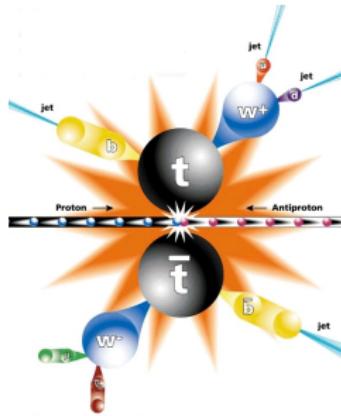


Top-Quark

Ergebnisse vom TeVatron

Johannes Erdmann

Max-Planck-Institut für Physik, München
LMU München



Übersicht

- 1 Einleitung
- 2 Wirkungsquerschnitt der $t\bar{t}$ -Paarerzeugung am TeVatron
- 3 Top-Masse
- 4 W-Boson-Helizitätsmessungen in Top-Quark-Zerfällen
- 5 Top-Ladung und Top-Zerfallskanäle
- 6 Zusammenfassung

Einleitung

Präzisionsmessungen am Top

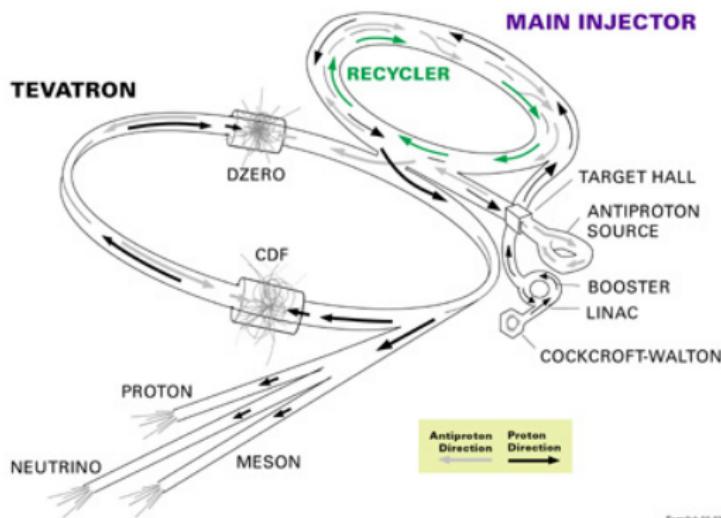
Warum Präzisionsmessungen am Top-Quark?

- Präzisionstests des Standardmodells
- Top-Quark-Masse ist sensitiv auf die Higgs-Masse
- Top-Quark ist sensitiv auf neue Physik (z.B. SUSY, FCNC, massive Resonanzen)
- $t\bar{t}$ -Produktion wichtiger Hintergrund für neue Physikprozesse

dieser Vortrag:
Beschränkung auf Top-Quark-Paarproduktion

TeVatron

FERMILAB'S ACCELERATOR CHAIN

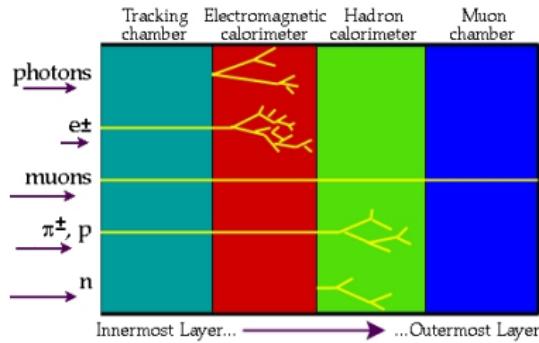


Fermilab 00-035

- TeVatron am Fermilab (bei Chicago)
- 6, 28 km Umfang
- $p\bar{p}$ -Kollisionen
- Bunch-Abstand: 396 ns
- $\sqrt{s} = 1,96 \text{ TeV}$
- Run II seit 2001
- $\int \mathcal{L} = 4,51 \text{ fb}^{-1}$
(April 2002 - Juli 2008)

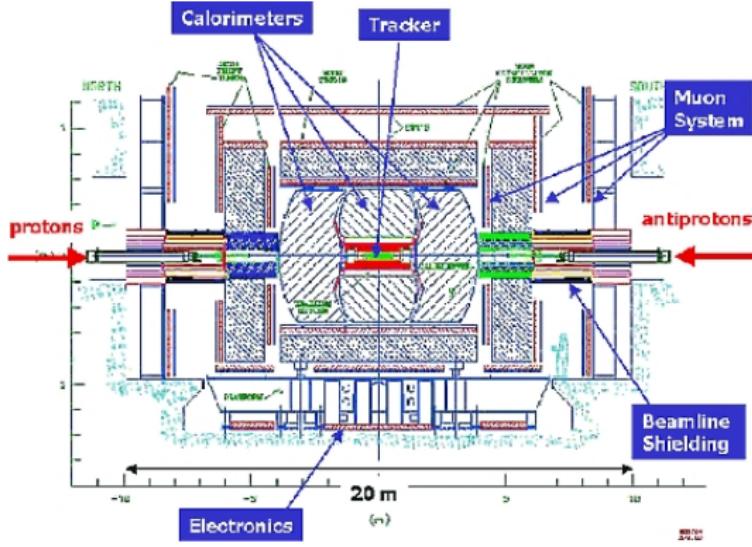
DØ-Detektor (Run II)

- Tracking:
 - SMT (Silicon Strip)
 - CFT (Scint. Fibers)
 - Solenoid (2 T)
- Myon-Kammern:
 - PDT, MDT
(Driftkammern)
 - Szintillatoren
 - Toroid (1,8 T)



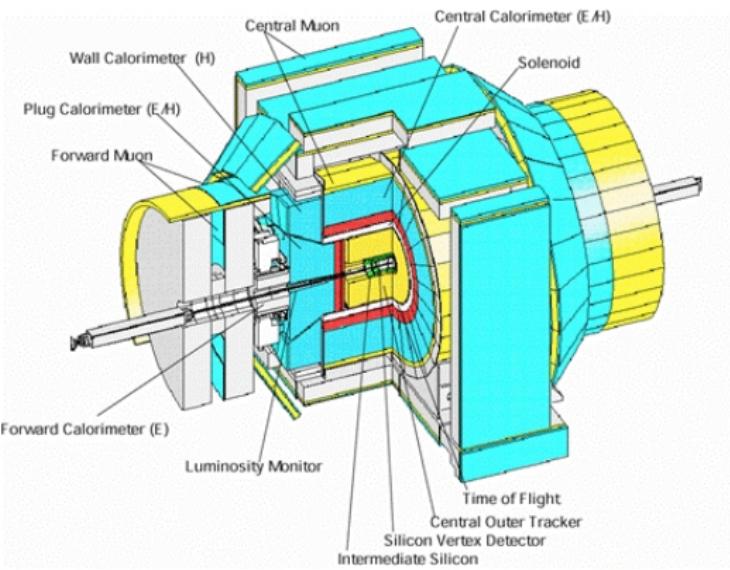
Kalorimeter:

