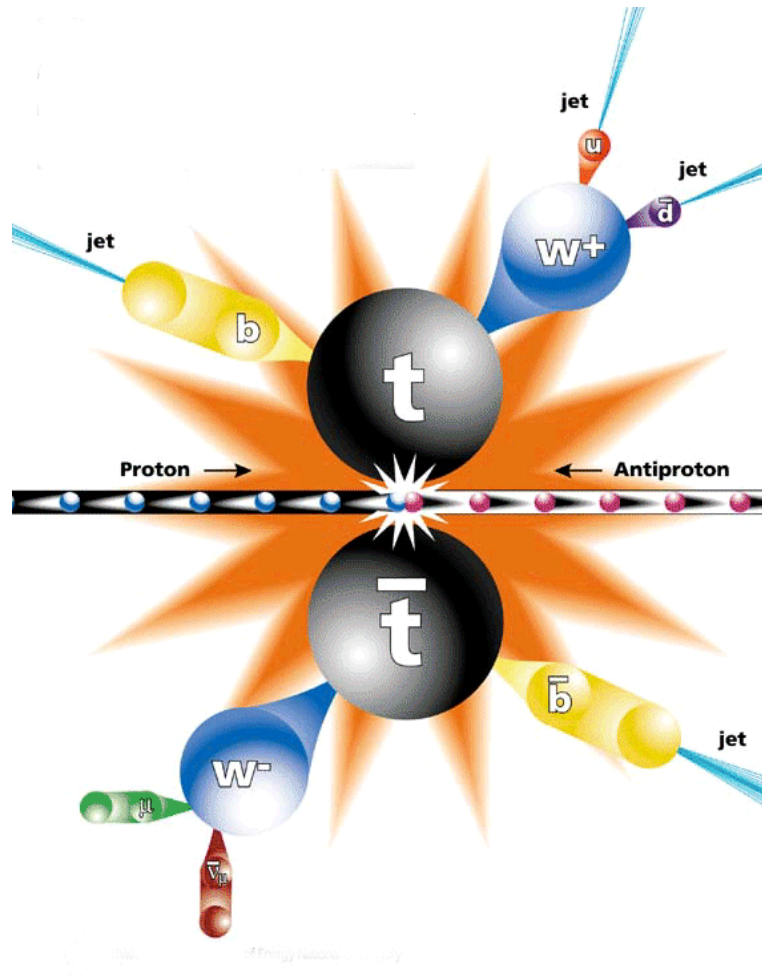


Nachweis des Top-Quarks



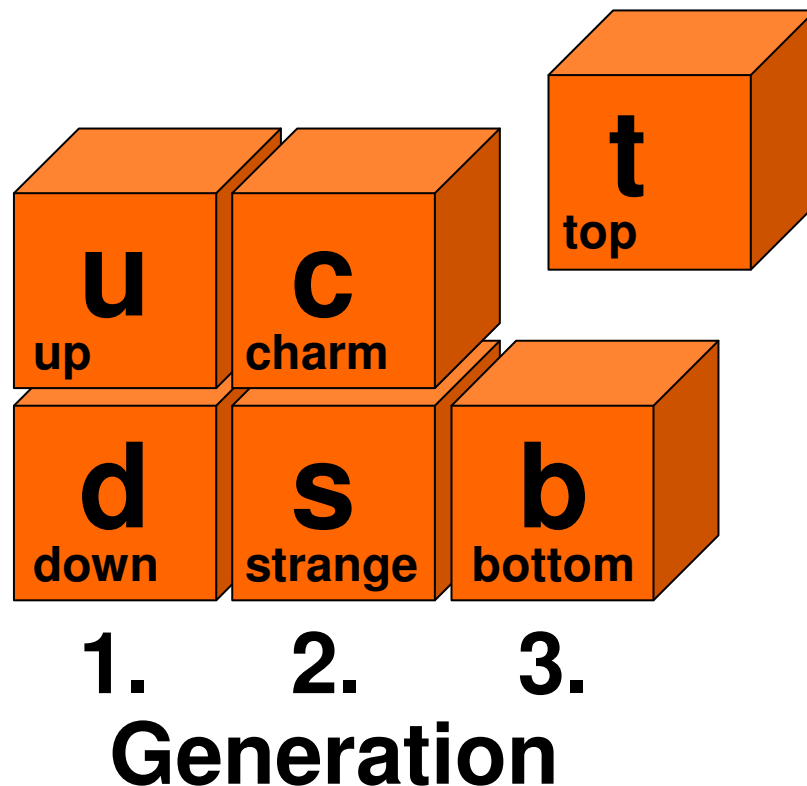
Dirk Hutter

Übersicht



- Das Top Quark
- Geschichte
- Tevatron und CDF
- Produktion und Zerfall
- Signal vs. Untergrund
- Ergebnisse
- Aussichten
- Vom Top zum Higgs

Top Quark im Standardmodell



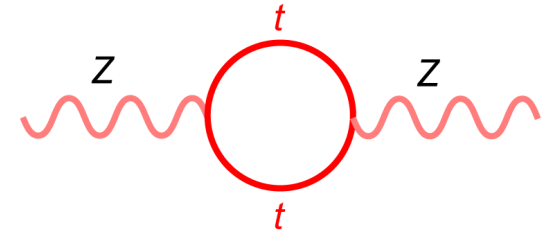
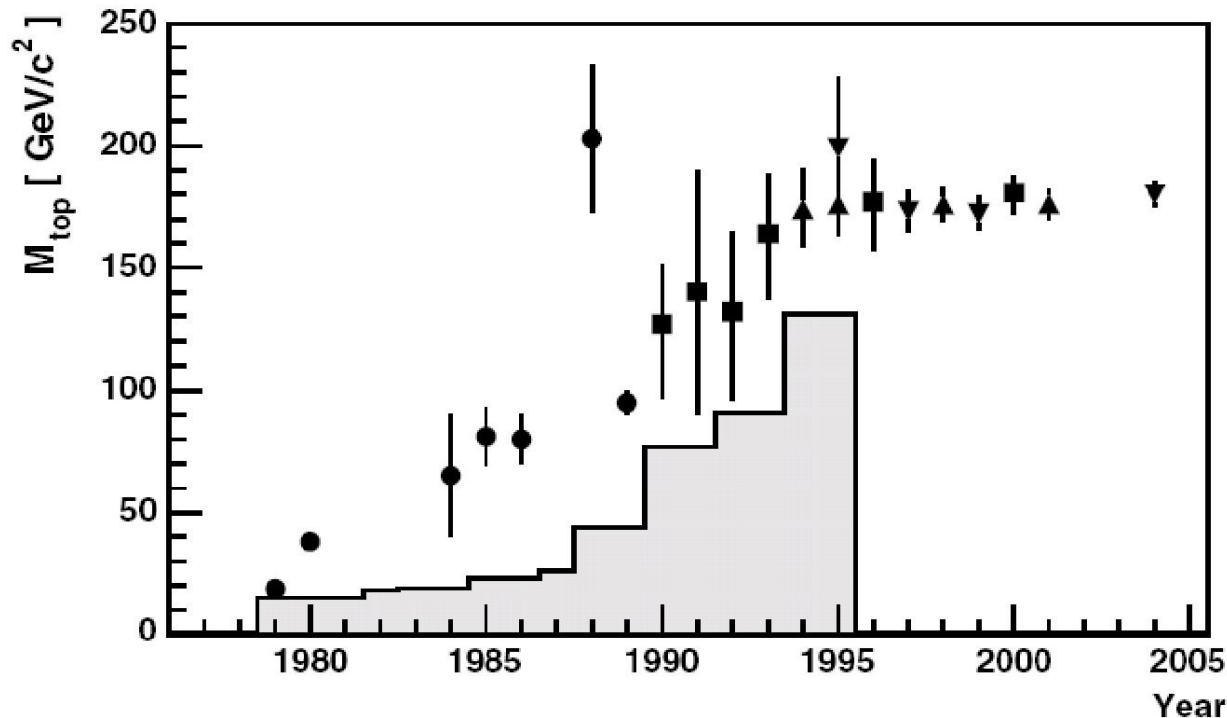
- schwacher Isospin Partner des Bottom
- $Q = + 2/3, S = 1/2$
- $M_{\text{Top}} \approx 40 \times M_{\text{bottom}}$
- $M_{\text{Top}} \sim M_{\text{Goldatom}}$
- $\tau_{\text{Top}} = 4,7 \cdot 10^{-25} \text{ s}$
- quasifrei
- alle Eigenschaften zugänglich

