,7 \cdot 10^{-25} \text{ s}$ ist zu kurz (wegen Übergewicht) im Vergleich zur charakteristischen Zeit der starken Wechselwirkung 10^{-23} s

Tops zerfallen in Bottom und W (99,8%):



Bottom und W Zerfälle: Kanäle

$b \rightarrow \text{Jet } b$ durch Hadronisierung

$$W^{\pm} \rightarrow l + \nu \quad \text{oder} \quad W^{\pm} \rightarrow q + \bar{q}$$

$l = e, \mu, \tau$ $q + \bar{q} = u + \bar{d} \quad \text{oder} \quad c + \bar{s}$

Durch Kombinationen kriegt man 3 Kanäle:

$\bar{c}s$	electron+jets	muon+jets	tau+jets	all-hadronic	
$\bar{u}d$					
τ^-	$e\tau$	$\mu\tau$	$\tau\tau$	tau+jets	
μ^-	$e\mu$	$\mu\mu$	$\mu\tau$	muon+jets	
e^-	ee	$e\mu$	$e\tau$	electron+jets	
W decay	e^+	μ^+	τ^+	$u\bar{d}$	$c\bar{s}$

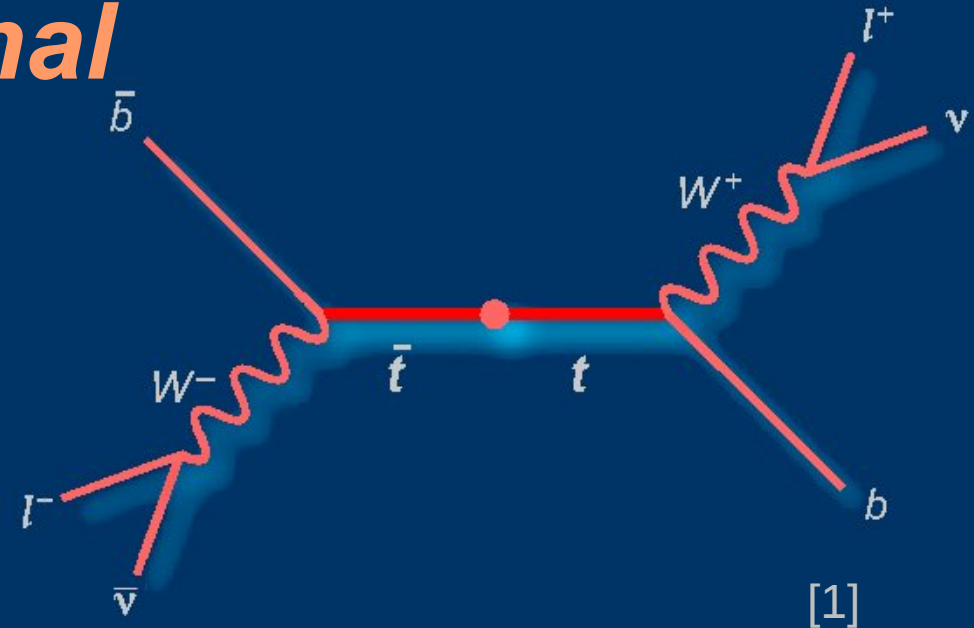
- hadronischer Kanal
- lepton + Jets Kanal
- dileptonischer Kanal

Dileptonischer Kanal

$$2 W^{\pm} \rightarrow 2 l + 2 \nu$$

Form des Signals:

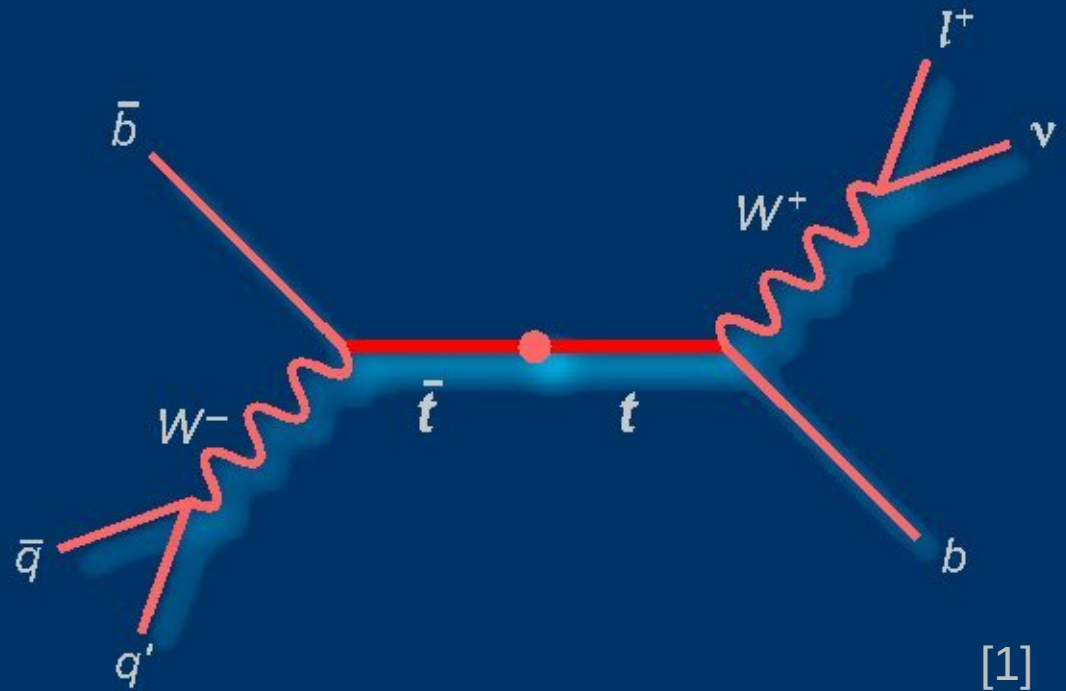
- 2 Leptonen
- Energieverlust
- 2 b-Jets