- Sampling-Kalorimeter (Flüssig-Ar)
- EM: LAr-Uran (\rightarrow kompensierend)
- Had.: LAr-Uran+Nb, LAr-Cu/Stahl



CDF-Detektor

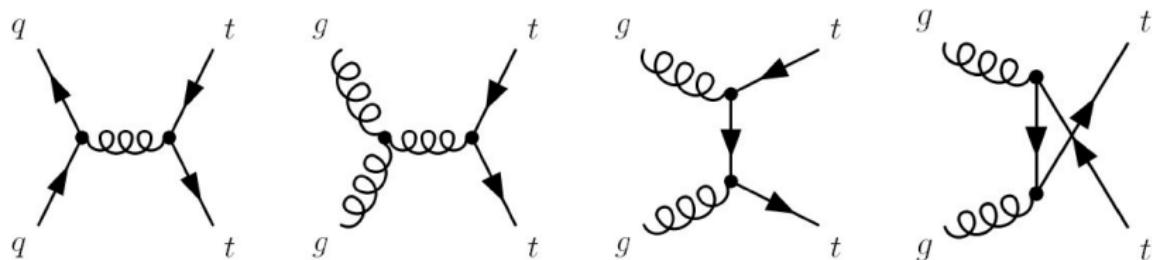
- Tracking:
 - Si-Streifen-Zähler
 - Central Outer Tracker (Driftkammern)
 - Solenoid: 1, 4 T
- Kalorimeter:
 - EM: Szintillator-Pb
 - Had.: Szint.-Stahl
- Myon-Driftkammern



Wirkungsquerschnitt der $t\bar{t}$ -Paarerzeugung am TeVatron

$t\bar{t}$ -Erzeugung am TeVatron

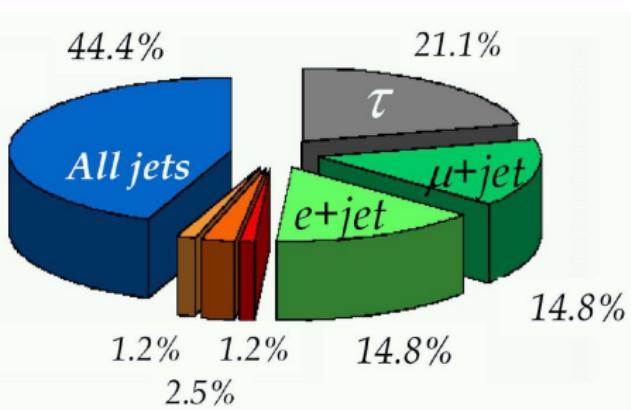
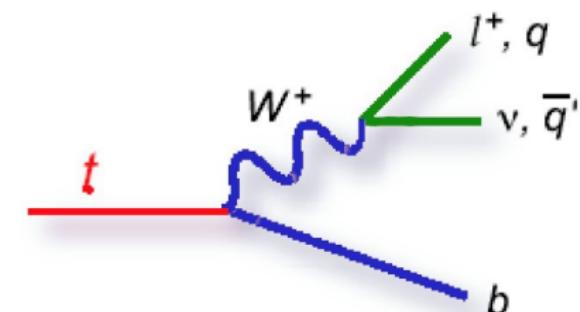
- Prozesse in führender Ordnung



- $t\bar{t}$ -Produktion am TeVatron von $q\bar{q}$ -Vernichtung dominiert:

| \sqrt{s} [TeV] | $\sigma_{q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}} / \sigma_{t\bar{t}}$ | $\sigma_{gg \rightarrow t\bar{t}} / \sigma_{t\bar{t}}$ |
|------------------|--|--|
| 1,8 (Run I) | 90 % | 10 % |
| 1,96 (Run II) | 85 % | 15 % |

Topologie

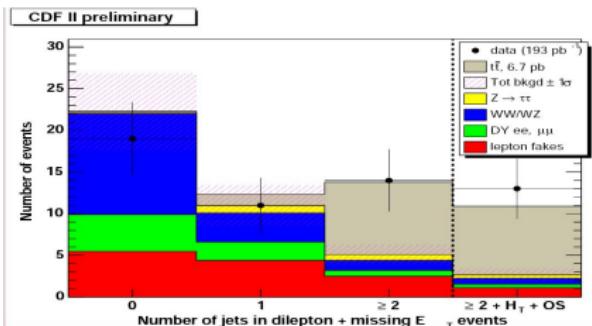


Signaturen

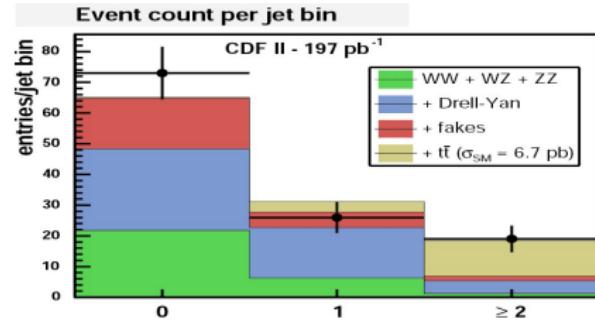
- **Dilepton-Kanal ($\sim 5\%$):**
2 Leptonen, 2 Jets, $E_T(2\nu)$
- **“Lepton+Jets”-Kanal ($\sim 30\%$):**
1 Lepton, 4 Jets, $E_T(1\nu)$
- **Hadronischer Kanal ($\sim 44\%$):**
6 Jets, kein Lepton, kein E_T
- **Kanäle mit τ -Lepton ($\sim 21\%$):**
hadronische τ -Zerfälle
(schwer zu identifizieren)

Dilepton-Kanal

- 2 hochenergetische Leptonen (e, μ)
- hohe E_T
- hochenergetische Jets
- hohes Signal-zu-Hintergrund-Verhältnis ☺
- kleines Verzweigungsverhältnis → niedrige Statistik ☹
- Lockern der Bedingungen an das zweite Lepton:
“Lepton+Track”-Analyse (CDF) → höhere Statistik



Dilepton-Kandidaten



“Lepton+Tracks”-Kandidaten

“Lepton+Track”-Analyse (CDF)

Ereignis-Auswahl

- 2 entgegengesetzt geladene Leptonen mit $E_T > 20 \text{ GeV}$
- $E_T > 25 \text{ GeV}$
- “tight”-Lepton: strikte Teilchenidentifikation
 - e : Spur + E im em. Kalorimeter + Isolation
 - μ : Spur + E im Kalorimeter $\hat{=}$ MIP + Spur (Myonkammern) + Isol.
- “loose”-Lepton: isolierte Spur mit $|\eta| < 1,0$
- mindestens zwei Jets mit $E_T > 20 \text{ GeV}$ und $|\eta| < 2,0$