Geschichte

- **60er Jahre:** u, d und s Quarks werden eingeführt um Teilchenzoo zu systematisieren
 - **1974:** Entdeckung des Charm (2. Familie vollständig)
 - **1976:** Entdeckung des Tau (3. Familien begonnen)
 - **1977:** Entdeckung des Bottom
-
- Zerfallsbreite Z^0 liefert Evidenz auf die Existenz des Top Quarks

$$\Gamma_Z = 3 \cdot \Gamma_{Lepton} + 3 \cdot \Gamma_\nu + 3 \cdot \Gamma_{uct} + 3 \cdot \Gamma_{dsb}$$

Suche



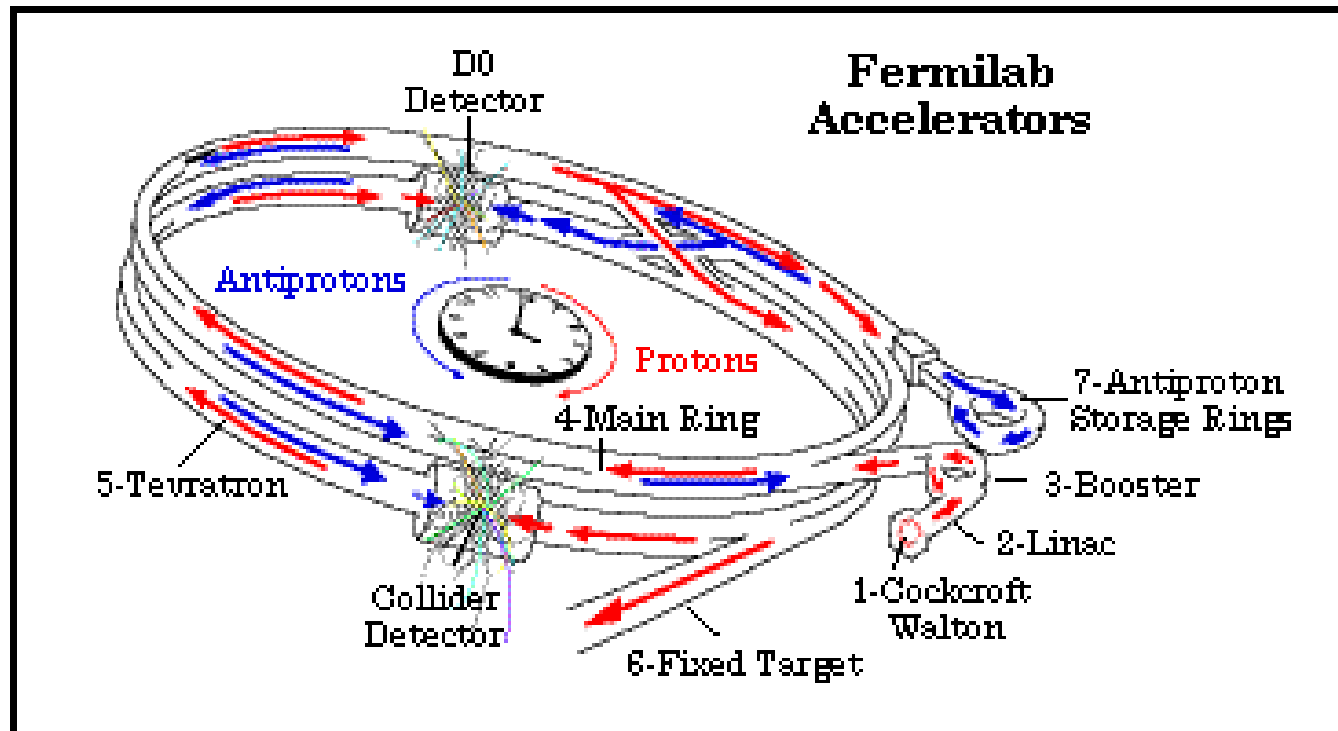
- Z^0 Präzisionsmessungen am LEP1 ermöglichen genau indirekte Massenbestimmung über Strahlungskorrekturen
- **1994:** $M_{\text{Top}} = 179^{+12}_{-9} \text{ GeV}$ (indirekt)
- **1995:** direkter Nachweis am Tevatron

Tevatron @ Fermilab



- 1992 fertig gestellt
- Proton-Antiproton Beschleuniger
- $L = 6,28 \text{ km}$
- CDF und D0
- Run I: $\sqrt{s} = 1,8 \text{ TeV}$
- noch heute leistungsstärkster Beschleuniger
- Run II: $\sqrt{s} = 1,92$