Weniger Ereignisse (theoretisch 11%, aber da Tau sofort zerfällt wird es nicht gemessen → nur 5%)
Gute Bestimmung der Energien und der Impuls, da weniger Untergrund, da weniger Jets.

Lepton + Jets Kanal

$$2 W^{\pm} \rightarrow l + \nu + q + \bar{q}$$



Form des Signals:

- 1 Lepton
- Energieverlust
- 4 Jets (2 b-Jets)

Mehr Ereignisse als im dileptonischen Kanal (30%)

Mehr Untergrund, weil mehr Jets

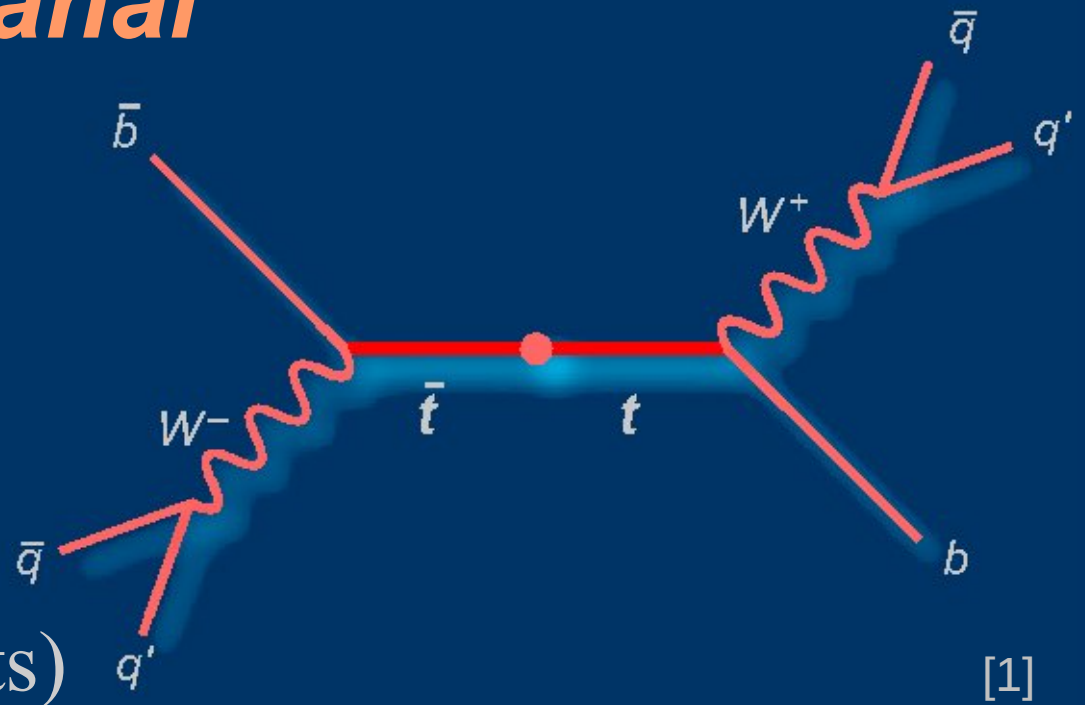
[1]

Hadronischer Kanal

$$2 W^{\pm} \rightarrow 2 q + 2 \bar{q}$$

Form des Signals:

→ 6 Jets (2 b-Jets)



[1]

Mehr Ereignisse auch (44%) aber zu viele Jets
→ Die Unterscheidung mit dem Untergrund ist schwer. Dieser Kanal wurde nicht zur Entdeckung benutzt.