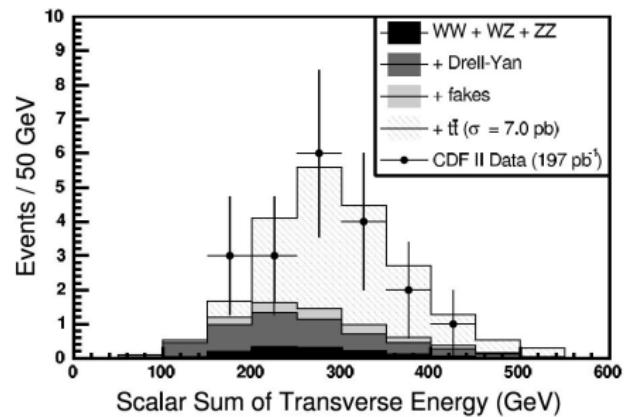
Hintergrund-Prozesse

- Drell-Yan: $q\bar{q} \rightarrow Z^0/\gamma^* \rightarrow \ell^+\ell^-$
- $W \rightarrow \ell\nu + \text{jets}$ mit falscher Identifikation eines Jets als Lepton
- Diboson-Produktion: WW, WZ, ZZ

$\sigma_{t\bar{t}}$ aus “Lepton+Track” (CDF, 2004)

- Hintergrund-Abschätzung:
 - Drell-Yan, Diboson aus MC
 - Jet-Fake-Rate aus Daten (pure Jet-Samples)
 - Hintergrund: $6,9 \pm 1,7$
- 18 Ereignisse bei CDF
- $\sigma(t\bar{t}) = \frac{N_{\text{CDF}} - N_{\text{Hintergrund}}}{\epsilon \cdot \mathcal{L}_{\text{int}}}$
- Effizienz $\epsilon = 0,88\% \pm 0,12\%$

Kinematischer Crosscheck: $\sum |p_T|$

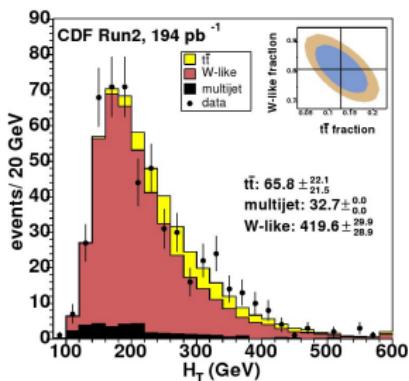


$$\sigma(t\bar{t}) = 7,0^{+2,7}_{-1,2} \text{ (stat.)}^{+1,5}_{-1,3} \text{ (syst.)} \pm 0,4 \text{ (Lumi.) pb}$$

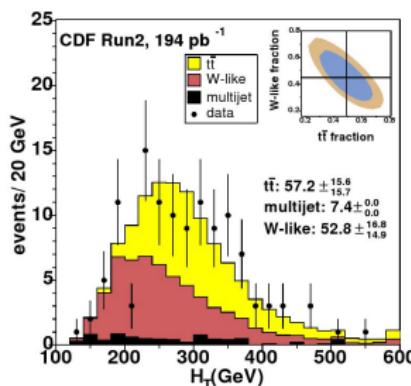
$$\text{Theorie: } 6,7^{+0,7}_{-0,9} \text{ pb}$$

“Lepton+Jets”-Analyse

- größeres Verzweigungsverhältnis als Dilepton-Kanal (30 %)
- Signatur: • 1 isoliertes high- p_T -Lepton • 4 high- p_T -Jets • \not{E}_T
- großer Hintergrund durch $W + n$ jets
- Hintergrund-Reduktion durch
 - topologische Analyse (CDF, 2005): kinematische Variablen wie $H_T = \sum |p_T|$, *aplanarity*, *sphericity*, ...



3-Jet-Analyse

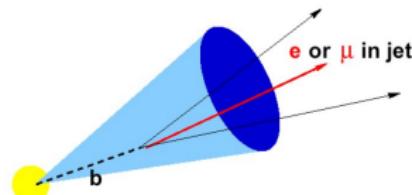
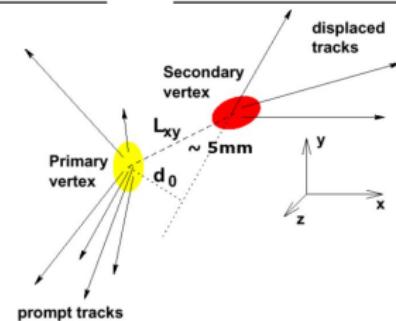
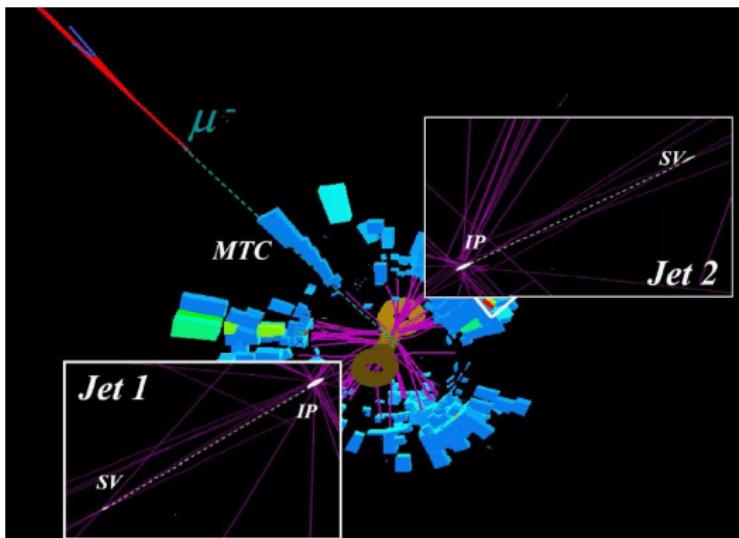


4-Jet-Analyse

- Identifizierung der b-Jets (“b-Tagging”)

“b-Tagging”

- zwei der Jets in Top-Events sind b-Jets
- nur 1-2% des W+Jets-Hintergrunds enthält b-Jets
- B-Mesonen: $\tau \sim 10^{-12} \text{ s} (\hat{\equiv} \sim 5 \text{ mm für } 50 \text{ GeV})$
- “Secondary-Vertex-Tag” • Stoßparameter-Tag • “Soft-Lepton-Tag”