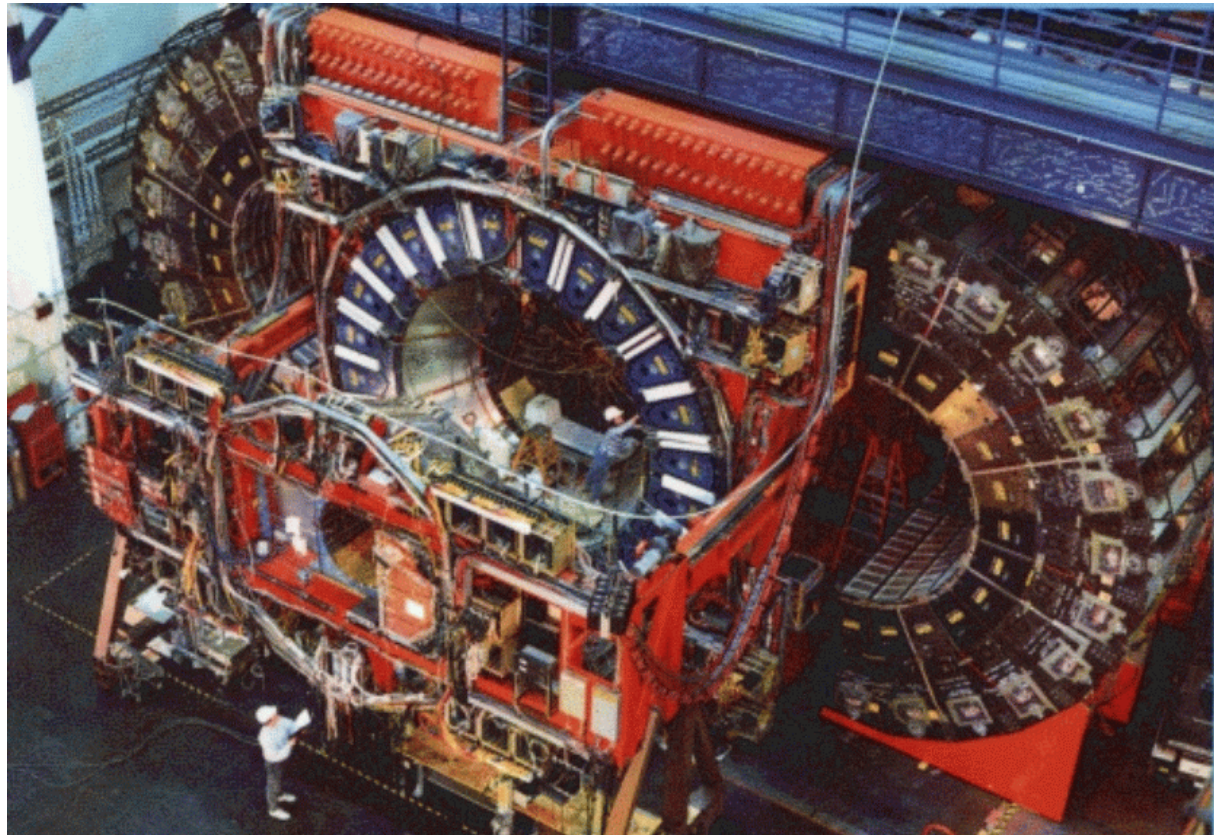
Aufbau des Tevatron



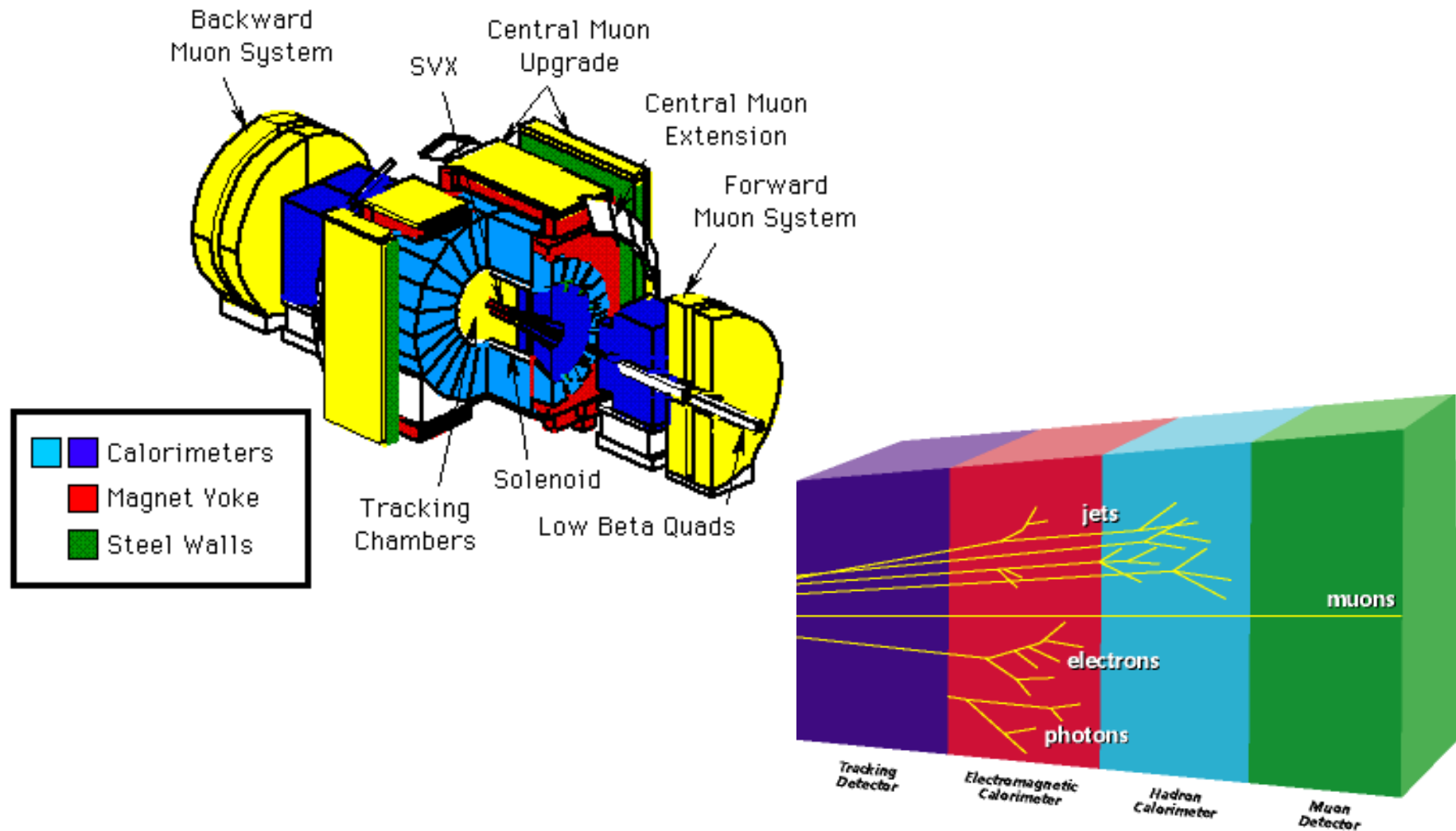
- + einfacher Aufbau durch Teilchen-Antiteilchen Architektur
- aufwendige Herstellung von Antiprotonen
- Luminosität dadurch eingeschränkt

Collider Detector at Fermilab (CDF)

- 25 x 10 x 4 m
- 100 Tonnen
- supraleitender Solenoid mit $B = 1,4 \text{ T}$
- Highlight: Silizium-Vertex-Detektor

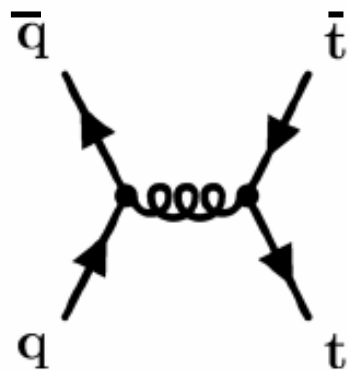


Aufbau des CDF



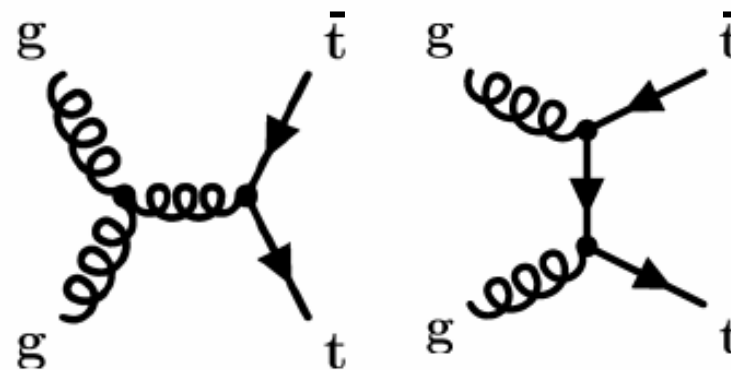
Top Produktion am Tevatron

quark-antiquark annihilation



85% of $\sigma(t\bar{t})$

gluon-gluon fusion

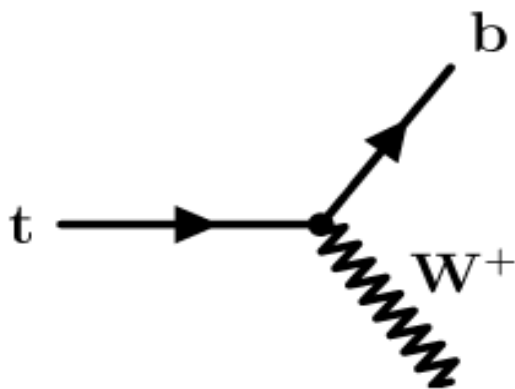


15% of $\sigma(t\bar{t})$

- $\sigma(p\bar{p}) \approx 60 \text{ mb}$
- $\sigma(tt) \approx 6 \text{ pb}$
- nur jedes 10^{-10} . Ereignis ist interessant