Untergrund

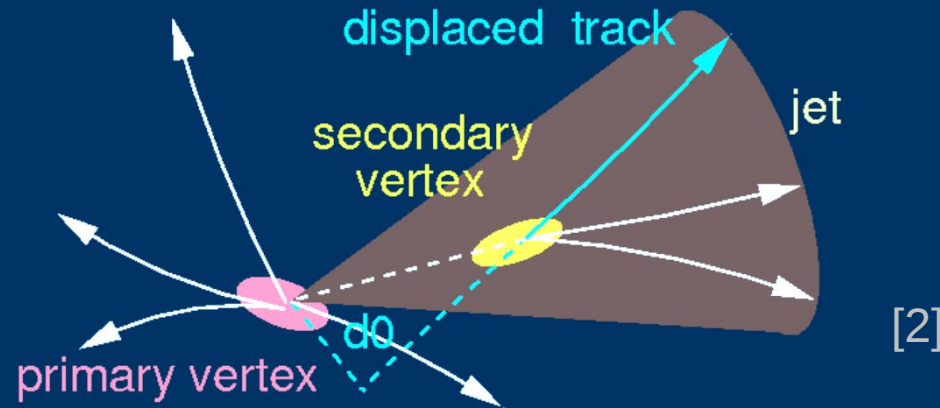
Andere aber ähnliche Ereignisse
→ Verwechslungen möglich

Man wendet Filter, b-Tagging (SVX und SLT)
→ Untergrunderniedrigung

Bestimmung des Untergrunds: Durch Monte-Carlo
Simulation und theoretische Rechnungen



Secondary Vertex Detector (SVX-tag)



Bottom bildet ein Meson und zerfällt $\sim 0,5$ mm weiter
→ Zweiter Jet

Soft Leptonic Tagging (SLT-tag)

Nicht im dileptonischen Kanal erzeugte Leptonen

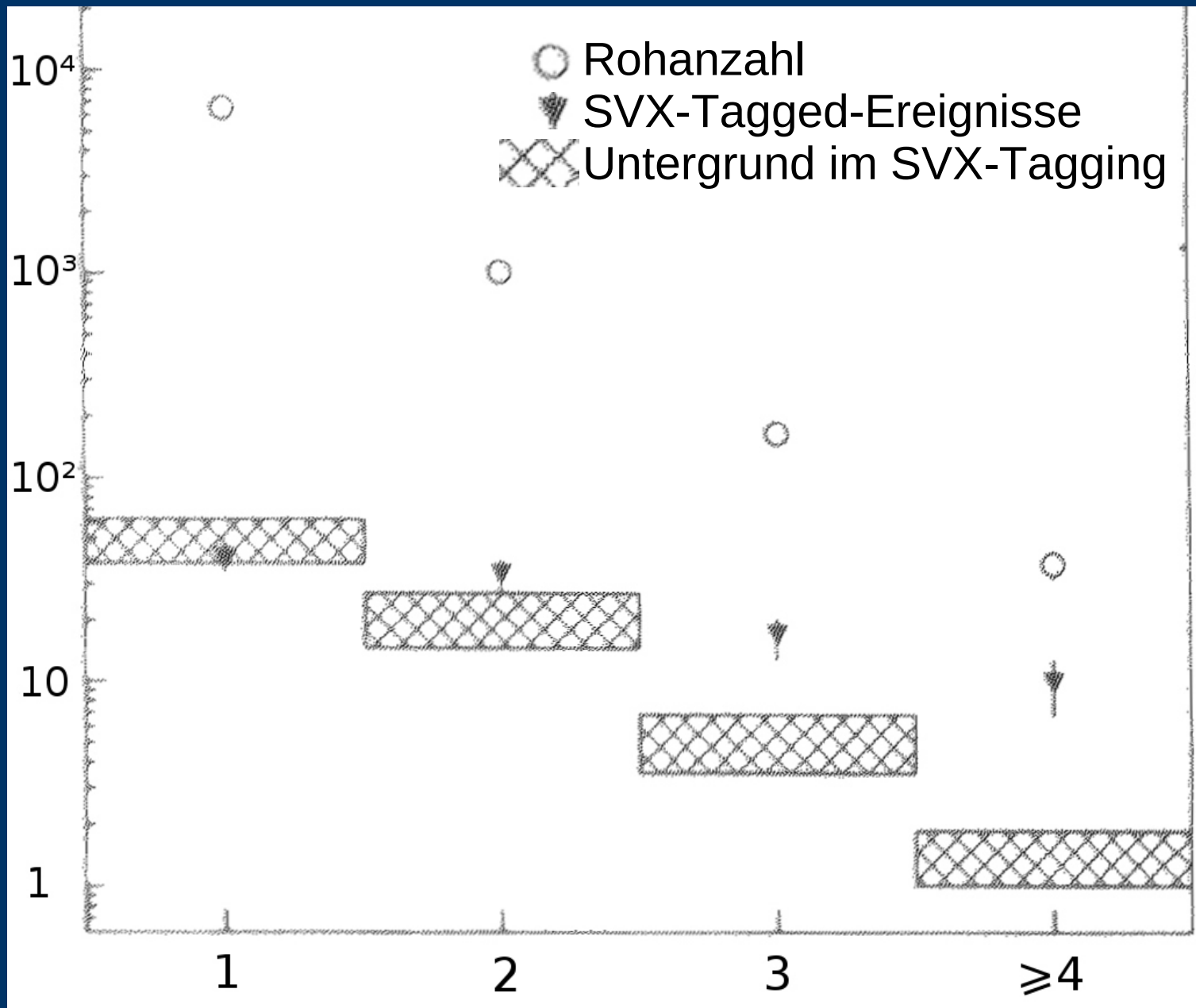
können im Bottom-Jet auftreten: $b \rightarrow l + \nu + X$