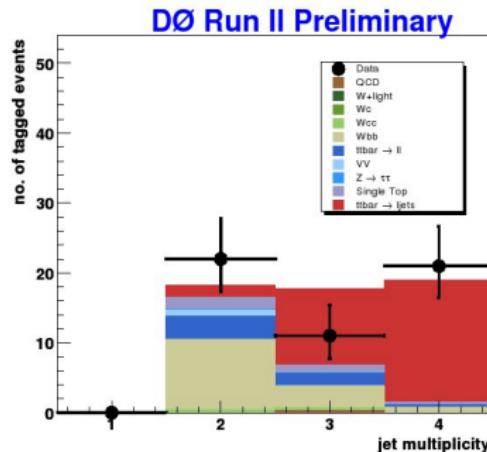
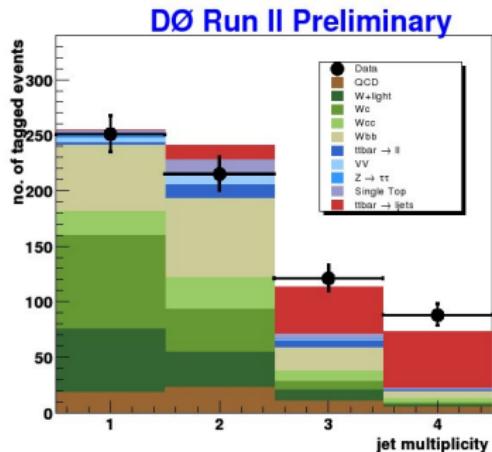
“Lepton+Jets” mit Vertex-b-Tag (DØ)

- Ereignis-Auswahl
 - genau 1 isoliertes Lepton mit $p_T > 20 \text{ GeV}$ und $|\eta| < 1,1$ (2, 0)
 - $\cancel{E}_T > 20 \text{ GeV}$ und isoliert vom Lepton
 - mindestens 1 Jet mit $p_T > 15 \text{ GeV}$ und $|\eta| < 2,5$
- b-tagging
 - Secondary-Vertex-Tag von Tracks mit $p_T > 1 \text{ GeV}$
 - b-Tag, wenn $L_{xy} > 7\sigma_{L_{xy}}$
 - Abschätzung der Misidentifikation mit negativen Tags:

$$L_{xy} < -7\sigma_{L_{xy}}$$
- Hintergrund
 - W + jets mit $W \rightarrow \ell + \nu$
 - Multijet-Ereignisse mit einem falsch als Lepton identifizierten Jet, \cancel{E}_T aus Fehler der Energiemessung
 - klein: Z + jets, WW, WZ, ZZ
- Tagging-Effizienz für ≥ 4 Jets:
 - Signal : 60% (45,3% (single tag) + 14,2% (double tag))
 - W + jets Hintergrund : 4% (single tag) bzw. 0,4% (double tag)

$\sigma_{t\bar{t}}$ aus “Lepton+Jets” mit Vertex-b-Tag (DØ)

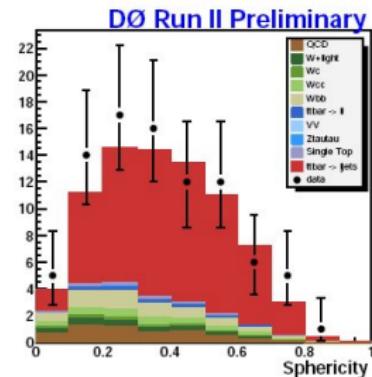
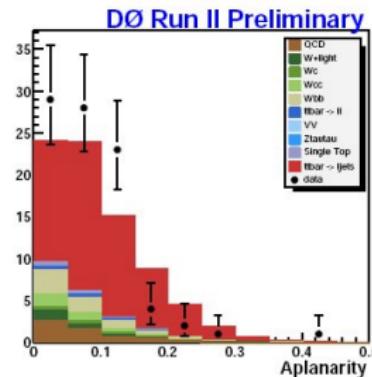
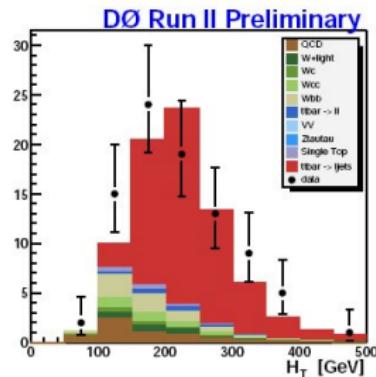
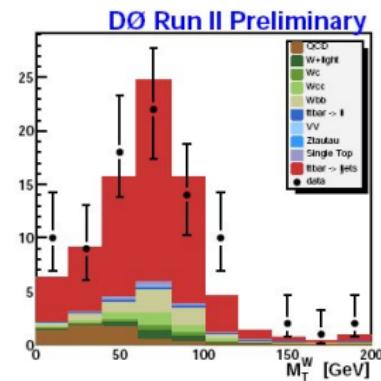
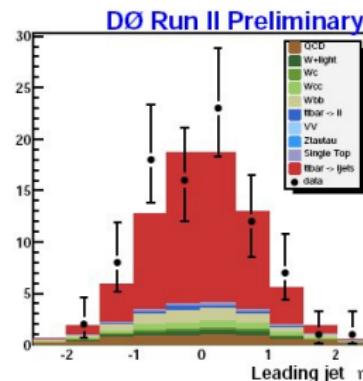
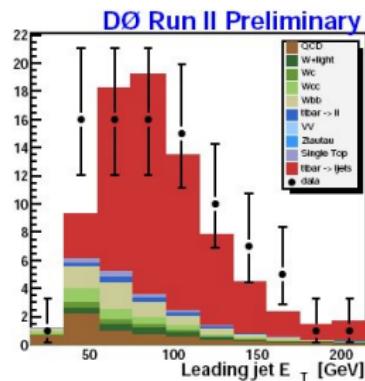
- DØ 2005 ($\mathcal{L}_{\text{int}} = 365 \text{ pb}^{-1}$)
- Anzahl der Events (Signal+Hintergrund) gegen Jet-Multiplizität:



$$\sigma(t\bar{t}) = 8,1 \pm 0,9 \text{ (stat.)} \begin{array}{l} +0,9 \\ -0,8 \end{array} \text{ (syst.)} \pm 0,5 \text{ (Lumi.)} \text{ pb}$$