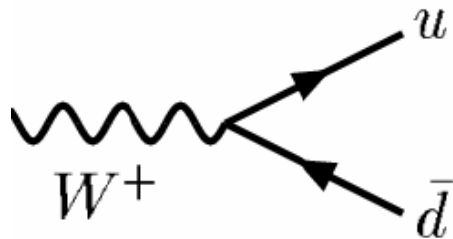
Zerfall des Top-Quarks

$$BR(t \rightarrow W^+ + b) \cong 99,8\% \quad V_{tb} = 0,9990$$

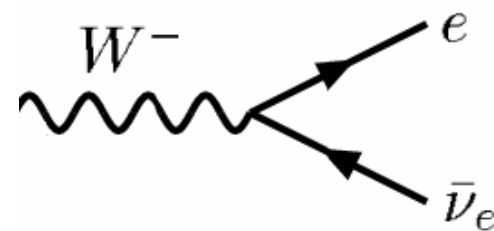


- $\tau_{\text{top}} = 4,7 \cdot 10^{-25} \text{ s}$
- Top ist quasifrei
- b hadronisiert (Jets)
- W hat zwei Hauptzerfallskanäle

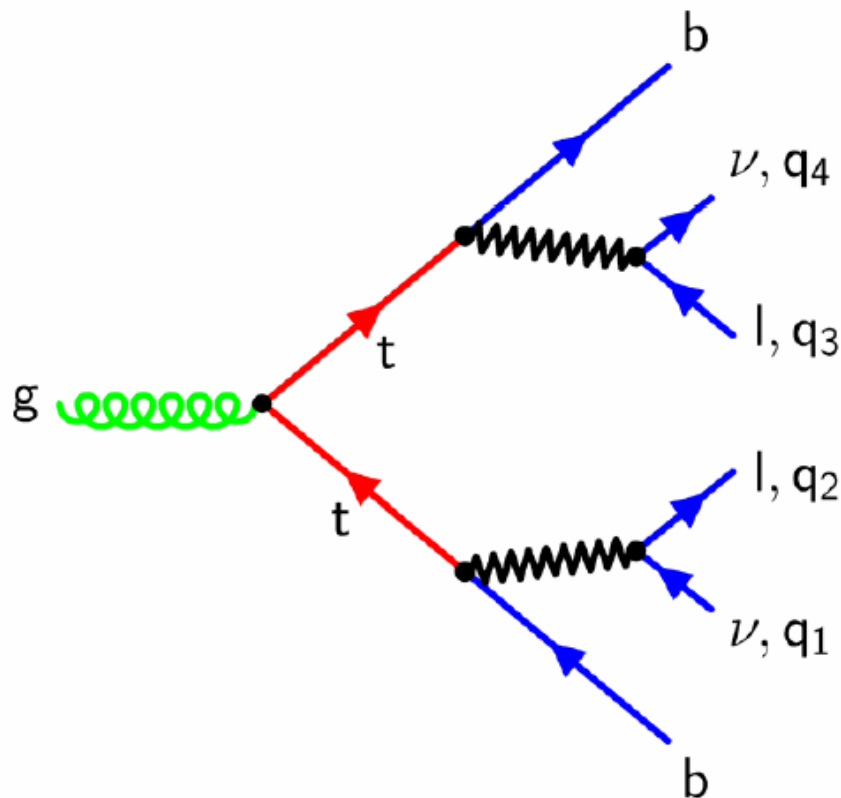
hadronisch $W \rightarrow q + \bar{q}$



leptonisch $W \rightarrow l + \nu_l$



Zerfallskanäle des Top-Quark



W decay	$e\nu/\mu\nu$	$\tau\nu$	qq
$e\nu/\mu\nu$	5%	5%	30%
$\tau\nu$	—	1%	15%
qq	—	—	44%

- rein hadronischer Kanal
- Dileptonischer Kanal
- **Leptonen + Jets Kanal**
- Tau Kanal

Rein hadronische / Tau

- rein hadronischer Kanal
 - beide $W \rightarrow q\bar{q}$
 - insgesamt 6 Jets
 - + hohe Statistik
 - keine klare Jet Zuordnung

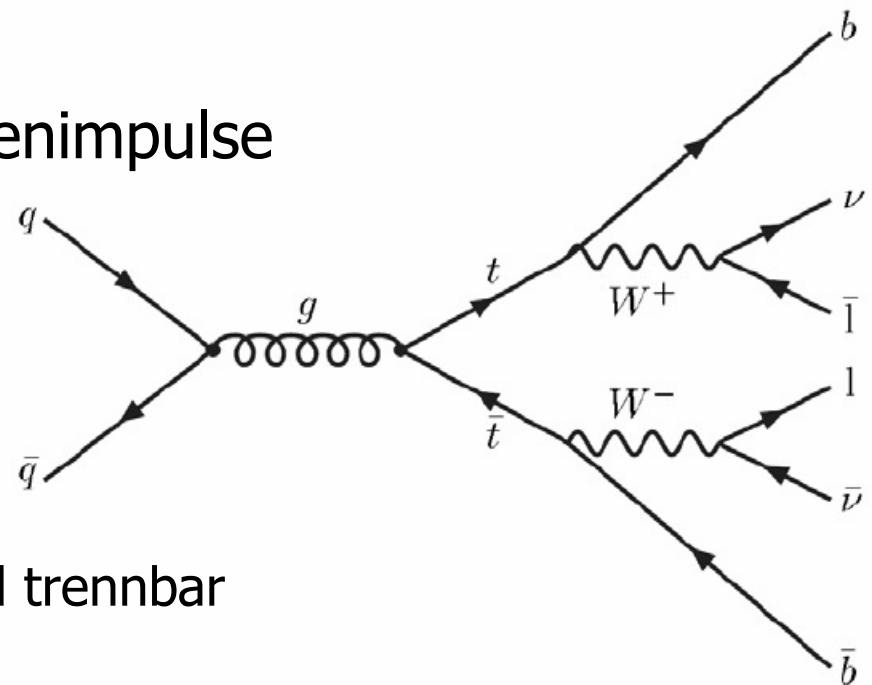
- Tau Kanal

- mindestens ein $W \rightarrow \tau + \bar{\nu}_\tau + X$
 $\tau \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$
- dominanter Untergrund für $W \rightarrow e / \mu$

⇒ es blieben 2 Kanäle für die Suche nach dem Top

dileptonischer Kanal (5%)