$b \rightarrow c \rightarrow l + \nu + X$

→ Niedrige Impulsschwelle für Leptonen

$$P_T > 2\text{MeV}$$

Ereignisanzahl

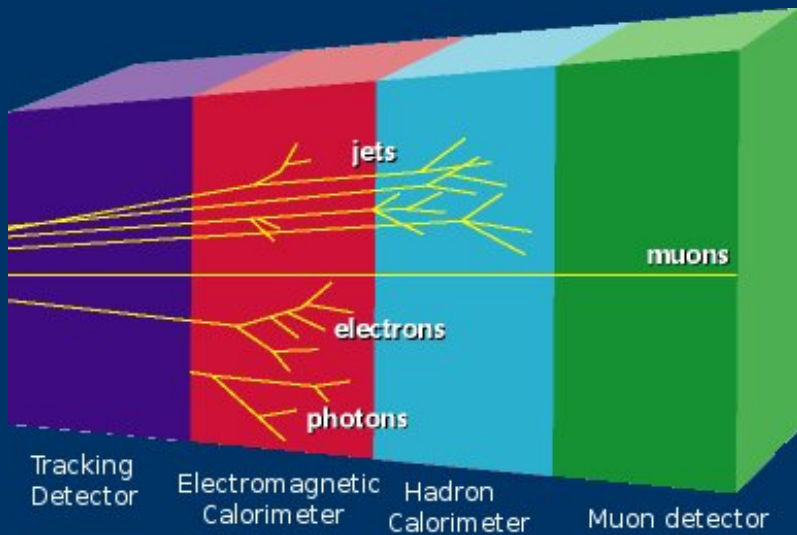


[3]

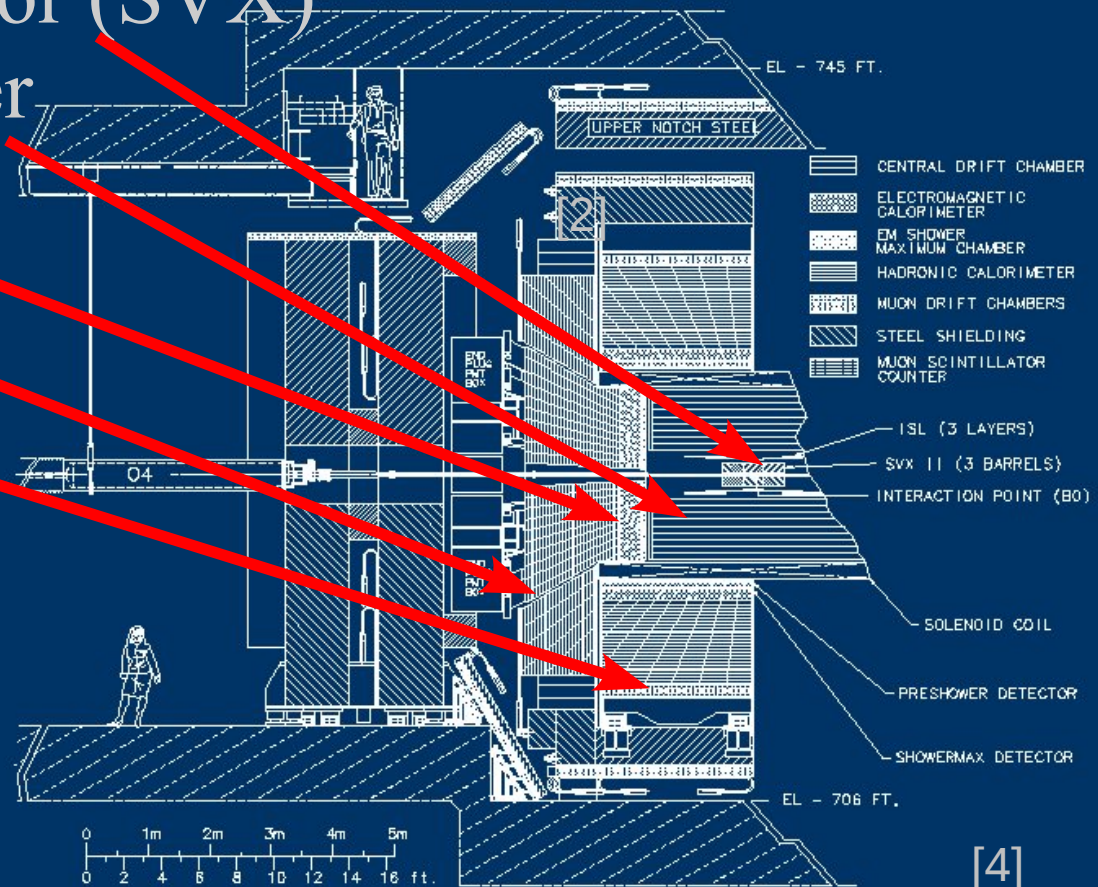
Jets-Anzahl

Der Detektor (CDF)