$$\text{Theorie: } 6,7 \begin{array}{l} +0,7 \\ -0,9 \end{array} \text{ pb}$$

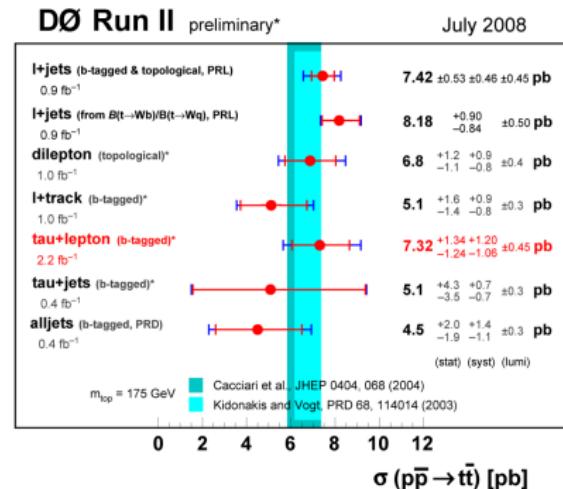
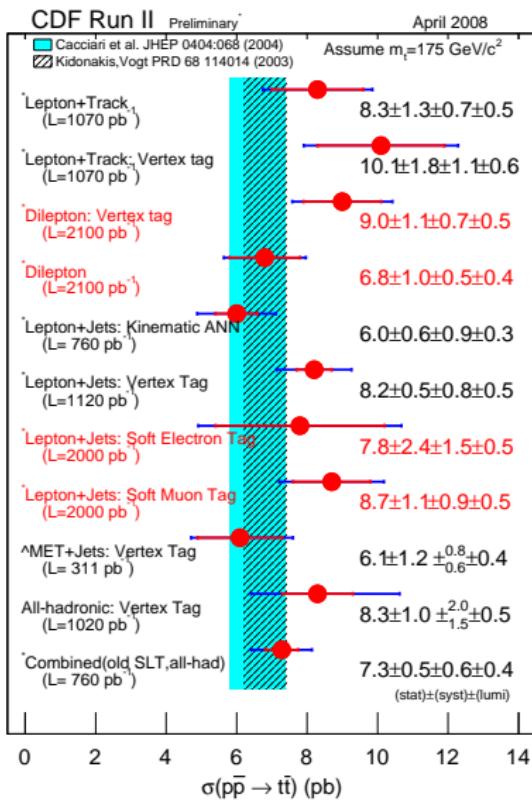
Crosscheck mit Kinematischen Variablen



Vollständig Hadronischer Kanal

- Signatur: 6 high- p_T -Jets, wenig E_T , keine high- p_T -Leptonen
- hoher QCD Multijet-Hintergrund
- \Rightarrow sehr schwierig
- b-tagging notwendig
- Verwendung vieler kinematischer Variablen und Event-Shapes (H_T , *aplanarity* etc.)

Übersicht



für $m_t = 175 \text{ GeV}$

SM-Vorhersagen bestätigt!

Top-Masse

Kinematik

Massenmessung: Rekonstruktion der Kinematik

Endzustand: 6 Teilchen → 24 Komponenten von 4-Vektoren

- Bedingungen:
- $M_t = M_{\bar{t}}$, d.h. $M_{W^+b} = M_{W^- \bar{b}}$
 - $M_\nu = 0$ je ν
 - $M_{W^+} = M_{W^-} = M_W$, d.h. $M_{\ell\nu} = M_{\text{JetJet}} = M_W$

- hadronischer Kanal:
 - 24 Messwerte, 3 Bedingungen (überbestimmt)
 - hoher kombinatorischer Hintergrund (Parton-Jet-Zuordnung) ☺
- Dilepton-Kanal:
 - 18 Messwerte (4 4-Vekt. + $E_x + E_y$), 5 Bed. (unterbestimmt) ☺
- $\ell + \text{jets}$ -Kanal ausgezeichnet:
 - 22 Messwerte, 4 Bedingungen (überbestimmt) ☺
 - kombinatorischer Hintergrund: 24 Jet-Kombinationen (ohne b-Tags)

„Template“-Methode (CDF)

Template-Methode im $\ell + \text{jets}$ -Kanal

- kinematischer Fit für jede Jet-Parton-Zuordnung (minimiere χ^2)
- → wähle Kombination mit kleinstem χ^2
- für die Top-Masse: verwende „Templates“ aus Monte Carlo
- Top-Template für $m_t = 130 \dots 230 \text{ GeV}$ & Hintergrund-Templates

Kinematischer Fit

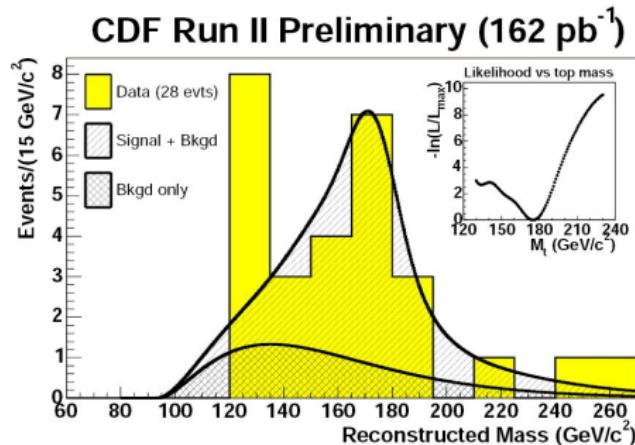
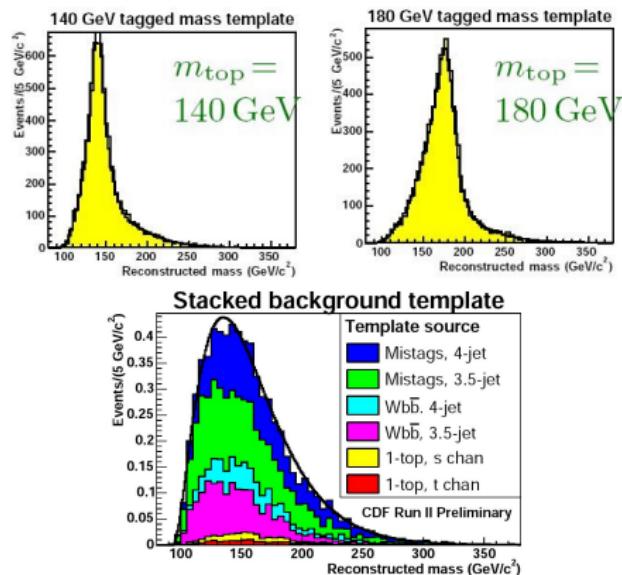
$$\begin{aligned} \chi^2 &= \sum_{\ell, \text{jets}} \frac{(p_T^{\text{fit}} - p_T^{\text{meas}})^2}{\sigma_{p_T}^2} + \sum_{i=x,y} \frac{(U_i^{\text{fit}} - U_i^{\text{meas}})^2}{\sigma_{U_i}^2} + \frac{(M_{\ell\nu} - M_W)^2}{\sigma_{M_W}^2} \\ &+ \frac{(M_{\text{JetJet}} - M_W)^2}{\sigma_{M_W}^2} + \frac{(M_{\ell\nu\text{Jet}} - M_t)^2}{\sigma_{M_t}^2} + \frac{(M_{\text{JetJetJet}} - M_t)^2}{\sigma_{M_t}^2} \end{aligned}$$