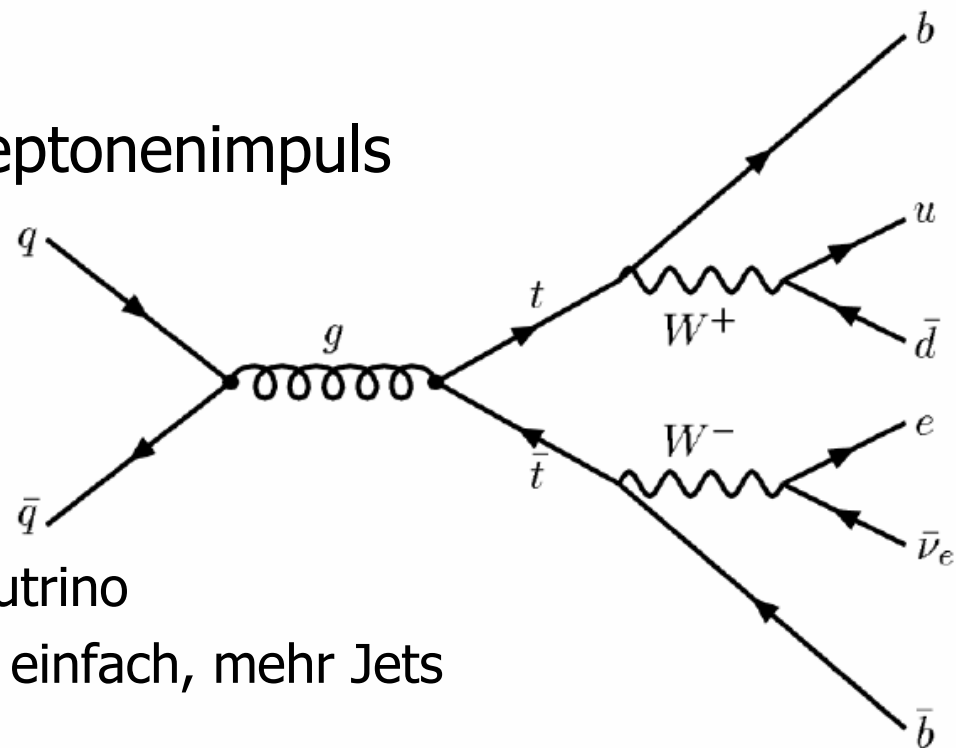
- beide $W \rightarrow l \nu$
- 2 Jets + $\cancel{E}_T$ + 2 hohe Leptonenimpulse



- Vor-/Nachteile
 - + am leichtesten vom Untergrund trennbar
 - selten
 - kinematisch schlecht auflösbar, Neutrinos nicht nachweisbar

Lepton + Jets Kanal (33%)

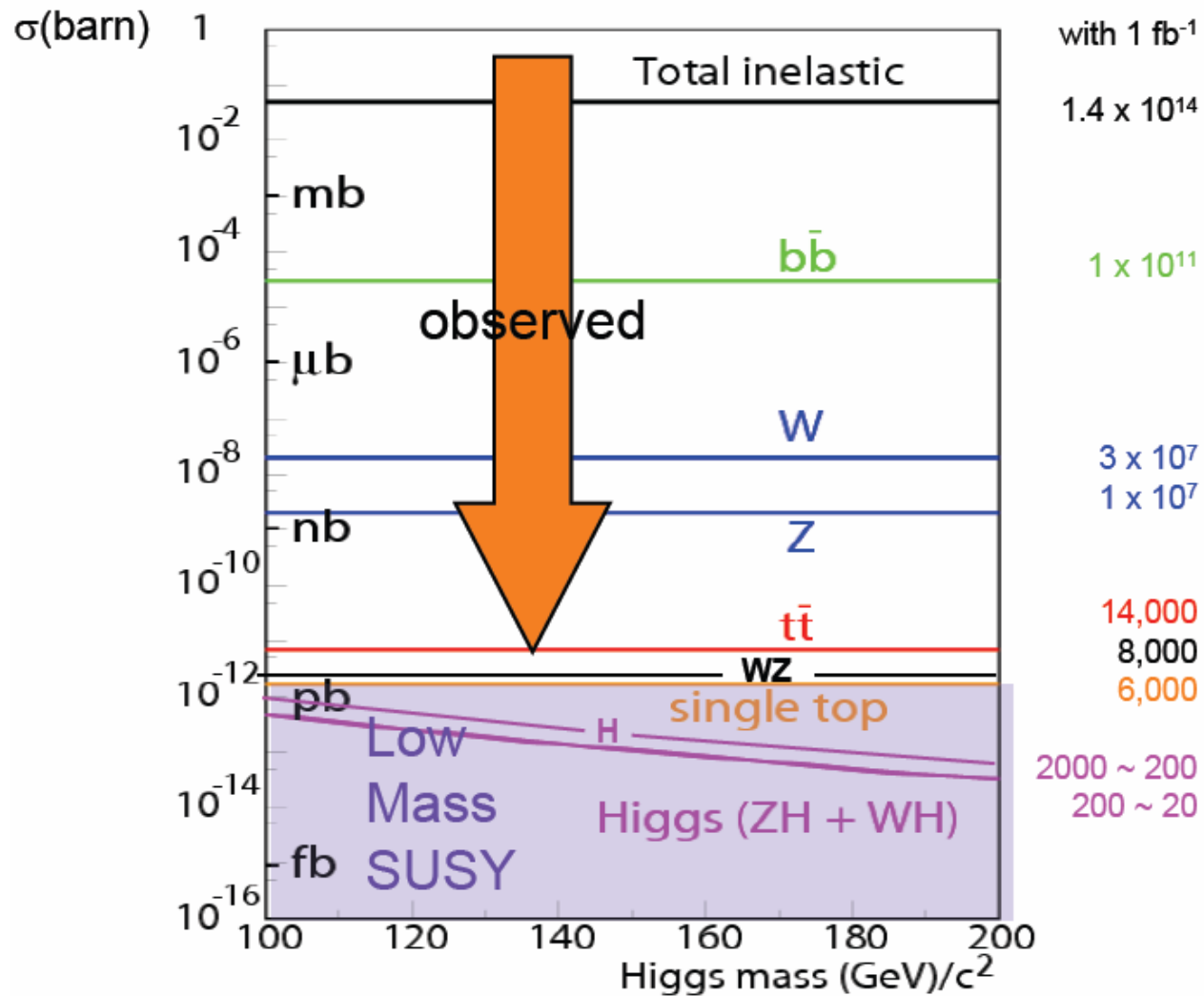
- $W \rightarrow l\nu$ $W \rightarrow q\bar{q}$
- 4 Jets + $\cancel{E}_T$ + 1 hoher Leptonenimpuls



- Vor-/Nachteile
 - + relativ häufig
 - + gesamte $\cancel{E}_T$ von einem Neutrino
 - Untergrundtrennung nicht einfach, mehr Jets