- Secondary Vertex Detector (SVX)
- Central Tracking Chamber
- Elektromagnetisches und Hadronisches Kalorimeter
- Muon-Detektoren



[4]



[4]

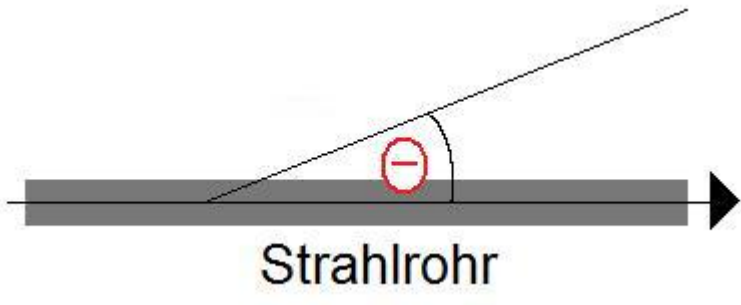
Definition des Signals

In den dileptonischen und Lepton+jet Kanälen

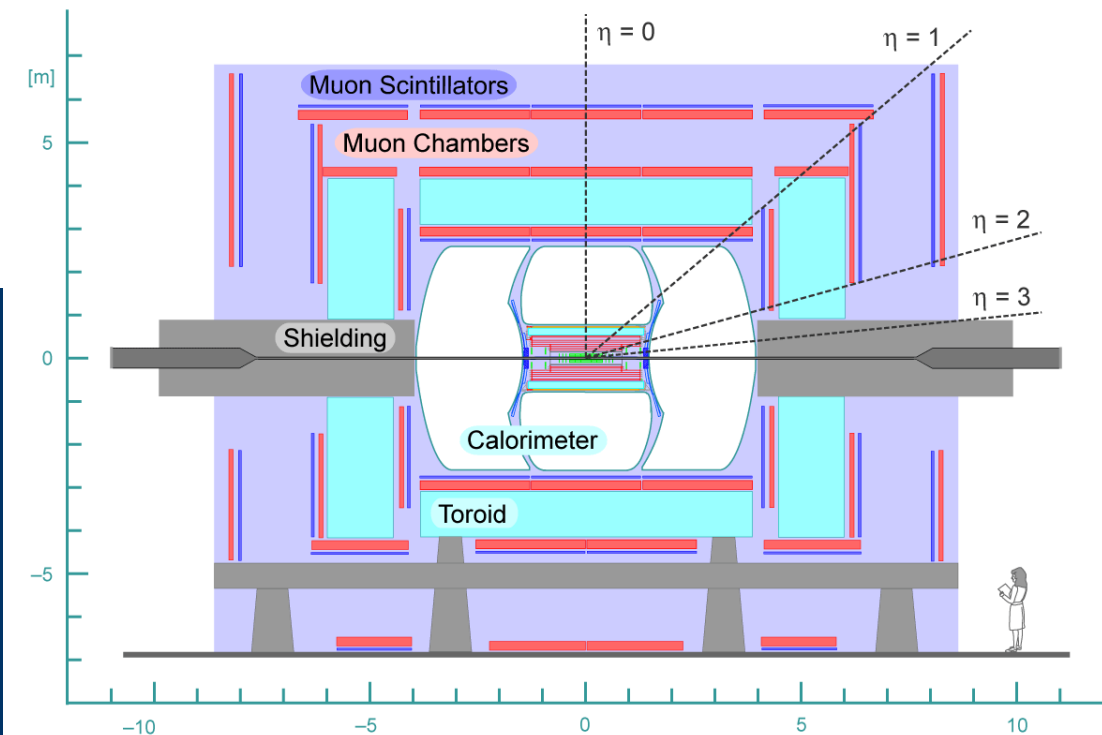
Zusammenfassung der Bedingungen:

- mindestens 1 Lepton mit $P_T > 20 \text{ GeV}/c$ und $|\eta| < 1$
(dileptonischen Kanal \rightarrow entgegengesetzte Ladungen)
 - Energieverlust $\cancel{E}_T > 20 \text{ GeV}$
(25 GeV im dileptonischen Kanal)
 - 2 b-tagged Jets (SVX-Detektor)
 - mindestens 2 Jets
-
-

Pseudorapidität η



$$|\eta| = -\ln\left(\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)\right)$$



Definition des Signals

In den dileptonischen und Lepton+jet Kanälen

Zusammenfassung der Bedingungen:

- mindestens 1 Lepton mit $P_T > 20 \text{ GeV}/c$ und $|\eta| < 1$
(dileptonischen Kanal \rightarrow entgegengesetzte Ladungen)
 - Energieverlust $\cancel{E}_T > 20 \text{ GeV}$
(25 GeV im dileptonischen Kanal)
 - 2 b-tagged Jets (SVX-Detektor)
 - mindestens 2 Jets
-
-

Daten der Entdeckung

- Bestimmung des Wirkungsquerschnittes: Durch die Häufigkeit der streng erkannten Ereignisse.