U_x, U_y : „unclustered energy“, $M_W = 80, 41 \text{ GeV}$, $m_b = 5 \text{ GeV}$, $m_q = 0, 5 \text{ GeV}$

m_t mit der „Template“-Methode

CDF Run II, $\ell + \text{jets}$, 162 pb^{-1} , 1 b-Tag (2004)

$$m_t = 174,9^{+7,1}_{-7,7} \text{ (stat.)} \pm 6,5 \text{ (syst.) GeV}$$



Matrix-Element-Methode (DØ)

Nachteile der Template-Methode

- richtige Jet-Parton-Zuordnung über χ^2 nur in $\sim 40\%$ richtig
- alle Ereignisse sind gleich gewichtet
→ aber unterschiedlich gut gemessen !!
(z.B. E_{jet} - und $p_T(\mu)$ -Messungen sind Energie- und $|\eta|$ -abhängig)

Matrix-Element-Methode

- definiere für alle Jet-Parton-Zuordnungen die Wahrscheinlichkeitsdichte $P(x, m_t)$, dass bei einer gegebenen Top-Masse ein Ereignis mit den kinematischen Variablen x gemessen wird
- maximiere die Likelihood-Funktion (s. nächste Folie)

Maximum-Likelihood-Methode

- Ziel: Schätzung eines optimalen Parameter-Satzes
 $\vec{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_M)$ an Hand der Daten $\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)$
- Wahrscheinlichkeitsdichte: $P(x, \vec{\alpha})$
- dann definiere: Likelihood-Funktion $\mathcal{L}(\vec{\alpha}) = \prod_{i=1}^N P(x_i, \vec{\alpha})$
- und maximiere $\mathcal{L}(\vec{\alpha})$ (bzw. minimiere „ $-\ln \mathcal{L}(\vec{\alpha})$ “)
- suche den Parameter-Satz $\vec{\alpha}$, der die grösste Wahrscheinlichkeit aufweist, zu den Messwerten \vec{x} geführt zu haben!
 $\Rightarrow \alpha_1^{\text{fit}}, \dots, \alpha_M^{\text{fit}}$

in der Matrix-Element-Methode:

- x_i : kinetische Messwerte des Ereignisses
- α_1 : m_t
- α_2 : Jet-Energie-Skala (**JES**) als dominanter systematischer Fehler
- $P(x, m_t, \text{JES}) = \frac{1}{\sigma_{\text{total}}} \int dy dq_1 dq_2 \frac{d\sigma(y, m_t)}{dy} f(q_1) f(q_2) W(y, x, \text{JES})$
- Transferfunktion $W(x, y, \text{JES})$ verbindet Partongrößen y mit kinematischen Eventgrößen x

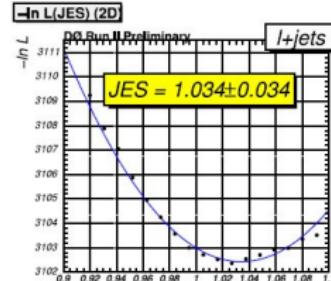
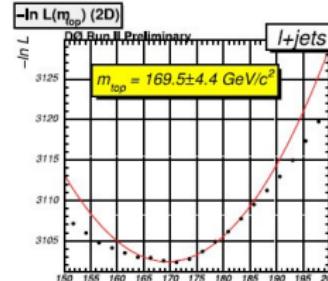
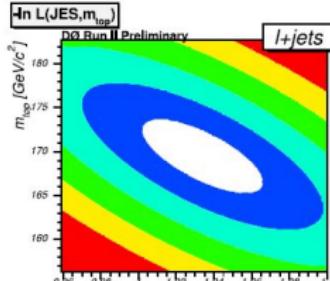
m_t mit der Matrix-Element-Methode (DØ, 2005)

- $P(x; m_t, \text{JES}) = f_{\text{sig}} \cdot P_{\text{sig}}(x; m_t, \text{JES}) + (1 - f_{\text{sig}}) \cdot P_{\text{bkg}}(x; \text{JES})$
- mittlere P über alle Jet-Parton-Zuordnungen
- minimiere:
 $-\ln \mathcal{L}(x_1, \dots, x_N; m_t, \text{JES}, f_{\text{sig}}) = -\sum_{i=1}^N \ln P(x_i; m_t, \text{JES})$

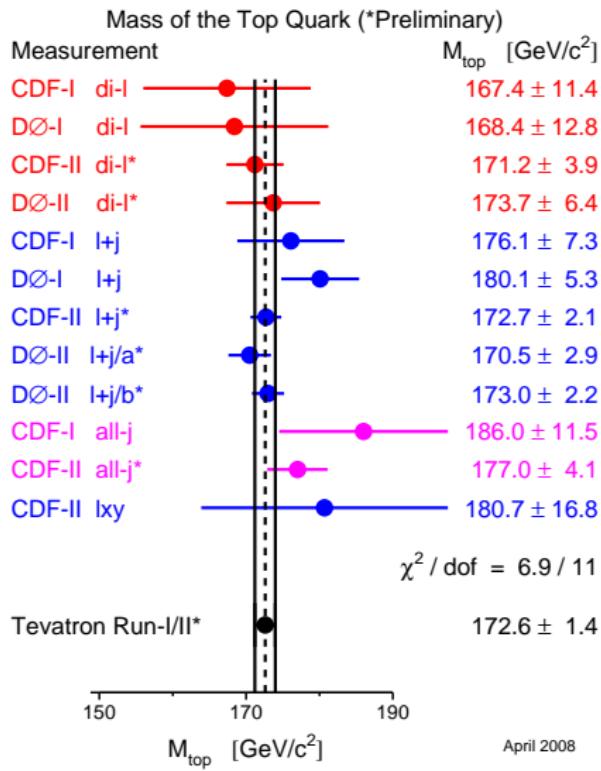
DØ, 320 pb⁻¹ (2005):

$$m_t = 169,5 \pm 3,0 \text{ (stat.)} \pm 3,2 \text{ (JES)} {}^{+1,7}_{-1,6} \text{ (stat.) GeV}$$

$$f_{\text{sig}} = 0,316 {}^{+0,049}_{-0,055} \text{ (stat.)} \quad \text{JES} = 1,034 \pm 0,034$$