⇒ aussichtsreichster Kanal

Untergrundproduktion

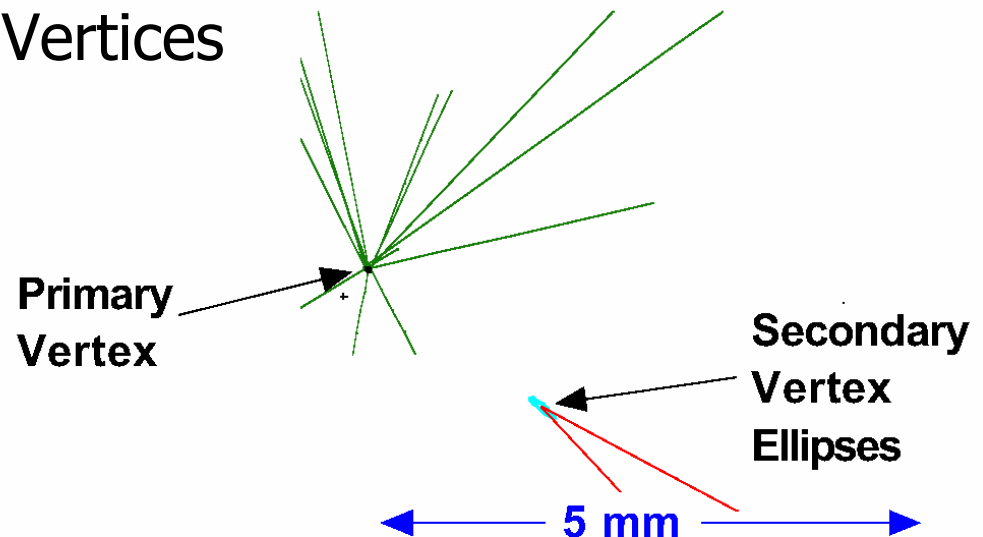


Untergrundreduktion

- Monte Carlo Simulationen aller Signal und Untergrundprozesse (z.B. Drell-Yan Leptonpaar, Z0)
- Vergleich und Entwicklung geeigneter Selektionsverfahren
- Kinematische Bedingungen
 - hohe Leptonenimpulse: $P > 20 \text{ GeV}/c$
 - Veto auf Invariante Masse von 2 Leptonen: $M \neq 75 - 105 \text{ GeV}/c^2$
 - fehlende Transversalenergie für Neutrino: $\cancel{E}_T > 25 \text{ GeV}$
 - hohe Jetenergien: $E_T > 10-15 \text{ GeV}$
- weitere Forderungen an Jets im Lepton + Jets Kanal
 - Anzahl detektierter Jets ≥ 3
 - **b-Jets sollen identifiziert werden „b-tagging“**

Second Vertex (SVX)

- Lebensdauer $\tau \sim 1,5 \text{ ps}$, $c \tau \sim 450 \text{ } \mu\text{m}$
- typ. Wegstrecke im Detektor $s \sim 3 \text{ mm}$
- es entsteht ein sekundärer Vertex
- Siliziumvertexdetektor hat eine Auflösung von $\sim 50 \text{ } \mu\text{m}$
- Suche nach sekundären Vertices



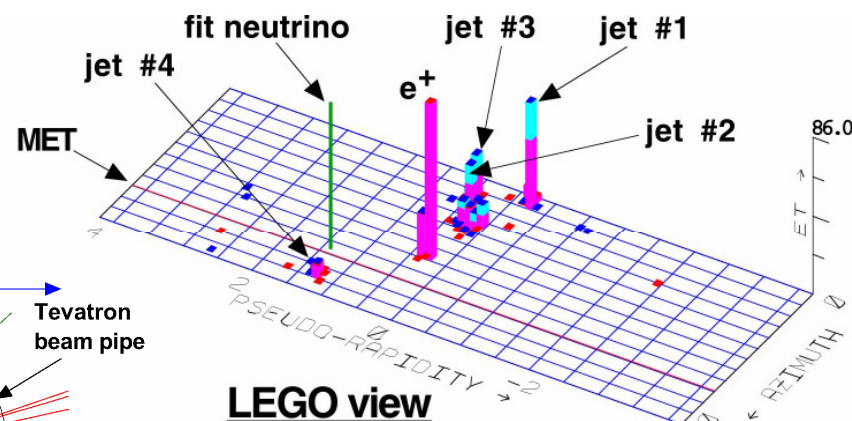
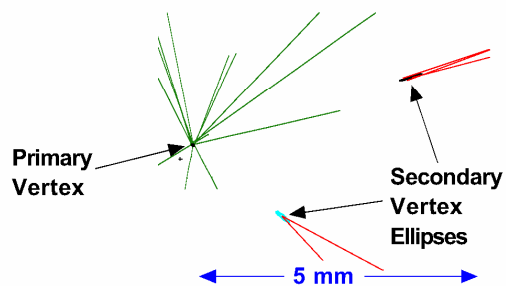
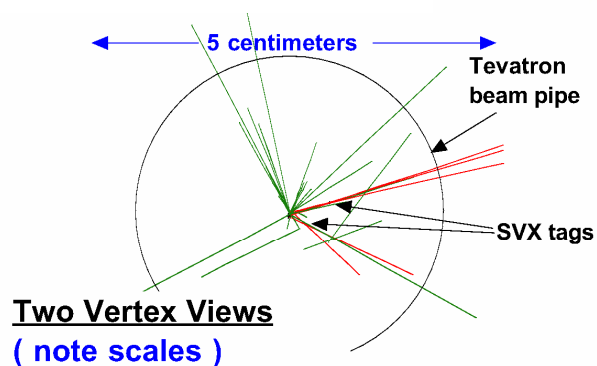
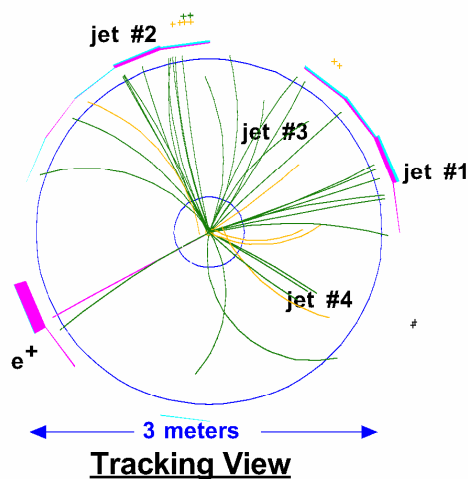
Soft Lepton Tag (SLT)

- $b \rightarrow l + \nu + X$
 $b \rightarrow c \rightarrow l + \nu + X$
- weiters niederenergetische Lepton
- Suche nach Leptonen mit $P_T > 2 \text{ GeV}$
- Zerfallsrate semileptonisch nur 30%
- gute Teilchen ID benötigt
- Signal Untergrund Verhältnisse deutlich schlechter als bei SVX, Detektor nicht angepasst
- heute fast bedeutungslos