$$\sigma = 6,8_{-2,4}^{+3,6} \text{ pb}$$

- Beobachtete Tops:

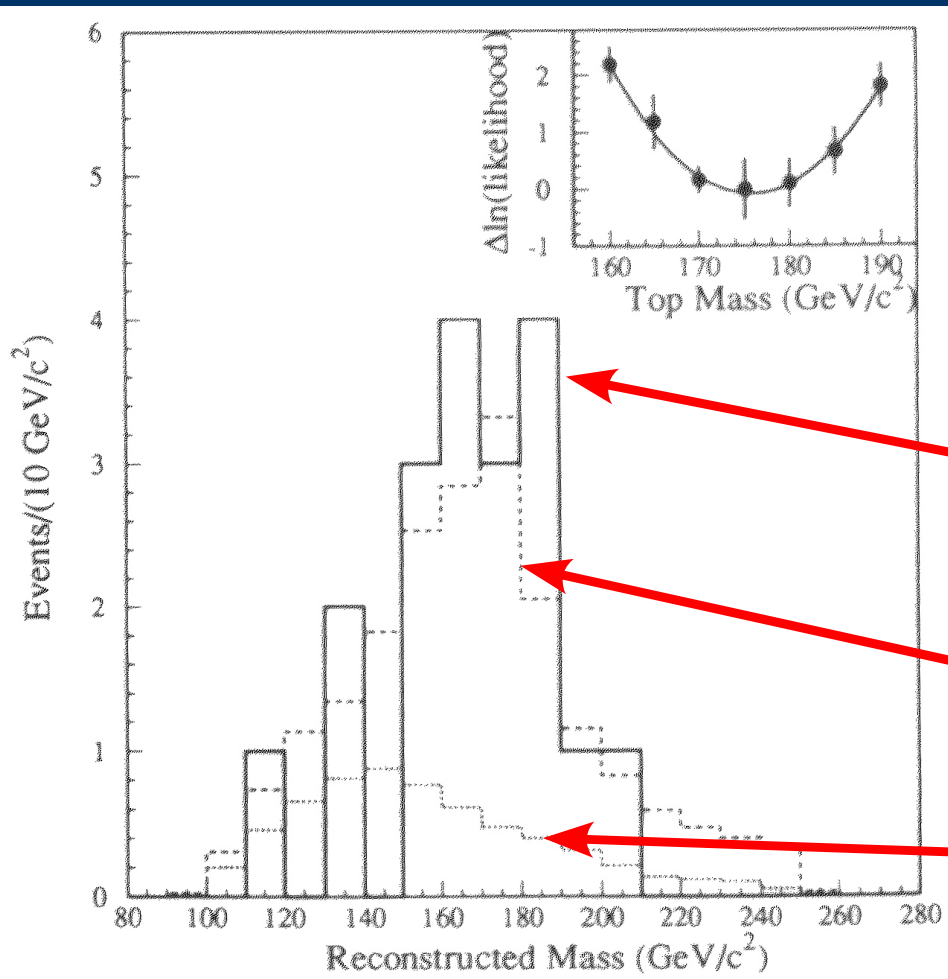
Dileptonischer Kanal: 2 Ereignisse ($0,56_{-0,13}^{+0,25}$ Untergrund)

Lepton + Jet Kanal: 6 SVX-tagged Ereignisse und 7 SLT-tagged Ereignisse (mit bzw. $2,3 \pm 0,3$ und $3,1 \pm 0,3$ im Untergrund)

- Bestimmungen der Masse: Durch Impuls- und Energiemessung kann man die Ruhemasse rekonstruieren
-
-

Rekonstruierung der Masse

In Lepton+Jet Kanal
Likelihood:
rekonstruierte Masse/
Monte-Carlo Signal
+ Simuliertem Untergrund



b-tagged+4 Jets
Untergrund+Monte-Carlo für
 $m_t^{\text{sim}} = 175 \text{ GeV}/c^2$
Untergrund

[3]

$$m_{\text{Top}} = 176 \pm 8 (\text{stat}) \pm 10 (\text{syst}) \text{ GeV}/c^2$$