Übersicht über m_t -Ergebnisse von CDF und DØ



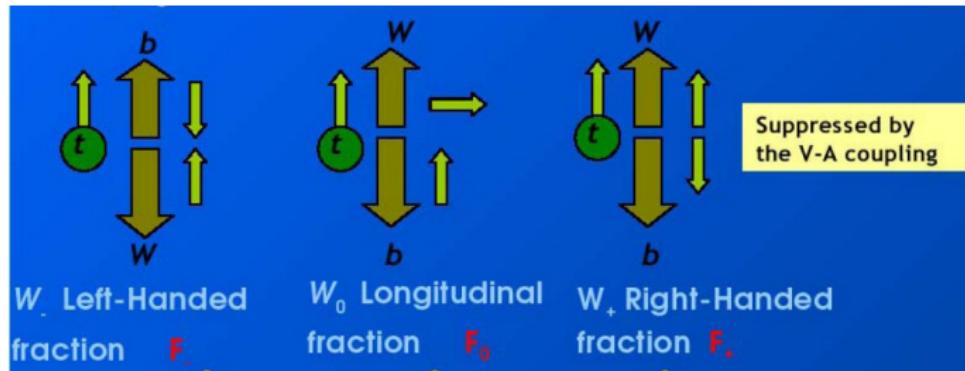
Systematischer Fehler
(Template-Analyse, CDF 2004)

| Ursache | Δm_t [GeV] |
|------------------|--------------------|
| JES | 6,3 |
| ISR | 0,4 |
| FSR | 0,9 |
| PDFs | 0,2 |
| Generatoren | 0,4 |
| Hintergrund-Form | 0,8 |
| Sonstiges MC | 0,7 |
| b-Tagging | 0,1 |
| Gesamt | 6,5 |

W-Boson-Helizitätsmessungen in Top-Quark-Zerfällen

„V-A“-Kopplung in Top-Quark-Zerfällen

- Top-Quark zerfällt, bevor es hadronisiert → nicht depolarisiert
→ gibt seine Spininformation an W und b weiter
- schwache WW ist linkshändig



- Standardmodell-Vorhersage:

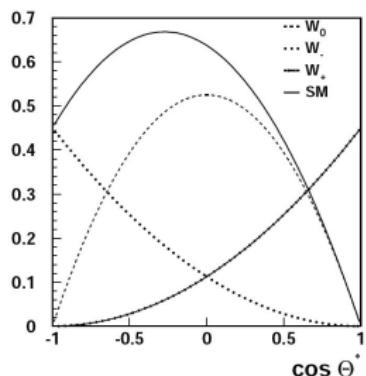
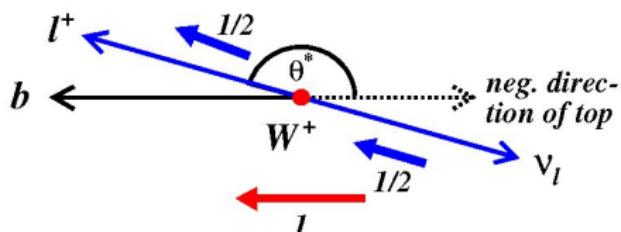
| | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| linkshändige W-Bosonen: | $\mathcal{F}_- \approx 30\%$ |
| longitudinale W-Bosonen: | $\mathcal{F}_0 \approx 70\%$ |
| rechtshändige W-Bosonen unterdrückt: | $\mathcal{F}_+ \approx 0\%$ |

Bestimmung über $\cos(\theta^*)$ (CDF, 2005)

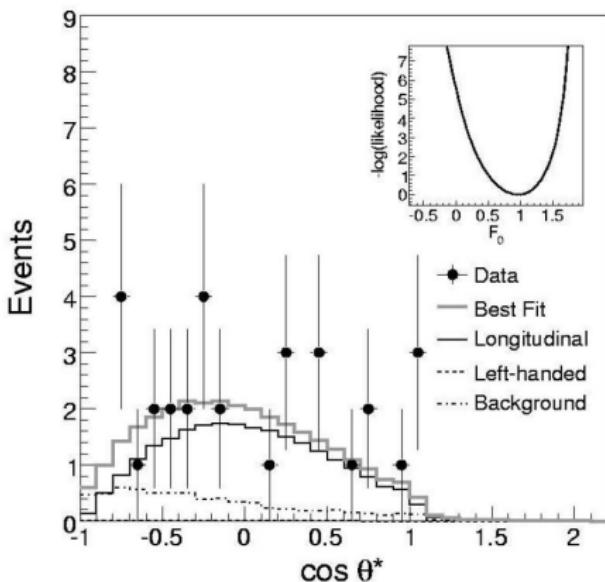
Zerfall eines linkshändigen W^+ :

ν linkshändig

$\rightarrow \vec{p}_{\ell^+}$ entgegengesetzt zu \vec{p}_W



$$\cos \theta^* = \frac{\vec{p}_\ell \cdot \vec{p}_b - E_\ell E_b}{|\vec{p}_\ell| |\vec{p}_b|} \approx \frac{2m_{\ell b}^2}{m_t^2 - m_W^2} - 1$$



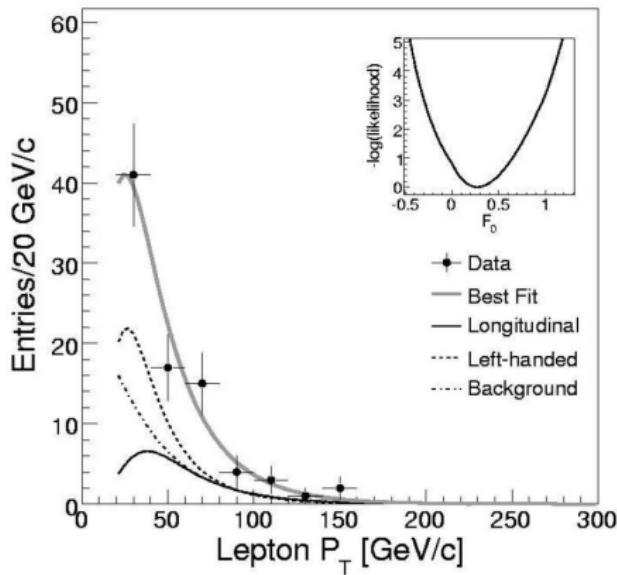
$$F_0 = 0,99^{+0,29}_{-0,35} \text{ (stat.)} \pm 0,19 \text{ (syst.)}$$

Bestimmung über Lepton- p_T (CDF, 2005)

- Leptonen von linkshändigen W^+ -Bosonen werden bevorzugt entgegen der Flugrichtung des W emittiert
 - sie sind „weicher“
 - betrachte p_T -Spektrum

$$\mathcal{F}_0 = 0,31 \begin{array}{l} +0,37 \\ -0,23 \end{array} \text{ (stat.)}$$

$$\pm 0,17 \text{ (syst.)}$$



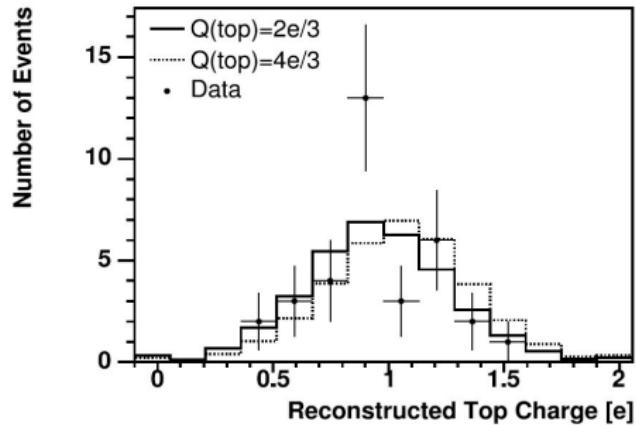
kombiniertes Resultat: $\mathcal{F}_0 = 0,74 \begin{array}{l} +0,22 \\ -0,34 \end{array} \text{ (stat. + syst.)}$ (SM: 0,7)

Top-Ladung und Top-Zerfallskanäle

Elektrische Ladung des Top-Quarks (DØ)

- Messung der Quark-Ladungen aus e^+e^- -Kollisionen:
$$R = \frac{\text{Rate}(e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen})}{\text{Rate}(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)} \approx 3 \cdot \sum_{q: m_q > \sqrt{s}/2} (Q_{\text{el.}}^q)^2$$
- beim Top bisher nicht möglich
- Zuordnung der b-Jets zu den W-Bosonen nicht eindeutig
→ Warum nicht "t" → $W^- + b$? ($\hat{=}$ Ladung $-4/3$)

- 1 $\ell + \text{jets}$ -Kanal (2 b-Tags)
- 2 finde die richtige b-W-Zuordnung (kinematischer Fit)
- 3 def. Jet-Ladung: $\frac{\sum_i q_i p_{T,i}^{0,6}}{\sum_i p_{T,i}^{0,6}}$
und vergleiche Verteilungen



4/3-Hypothese liegt außerhalb des 94%-Konfidenzintervalls

Zerfallskanäle des Top-Quarks

Standardmodell

- SM: $t \rightarrow W^+ b$ zu annähernd 100%
- $R_{tb} = \mathcal{B}(t \rightarrow W^+ b) / \sum_{q=d,s,b} \mathcal{B}(t \rightarrow W^+ q)$
- falls nur $t \rightarrow W^+ b + 3$ Generationen: $R_{tb} = \frac{|V_{tb}|^2}{|V_{tb}|^2 + |V_{ts}|^2 + |V_{td}|^2}$
- SM-Vorhersage: $0,9980 < R_{tb} < 0,9984$

Abweichungen → neue Physik, z.B.:

- 4. Quark-Generation (CKM-Matrix nicht unitär)
- FCNC: $t \rightarrow c + g/\gamma/Z$ oder SUSY mit geladenem Higgs und $m_{H^\pm} < m_t$
- bislang keine Hinweise auf Abweichungen von der SM-Vorhersage
- z.B. CDF, 2001: $R_{tb} = 0,94^{+0,26}_{-0,21}$ (stat.) $+0,17_{-0,12}$ (syst.) $\Rightarrow R_{tb} > 0,56$ (95%CL)

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- $\sigma_{p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}}$ bei $\sqrt{s} = 1,96$ TeV
 - Dilepton-(Lepton+Track-)Analyse: $7,0^{+4,6}_{-2,9}$ pb $^{-1}$ (CDF, 2004)
 - Lepton+Jets: $8,1^{+2,3}_{-2,2}$ pb $^{-1}$ (DØ, 2005)
 - in Übereinstimmung mit der SM-Vorhersage von $6,7^{+0,7}_{-0,9}$ pb $^{-1}$
- m_t mit der Template-Methode: $174,9^{+13,6}_{-14,2}$ GeV (CDF, 2004)
- m_t mit der Matrix-Element-Methode: $169,5^{+7,9}_{-7,8}$ GeV (DØ, 2005)
- W-Boson-Helizität im Top-Zerfall in Übereinstimmung mit SM
- elektrische Ladung $-4/3$ außerhalb des 94%-Konfidenzintervalls
(Top-Quark-Ladung $\Rightarrow Q_t = 2/3e$)
- keine Abweichung von $R_{tb} \approx 100\%$ gefunden
 - \Rightarrow Standardmodell-Vorhersagen konnten bestätigt werden
 - \Rightarrow (bisher) keine Hinweise auf neue Physik

Referenzen

- <http://www-cdf.fnal.gov/physics/new/top/top.html>
- http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/top/top_public_web_pages/top_public.html
- F. Fiedler, *Top Quark Physics at the Tevatron*, Vortrag am 24.11.2004 am Seminar an der Universität Zürich.
- S. Menke, *Top Physics (Experiment)*, Vortrag am 20.2.2006 beim 2. IMPRS Block-Kurs "Physics at Hadron Colliders", MPI München.
- A. Quadt, *Hadron Collider Physics - Experimental Overview*, Vortrag an der Maria Laach Sommerschule 10.-13.9.2004.
- A. Quadt, *Top Quark Physics at Hadron Colliders*, The European Physical Journal C **48** (3) 835-1000 (2006).
- W. Wagner, *Top Quark Physics in Hadron Collisions*, Rep. Prog. Phys. **68** (2005) 2409-2494, hep-ph/0507207v2.
- M. Weber, *Top Quark Physics Review (Results from the Tevatron)*, Vortrag am 14.02.2005 an der Aspen Winter-Konferenz "The Highest Energy Physics" 13.-19.2.2005.
- The CDF Collaboration, D. Acosta *et al.*, *Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV Using Dilepton Events*, Phys. Rev. Lett. **93** (2004) 142001, hep-ex/0404036.
- The CDF Collaboration, D. Acosta *et al.*, *Measurement of the $t\bar{t}$ Production in $p\bar{p}$ Collisions using the Kinematics of Lepton+Jets Events*, Phys. Rev. D **72** (2005) 052003, hep-ex/050453.
- The DØ Collaboration, V. M. Abazov *et al.*, *Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV Using Lepton+Jets Events*, DØ note-4888-Conf (2005).
- D. Acosta *et al.*, *Measurement of the Top Quark Mass using the Template Method in the Lepton plus Jets channel at CDF*, CDF note 7153 (2004).
- P. Schieferdecker, *Measurement of the Top Quark Mass at DØ Run II with the Matrix Element Method in the Lepton+Jets Final State*, Doktorarbeit, LMU München (2005).
- The CDF Collaboration, A. Abulencia *et al.*, *Measurement of the Helicity of W Bosons in Top Quark Decays*, CDF note 7804 (2005).
- The DØ Collaboration, V. M. Abazov *et al.*, *Measurement of the charge of the top quark with the DØ experiment*, DØ note 4876-CONF (2005).
- T. Affolder *et al.*, *First Measurement of the Ratio $B(t \rightarrow Wb)/B(t \rightarrow Wq)$ and Associated Limit on the Cabibbo-Kobayashi-Maskawa Element $|V_{tb}|$* , Phys. Rev. Lett. **86** 3233 (2001).