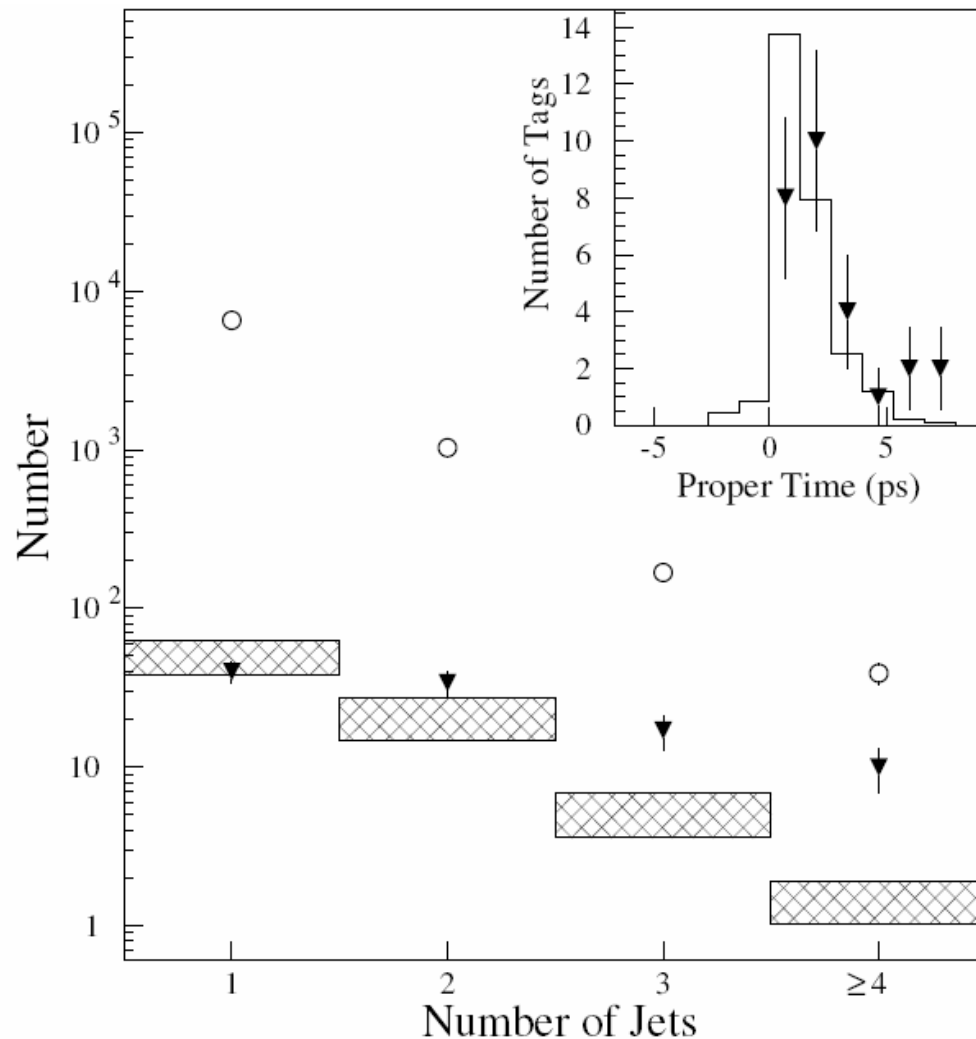
Golden Top Event

e + 4 Jets Event

Jet #1 & #4 SVX tagged



Ergebnisse



- 64 pb⁻¹ Daten gesammelt
- 7807 Events
- 142 SVX tags beobachtet
- nur für ≥ 3 Jets sinnvoll

- Ereignisse ohne Taggin
- ▼ Ereignisse mit SVX-Tag
- ▨ Erwarteter Untergrund mit SVX-Tag

Ergebnisse

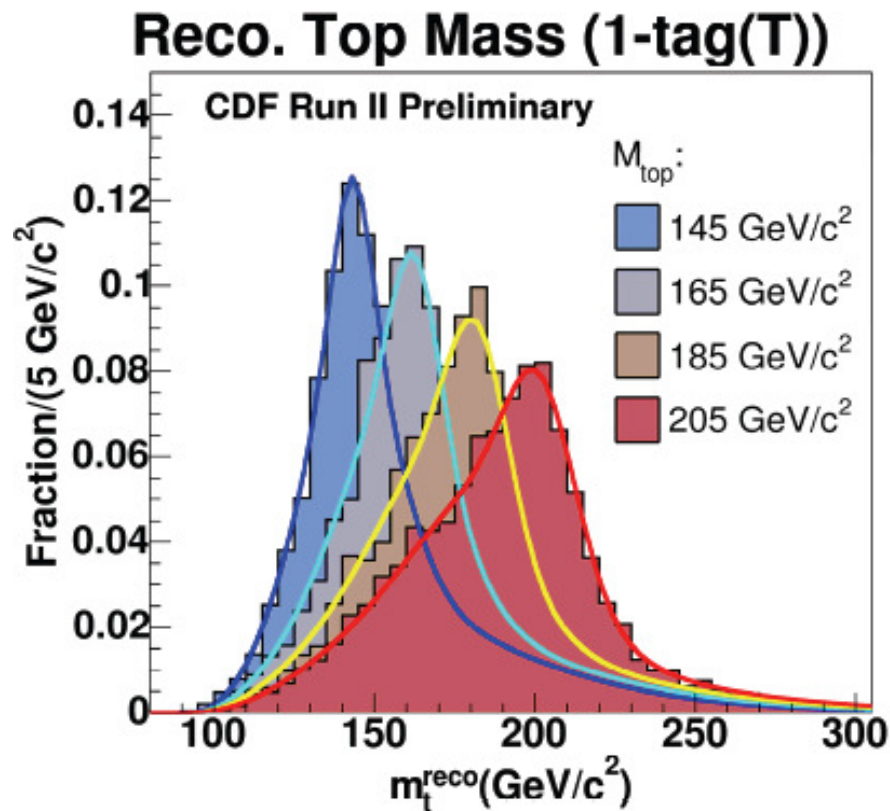
Channel:	SVX	SLT	Dilepton
observed	27 tags	23 tags	6 events
expected background	6.7 ± 2.1	15.4 ± 2.0	1.3 ± 0.3
background probability	2×10^{-5}	6×10^{-2}	3×10^{-3}

- 27 SVX tags in 21 Events, 23 SLT tags in 22 Events
- insgesamt 37 b tagged W + ≥ 3 Jets Events
- 6 Dilepton Events
- Wahrscheinlichkeit für reinen Untergrund 1×10^{-6} ($4,8\sigma$)
- mit Form der Massenverteilung $3,7 \times 10^{-7}$ (5σ)

⇒ **Top Quark Nachweis erbracht**

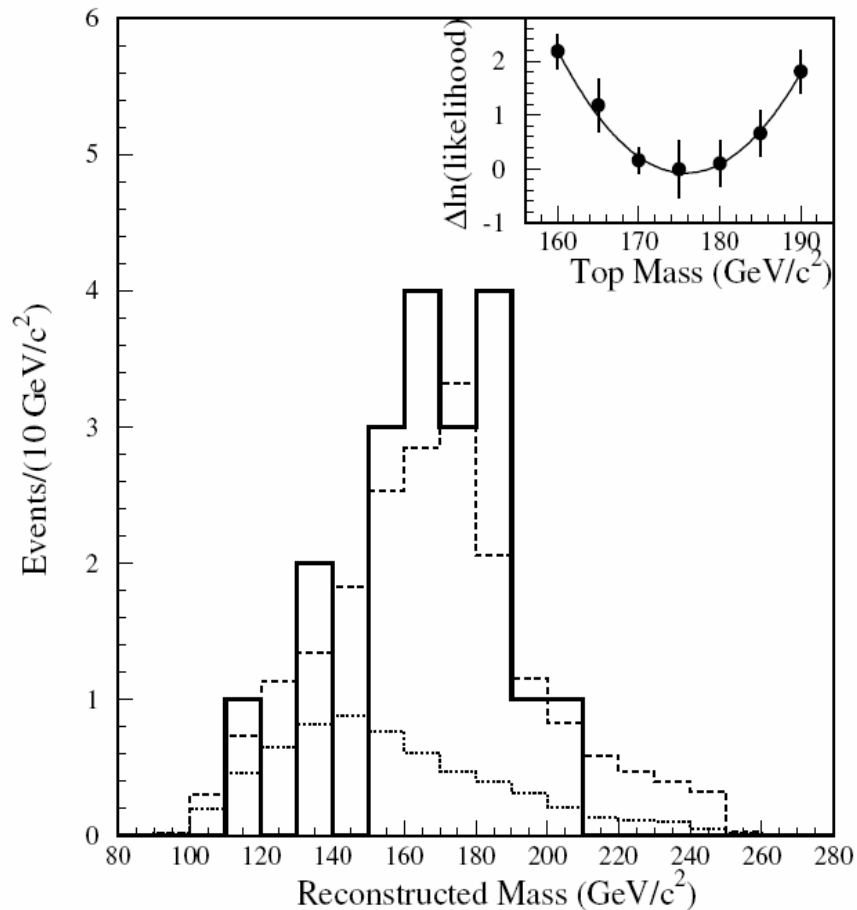
Massenbestimmung

- Template-Methode:



- Monte Carlo Simulationen mit verschiedenen Top Massen
- vergleich mit gemessener Massenverteilung
- Likelihood Fit