Ausblick

Weitere Messungen zur Verschärfung der Massebestimmung

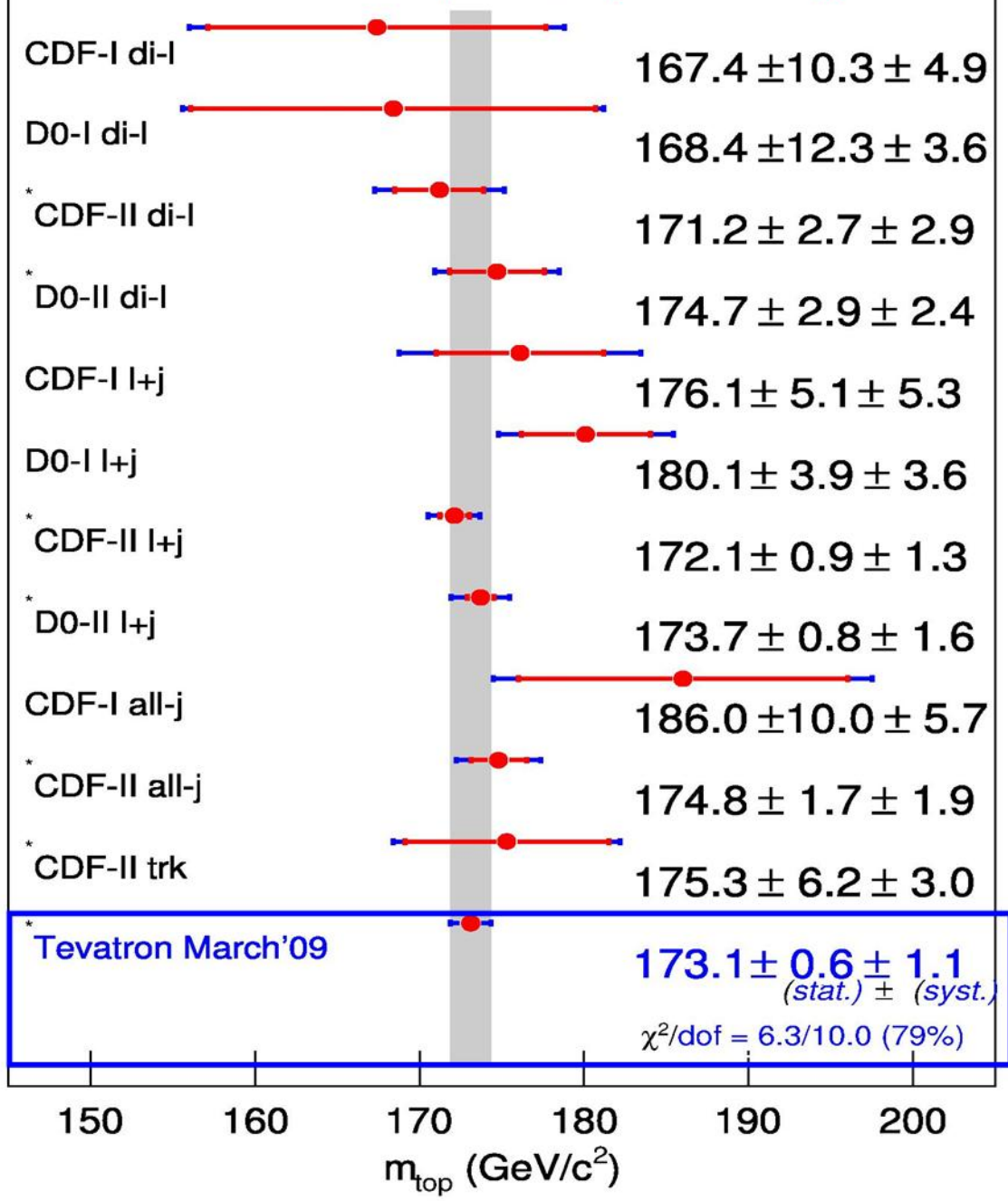
LHC liefert höhere Statistik von $t\bar{t}$ Ereignissen und in Gluon-Gluon Erzeugung

→ Genauere Bestimmung von Standard-Model-Parametern

→ Kopplung mit dem Higgs Boson (durchläuft zur Zeit das gleiche Entdeckungsverfahren) und Beschränkung

→ Neues Standard-Modell? 4. Familie?

Mass of the Top Quark (*Preliminary)



Ausblick

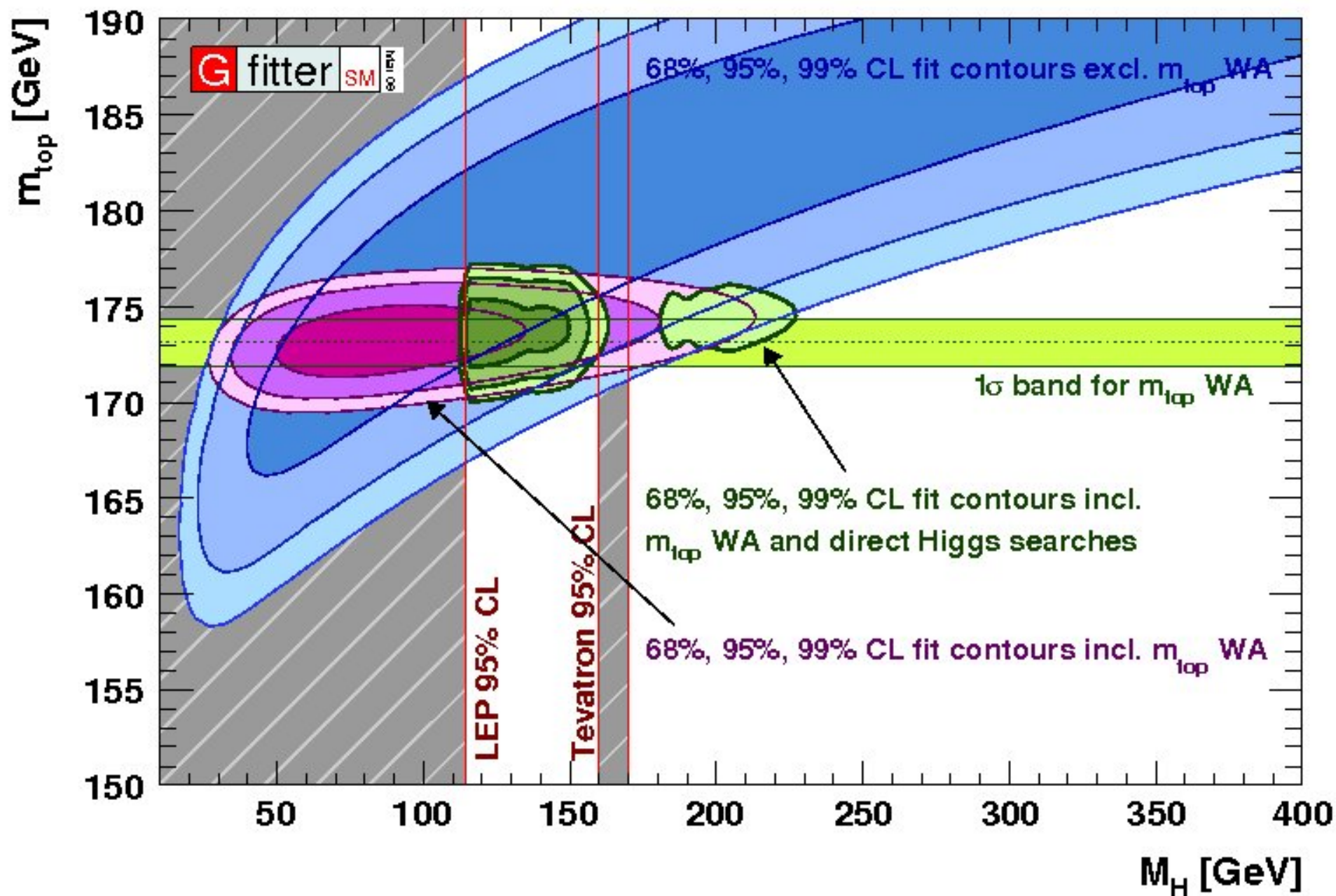
Weitere Messungen zur Verschärfung der Massebestimmung

LHC liefert höhere Statistik von $t\bar{t}$ Ereignissen und in Gluon-Gluon Erzeugung

→ Genauere Bestimmung von Standard-Model-Parametern

→ Kopplung mit dem Higgs Boson (durchläuft zur Zeit das gleiche Entdeckungsverfahren) und Beschränkung

→ Neues Standard-Modell? 4. Familie?



Ausblick

Weitere Messungen zur Verschärfung der Massebestimmung

LHC liefert höhere Statistik von $t\bar{t}$ Ereignissen und in Gluon-Gluon Erzeugung

→ Genauere Bestimmung von Standard-Model-Parametern

→ Kopplung mit dem Higgs Boson (durchläuft zur Zeit das gleiche Entdeckungsverfahren) und Beschränkung

→ Neues Standard-Modell? 4. Familie?

Bildnachweis

[1] DØ :

http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/top_public_web_pages/top_feynman_diagrams.html

[2] Seminar von Herrn W. Wagner (in Literatur)

[3] Observation of Top Quark ... (in Literatur)

[4]CDF:

<http://www-cdf.fnal.gov/events/CDFPictures.html>

[5]Hauptseminar von Herrn D. Stemmer (2008):

http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~deboer/html/Lehre/HS_WS0809/

[6]CEA-IRFU

http://irfu.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_ast=2579

[7]GFitter-DESY

http://irfu.cea.fr/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast.php?t=fait_marquant&id_ast=2579

Literatur

- Seminar von Herrn W. Wagner in Dortmund: Top Physics 29.
Januar 2008
- <http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~wagner/pubs/SeminarDortmundTopPhysik.pdf>
- Presentation von K. Tollefson: The Top Quark From a CDF
Viewpoint
- http://vmsstreamer1.fnal.gov/VMS_Site_03/Lectures/HCPSS/060815Tollefson/vf001.htm
- Introduction to Elementary Physics (D. Griffiths)
- Search for Top Quarks (P. Erhard)
- These von J.R. Vlimant: Measurements of the top-antitop
production cross-sections ... in DØ experiment. (Fr)
- <http://lpnhe-d0.in2p3.fr/vlimant/These/Links/redac.html>
- These von F. Chevalier: Measurements of the top-antitop
production cross-sections ... in ATLAS experiment. (Fr)
- <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00181009/en/>
- The Discovery of the Top Quark—Scientific American Sep. 97
- Observation of Top ...- Phys. Rev. Letters 74, 2626 (1995)
- Evidence for Top ...- Phys. Rev. Letters 73, 225 (1994)
- F. Abe et al., Phys. Rev. D 50, 2966 (1994)