Massenbestimmung



$$M_{\text{top}} = 176 \pm 8 \text{ (stat)} \pm 10 \text{ (sys)} \text{ GeV}/c^2$$

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

— Massenverteilung b-taggent W + ≥ 4

--- Monte Carlo für $M_{\text{Top}} = 175 \text{ GeV}/c^2$

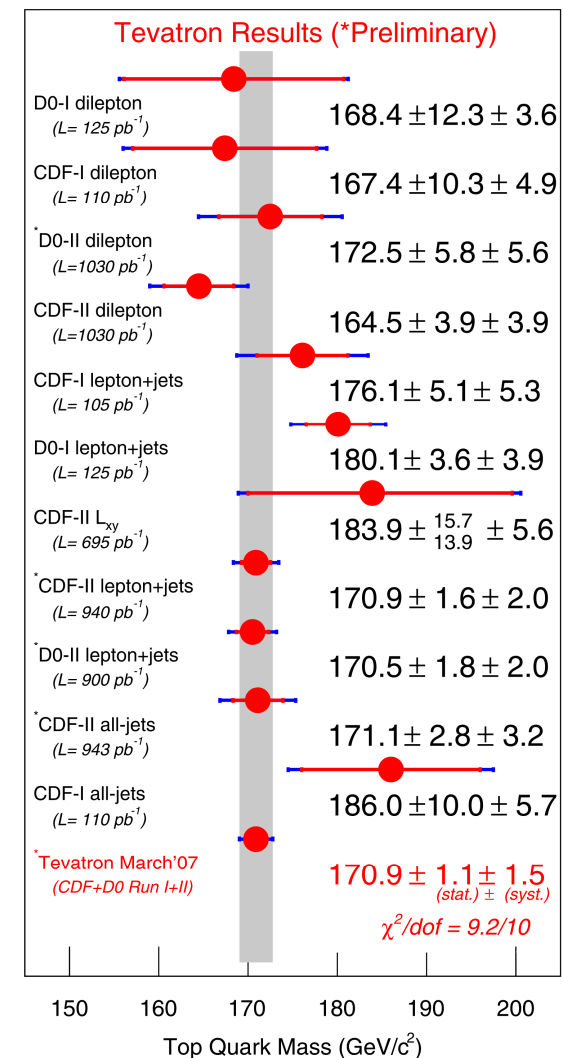
..... erwarteter Untergrund

Aktuelle Messungen

- Auch andere Experimente bestimmen die Masse
- neue Methoden kommen hinzu
- Luminosität steigt

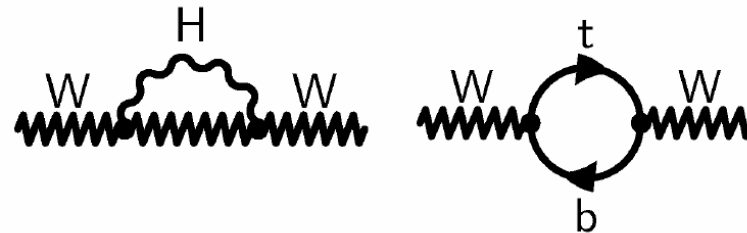
$$M_{\text{top}} = 170,9 \pm 1,1 (\text{stat}) \pm 1,5 (\text{sys}) \text{ GeV}/c^2$$

(Stand 03/2007)



Bedeutung der Top-Masse

- Top und Higgs liefern Strahlungskorrekturen zur W-Masse



$$M_W^2 = M_Z^2 (1 - \sin^2 \Theta_\omega) (1 - \Delta\rho^{Ouarks} + \Delta\rho^{Higgs})$$

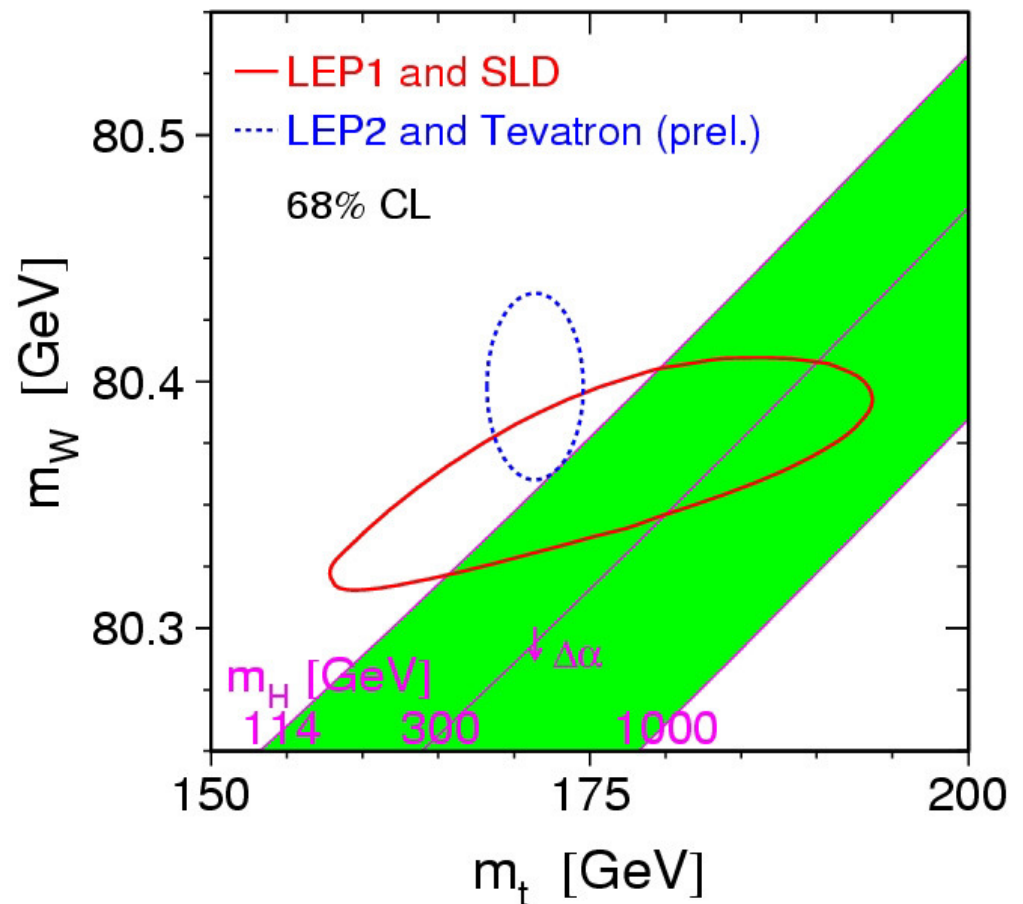
$$\Delta\rho^{Ouarks} \propto M_{top}^2$$

$$\Delta\rho^{Higgs} \propto \ln\left(\frac{M_{Higgs}}{v}\right)$$

- M_Z und Θ_ω sind sehr gut bekannt
- aus M_W und M_{Top} müssen genau bestimmt werden
- indirekte Bestimmung von M_{Higgs} möglich

Die Higgs-Masse

- aus direkter Messung:
 $M_{\text{Higgs}} > 114 \text{ GeV}$
- aus Korrekturen:
 $M_{\text{Higgs}} < 182 \text{ GeV}$



Zusammenfassung



- Top ist schwerstes Quark
- Zerfällt fast immer in W und b
- Topereignisse werden durch „b tagging“ gefunden
- $M_{\text{top}} = 170,9 \pm 1,1 \text{ (stat)} \pm 1,5 \text{ (sys)} \text{ GeV}/c^2$
- Higgs Masse kann durch Strahlungskorrekturen bestimmt werden

Ende



**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit**