

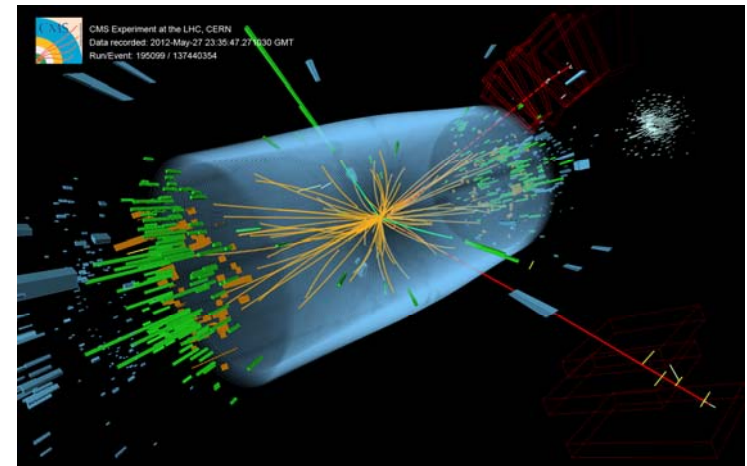
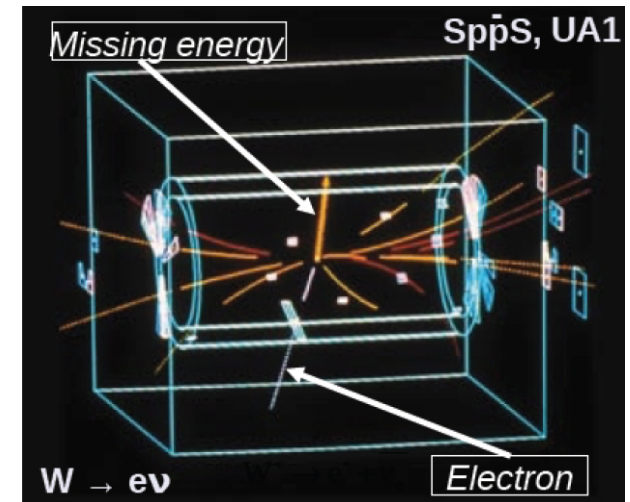
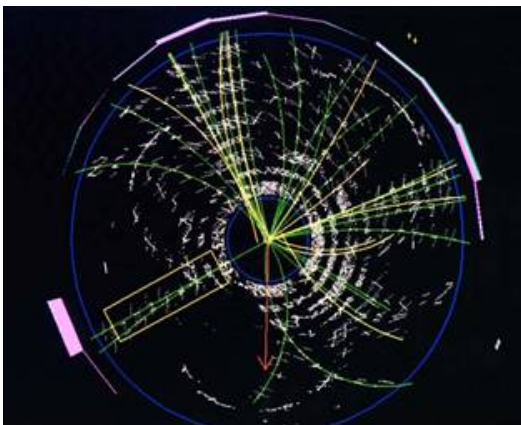
Kerne und Teilchen

Moderne Physik III

Vorlesung # 23

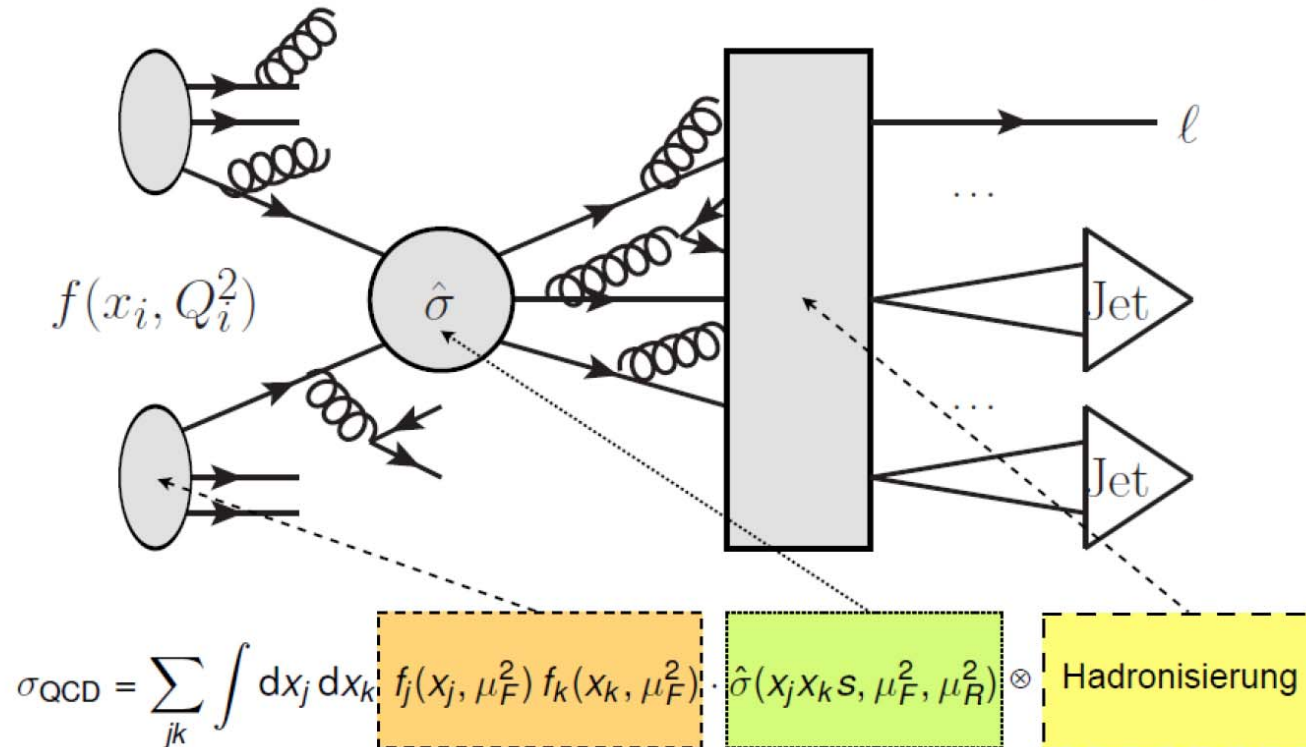
8. Moderne Elementarteilchen-Physik

8.3 Fundamentale Entdeckungen: W/Z-Bosonen, Top-Quarks, Higgs-Bosonen



a) Entdeckung der W/Z-Bosonen

Wirkungsquerschnitt = PDFs $\otimes$ harter Prozess $\otimes$ Hadronisierung



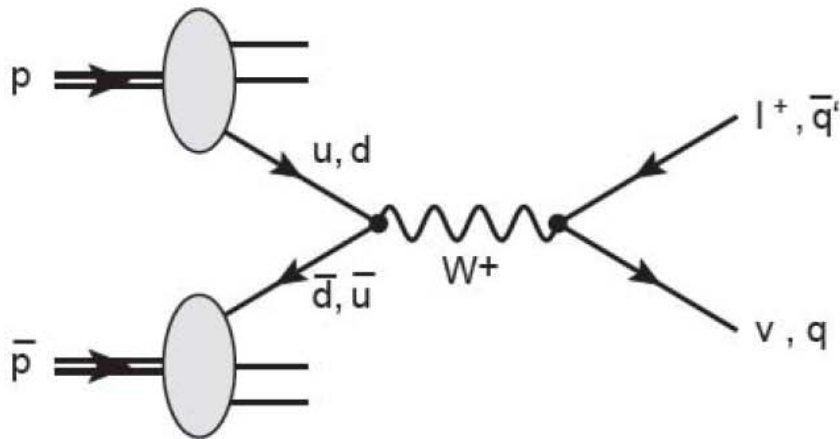
Partonische Wirkungsquerschnitte für W- und Z- Bosonen

$$\hat{\sigma}(q\bar{q}' \rightarrow W) = \frac{\pi}{3} \sqrt{2} G_F M_W^2 |V_{qq'}|^2 \delta(\hat{s} - M_W^2)$$

$$\hat{\sigma}(q\bar{q} \rightarrow Z) = \frac{\pi}{3} \sqrt{2} G_F M_Z^2 ((g_V^q)^2 + (g_A^q)^2) \delta(\hat{s} - M_Z^2)$$

G_F : Fermi-Konstante
 $V_{qq'}$: CKM-Matrixelement
 g_V, g_A : Vektor/Axialvektor-kopplung

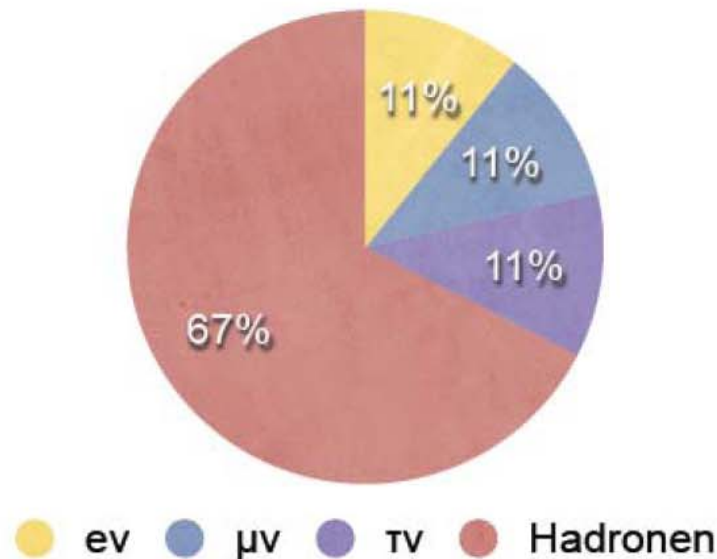
Nachweis von W und Z



W-Boson-Produktion

- Hadron-Collider: **analog zu DY**
→ Sp $\bar{p}$ S, Tevatron, LHC
- e^+e^- : **W^+W^- -Paarproduktion**
→ $\sqrt{s} > 160$ GeV, bisher nur LEP2

W-Zerfall: Verzweigungsverhältnisse



W-Boson-Zerfälle

- **Leptonisch** (traditionell nur e/μ):
sehr sauber, aber kleine Verzweigungsverhältnisse
- **Hadronisch**: Endzustand mit zwei Jets → Multijet-Untergrund
- **Tau**: kompliziert durch viele Zerfallskanäle, auch in Hadronen

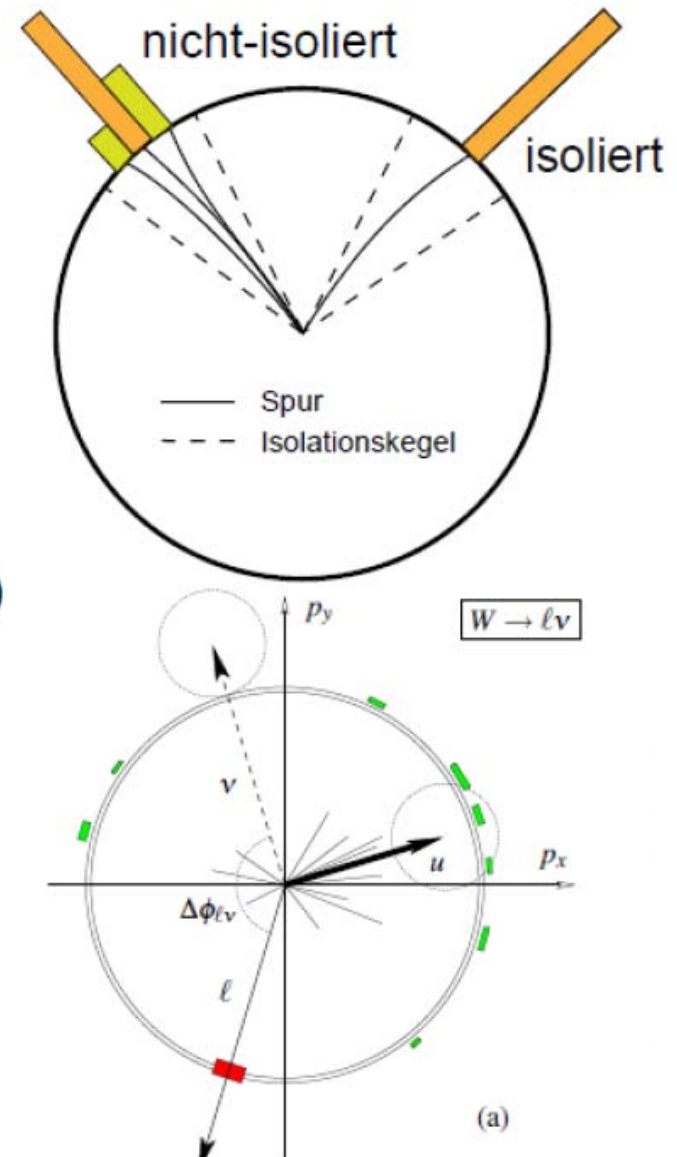
- Startpunkt für Nachweis: **Leptonen**

- **Isolierte** Leptonen mit hohem Transversalimpuls → Untergrund durch Multijet-Produktion stark unterdrückt
- **Prototyp** für viele High- p_T -Analysen an Hadron-Collidern
- Zusätzliche hadronische Aktivität → Rückstoß u auf W (engl.: „hadronic recoil“)

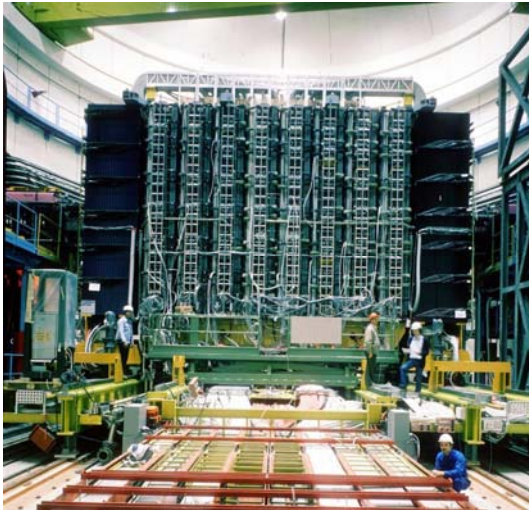
- Observable: **transversale Masse**

$$m_T^2 = (E_T^\ell + E_T^\nu)^2 - (\vec{p}_T^\ell + \vec{p}_T^\nu)^2$$
$$\approx 2 |\vec{p}_T^\ell| |\vec{p}_T^\nu| (1 - \cos \Delta\phi_{\ell\nu})$$

- p_T^ν identifiziert mit fehlender Transversalenergie im Ereignis

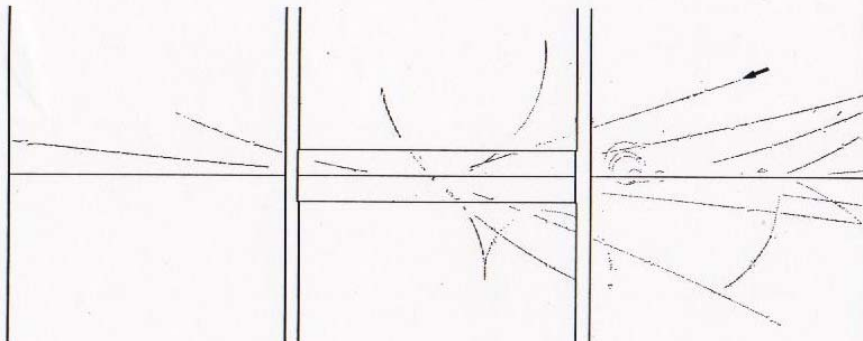


Entdeckung des W-Bosons 1983



First W in UA1 1983

EVENT 4017. 838.



UA-1 Collaboration

403

Volume 122B, number 1

PHYSICS LETTERS

24 February 1983

EXPERIMENTAL OBSERVATION OF ISOLATED LARGE TRANSVERSE ENERGY ELECTRONS WITH ASSOCIATED MISSING ENERGY AT $\sqrt{s} = 540$ GeV

UA1 Collaboration, CERN, Geneva, Switzerland

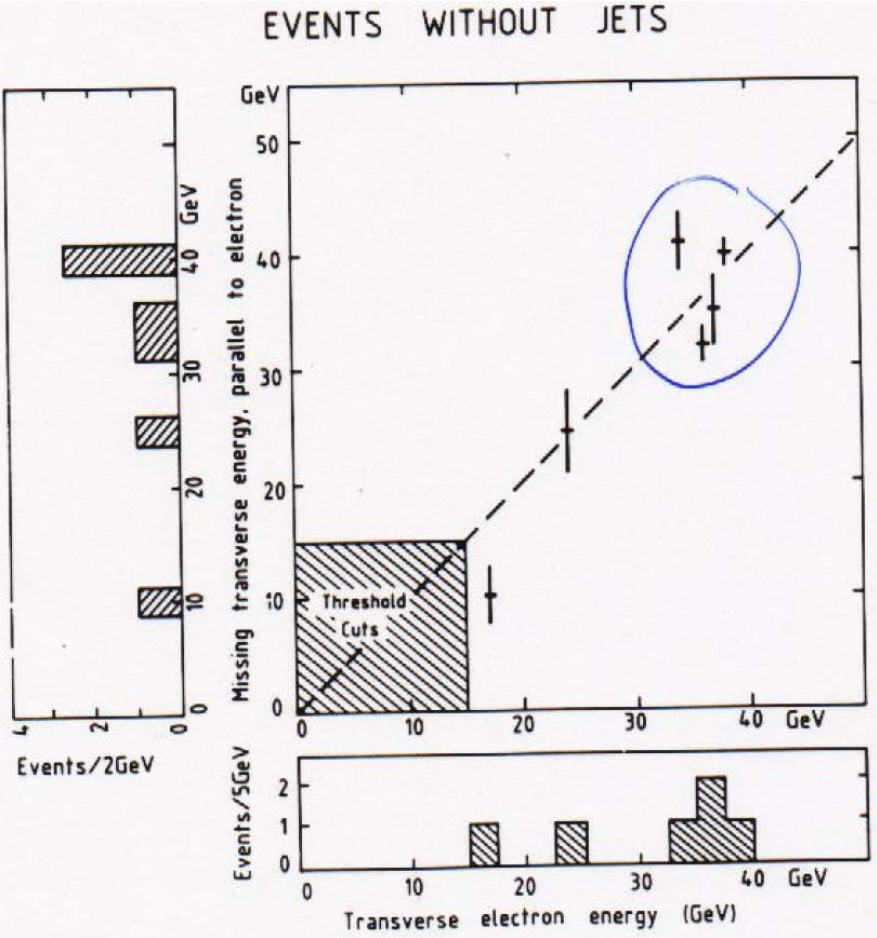
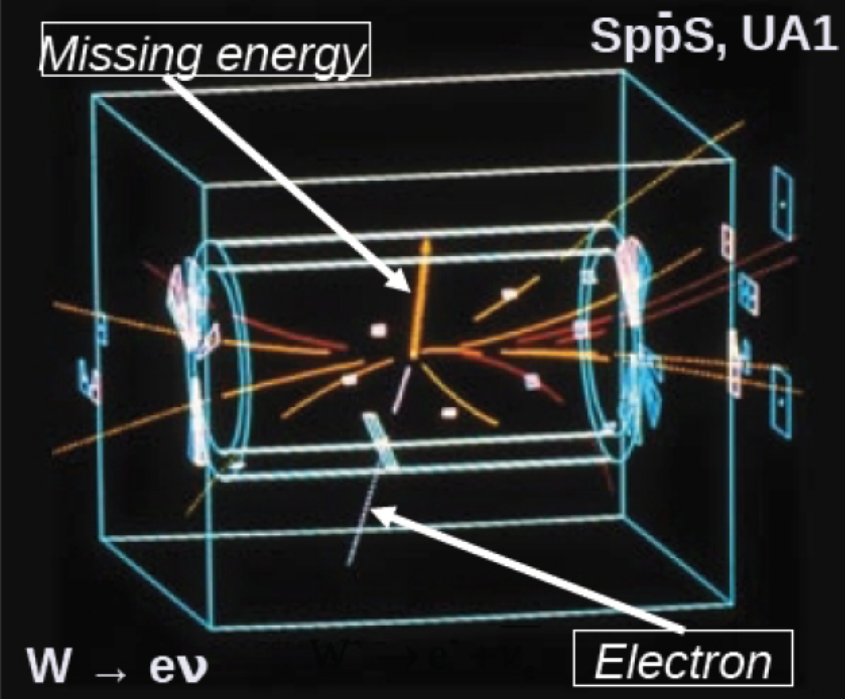
G. ARNISON^j, A. ASTBURY^j, B. AUBERT^b, C. BACCIⁱ, G. BAUERⁱ, A. BÉZAGUET^d, R. BÖCK^d, T.J.V. BOWCOCK^f, M. CALVETTI^d, T. CARROLL^d, P. CATZ^b, P. CENNINI^d, S. CENTRO^d, F. CERADINI^d, S. CITTOLIN^d, D. CLINEⁱ, C. COCHET^k, J. COLAS^b, M. CORDEN^c, D. DALLMAN^d, M. DeBEER^k, M. DELLA NEGRA^b, M. DEMOULIN^d, D. DENEGRI^k, A. Di CIACCIOⁱ, D. DiBITONTO^d, L. DOBRZYNSKI^g, J.D. DOWELL^c, M. EDWARDS^c, K. EGGERT^a, E. EISENHANDLER^f, N. ELLIS^d, P. ERHARD^a, H. FAISSNER^a, G. FONTAINE^g, R. FREY^h, R. FRÜHWIRTHⁱ, J. GARVEY^c, S. GEER^g, C. GHESQUIÈRE^g, P. GHEZ^b, K.L. GIBONI^a, W.R. GIBSON^f, Y. GIRAUD-HÉRAUD^g, A. GIVERNAUD^k, A. GONIDEC^b, G. GRAYER^j, P. GUTIERREZ^h, T. HANSL-KOZANECKA^a, W.J. HAYNES^j, L.O. HERTZBERGER^z, C. HODGES^h, D. HOFFMANN^a, H. HOFFMANN^d, D.J. HOLTHUIZEN^z, R.J. HOMER^c, A. HONMA^f, W. JANK^d, G. JORAT^d, P.I.P. KALMUS^f, V. KARIMÄKI^c, R. KEELER^f, I. KENYON^c, A. KERNAN^h, R. KINNUNEN^c, H. KOWALSKI^d, W. KOZANECKI^h, D. KRYN^d, F. LACAVA^d, J.-P. LAUGIER^k, J.-P. LEES^b, H. LEHMANN^a, K. LEUCHS^a, A. LÉVÊQUE^k, D. LINGLIN^b, E. LOCCI^k, M. LORET^k, J.-J. MALOSSE^k, T. MARKIEWICZ^d, G. MAURIN^d, T. McMAHON^c, J.-P. MENDIBURU^g, M.-N. MINARD^b, M. MORICCAⁱ, H. MUIRHEAD^d, F. MULLER^d, A.K. NANDI^j, L. NAUMANN^d, A. NORTON^d, A. ORKIN-LECOURTOIS^g, L. PAOLUZIⁱ, G. PETRUCCI^d, G. PIANO MORTARIⁱ, M. PIMIÄ^c, A. PLACCI^d, E. RADERMACHER^a, J. RANSDALL^h, H. REITHLER^a, J.-P. REVOL^d, J. RICH^k, M. RIJSSENBECK^d, C. ROBERTS^j, J. ROHLF^d, P. ROSSI^d, C. RUBBIA^d, B. SADOULET^d, G. SAJOT^g, G. SALVI^f, G. SALVINIⁱ, J. SASS^k, J. SAUDRAIX^k, A. SAVOY-NAVARRO^k, D. SCHINZEL^f, W. SCOTT^j, T.P. SHAH^j, M. SPIRO^k, J. STRAUSSⁱ, K. SUMOROK^c, F. SZONCSOⁱ, D. SMITH^h, C. TAO^d, G. THOMPSON^f, J. TIMMER^d, E. TSCHESLOG^a, J. TUOMINIEMI^c, S. Van der MEER^d, J.-P. VIALLE^d, J. VRANA^g, V. VUILLEMIN^d, H.D. WAHLⁱ, P. WATKINS^c, J. WILSON^c, Y.G. XIE^d, M. YVERT^b and E. ZURFLUH^d

Aachen^a—Annecy (LAPP)^b—Birmingham^c—CERN^d—Helsinki^e—Queen Mary College, London^f—Paris (Coll. de France)^g—Riverside^h—Romeⁱ—Rutherford Appleton Lab.^j—Saclay (CEN)^k—Vienna^l Collaboration

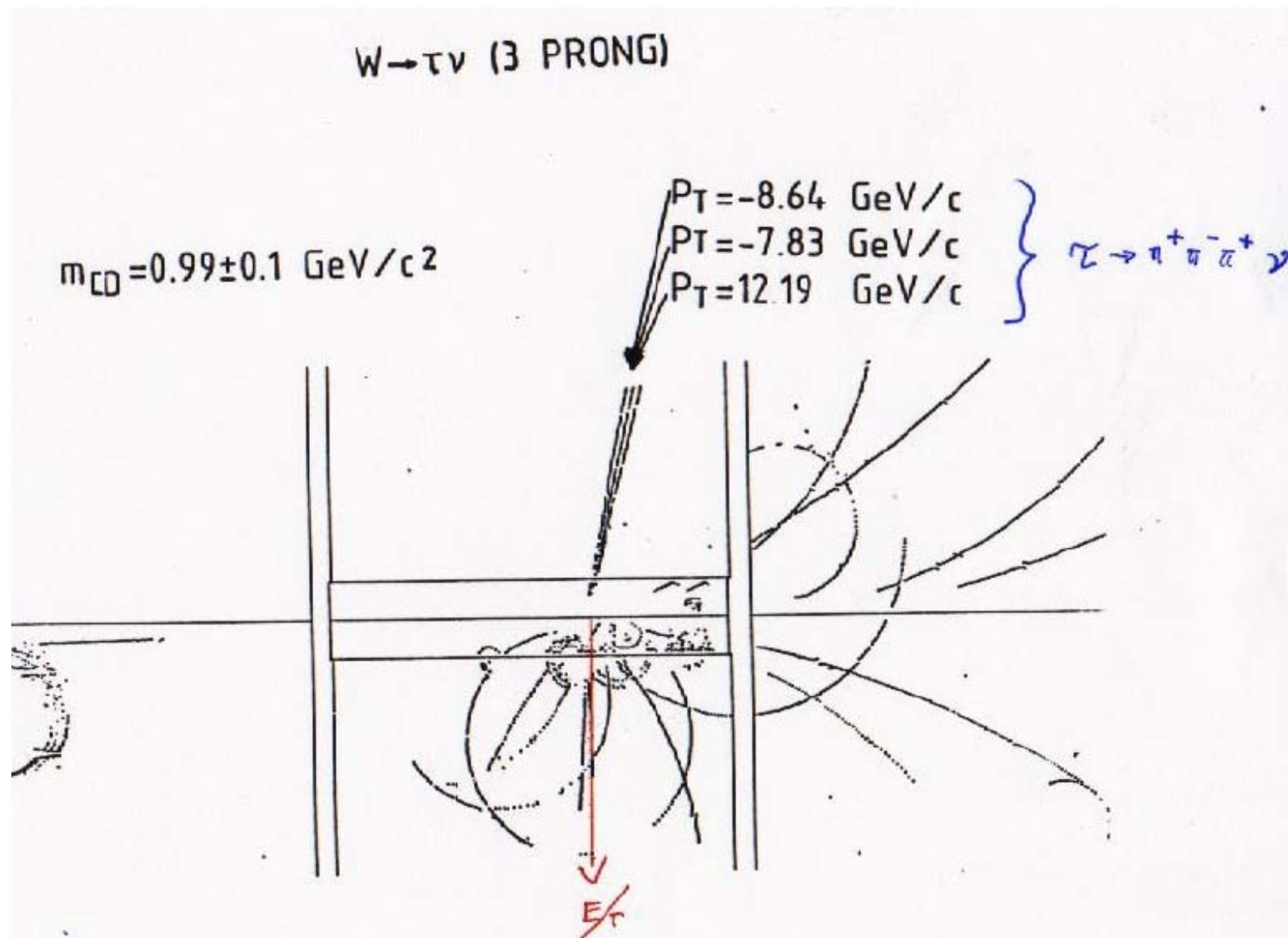
Received 23 January 1983

We report the results of two searches made on data recorded at the CERN SPS Proton–Antiproton Collider: one for isolated large- E_T electrons, the other for large- E_T neutrinos using the technique of missing transverse energy. Both searches converge to the same events, which have the signature of a two-body decay of a particle of mass ~ 80 GeV/ c^2 . The topology as well as the number of events fits well the hypothesis that they are produced by the process $\bar{p} + p \rightarrow W^\pm + X$, with $W^\pm \rightarrow e^\pm + \nu$; where $W^\pm$ is the Intermediate Vector Boson postulated by the unified theory of weak and electromagnetic interactions.

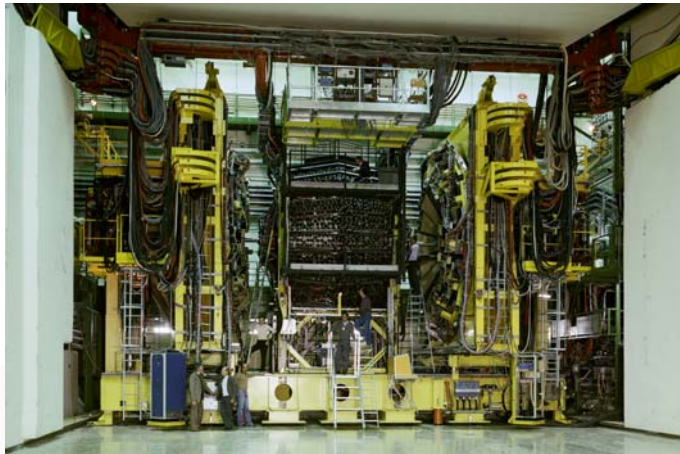
UA1



W-Zerfall in Tau + Neutrino

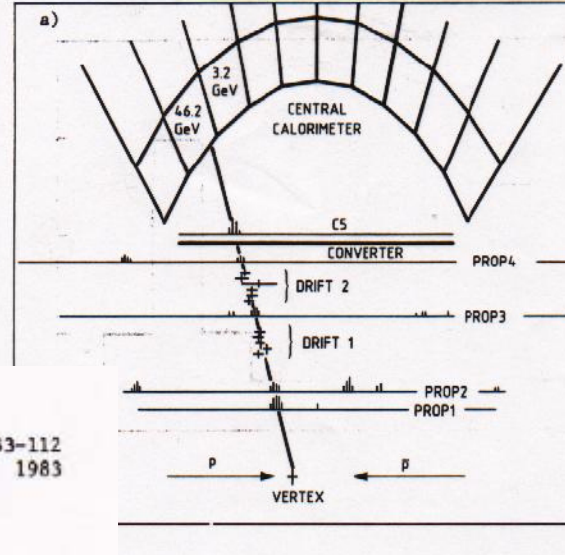


Entdeckung des Z-Bosons



EP/83-112
August 11th 1983

EVIDENCE FOR $Z^0 \rightarrow e^+e^-$ AT THE CERN $\bar{p}p$ COLLIDER



UA2

Legoplot

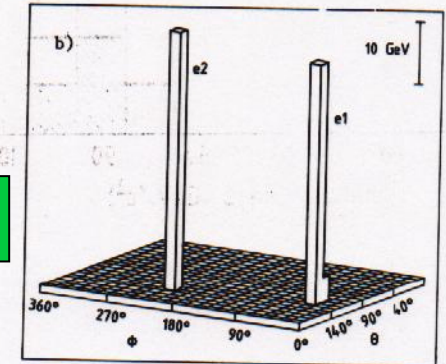
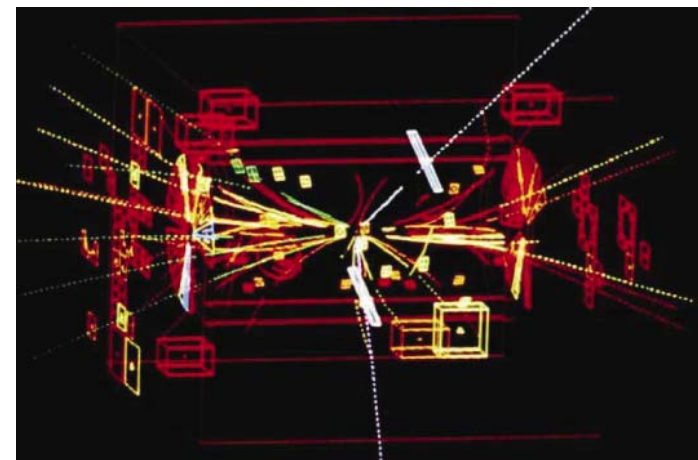


Figure 3

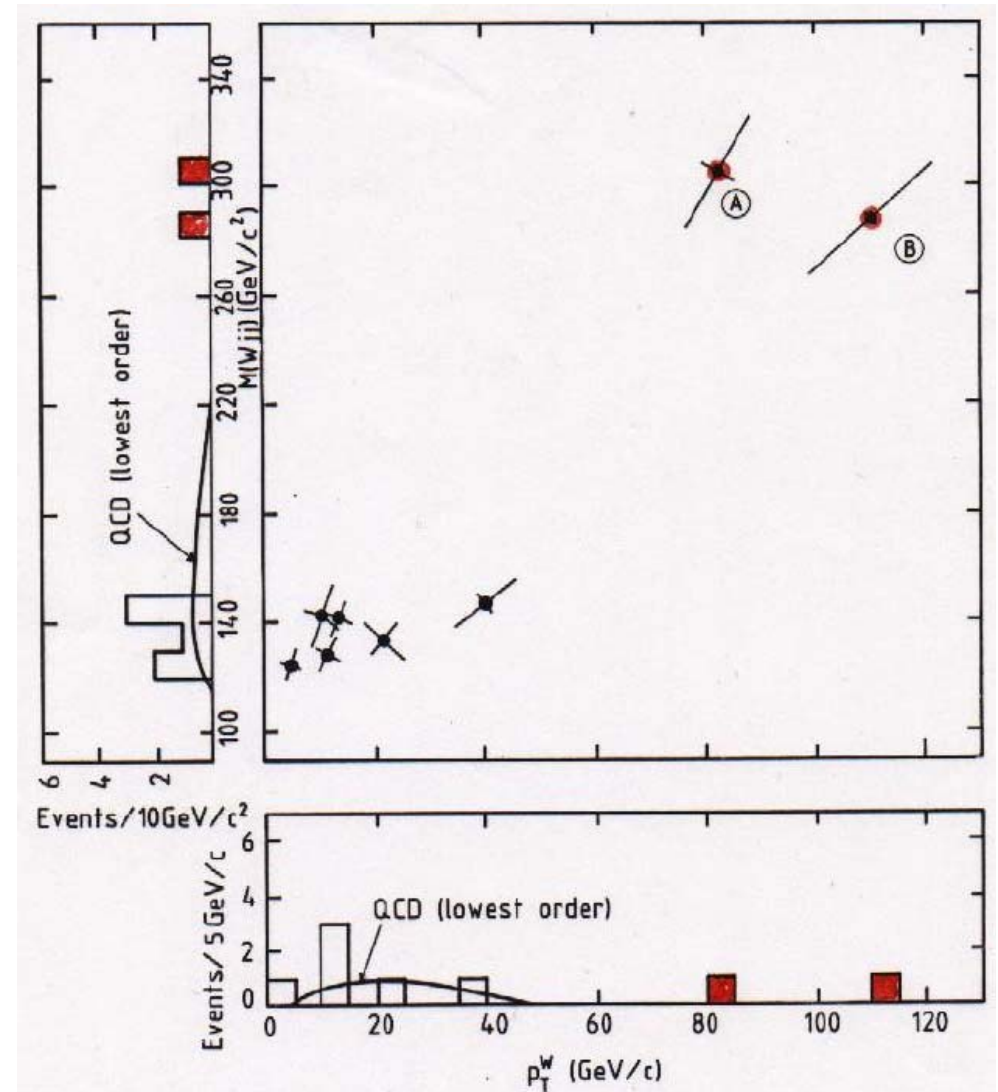
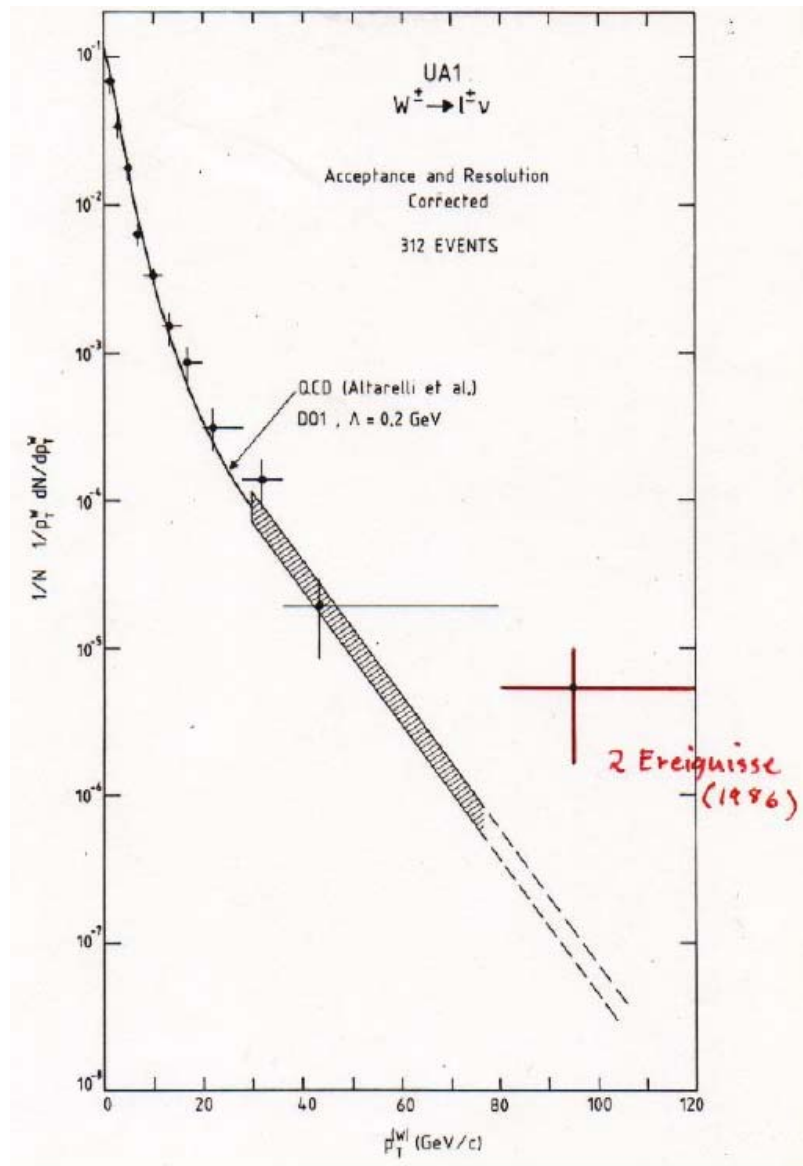
The UA2 Collaboration

P. Bagnaia^(b), M. Banner^(f), R. Battiston^{*,f}, Ph. Bloch^(f), F. Bonaudi^(b),
K. Borer^(a), M. Borghini^(b), J.-C. Chollet^(d), A.G. Clark^(b), C. Conta^(e),
P. Darriulat^(b), L. Di Lella^(b), J. Dines-Hansen^(c), P.-A. Dorsaz^(b),
L. Fayard^(d), M. Fraternali^(a), D. Froidevaux^(b), C. Fumagalli^(a),
J.-M. Gaillard^(d), O. Gildemeister^(b), V.G. Goggi^(e), H. Grote^(b),
B. Hahn^(a), H. Hänni^(a), J.R. Hansen^(b), P. Hansen^(c), T. Himel^(b),
V. Hungerbühler^(b), P. Jenni^(b), O. Kofoed-Hansen^(c), E. Lançon^(f),
M. Livan^(b,e), S. Loucatos^(f), B. Madsen^(c), P. Mani^(a), B. Mansoulié^(f),
G.C. Mantovani^{*}, L. Mapelli^{(b)x}, B. Merkel^(d), M. Mermikides^(b),
R. Möllerud^(c), B. Nilsson^(c), C. Onions^(b), G. Parroul^(b,d), F. Pastore^(a),
H. Plothow-Besch^(b), M. Polverel^(f), J.-P. Repellin^(d), A. Rimoldi^(e),
A. Rothenberg^(b), A. Roussarie^(f), G. Sauvage^(d), J. Schacher^(a),
J.L. Siegrist⁽ⁱ⁾, H.M. Steiner^{†(b)}, G. Stimpfl^(b), F. Stocker^(a),
J. Teiger^(f), V. Vercesi^(a), A.R. Weidberg^(b), H. Zaccane^(f),
J.A. Zakrzewski^{§(b)} and W. Zeller^(a).

UA1



Suche nach exotischer Physik (UA1)



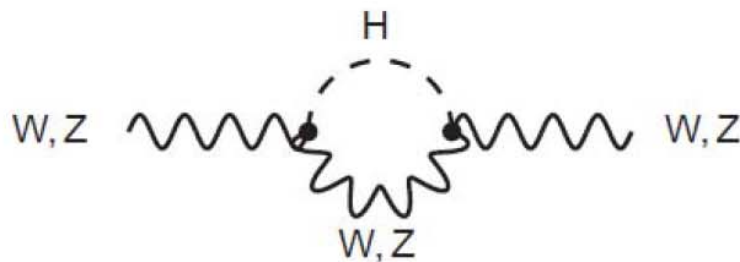
Masse der W- und Z-Bosonen

■ Vorhersagen der elektroschwachen Theorie:

■ Verknüpfung von W- und Z-Masse über schwachen Mischungswinkel:

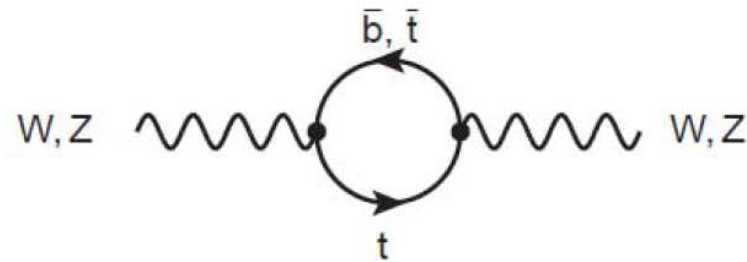
$$M_W^2 = \frac{g^2 v^2}{4}, \quad M_Z^2 = \frac{v^2}{4}(g^2 + g'^2) \quad \rightarrow \quad \rho_0 = \frac{M_W^2}{M_Z^2 \cos \theta_W} = 1$$

■ Verknüpfung mit Massen des Top-Quarks und des Higgs-Bosons über Schleifenkorrekturen, z. B. „Selbstenergie“ des W und Z



$$\sim g' \ln(M_H / M_W)$$

schwache Abhängigkeit
(logarithmisch)



$$\sim G_F m_t^2$$

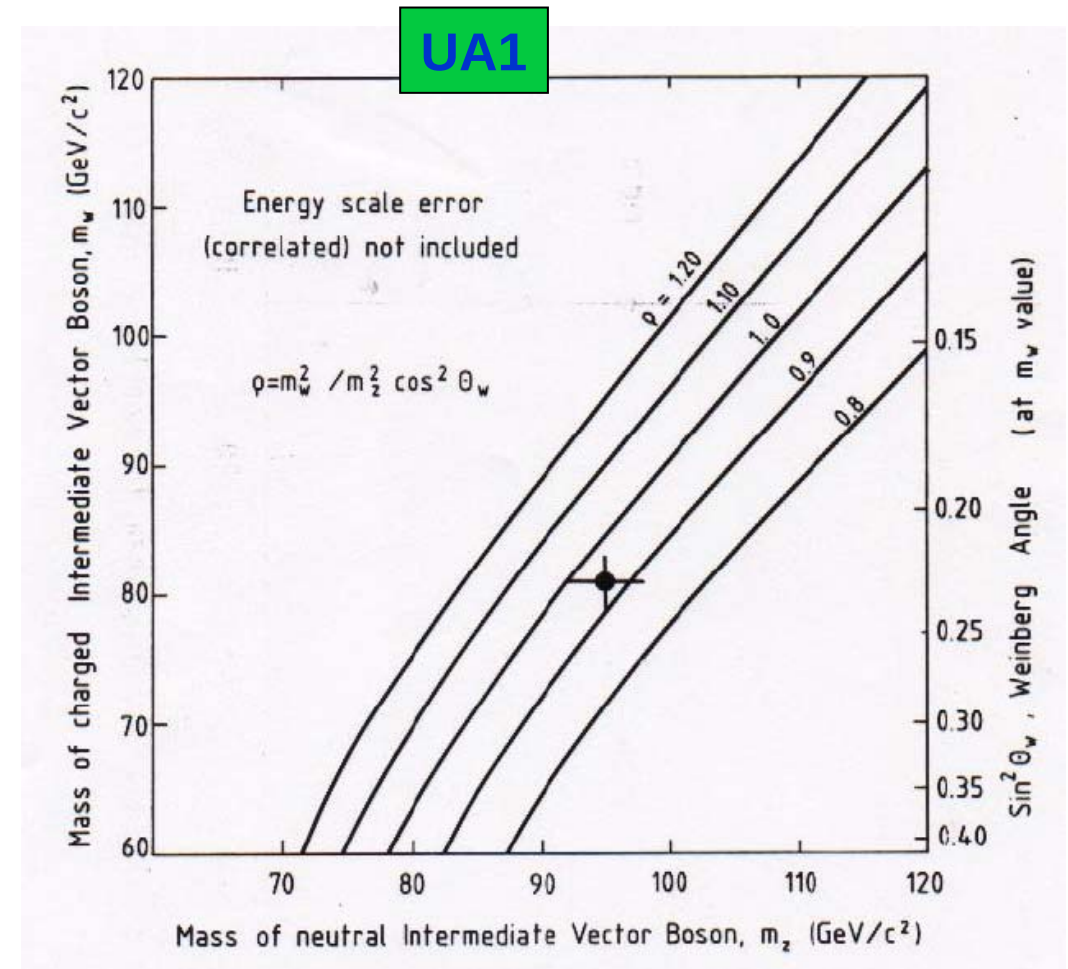
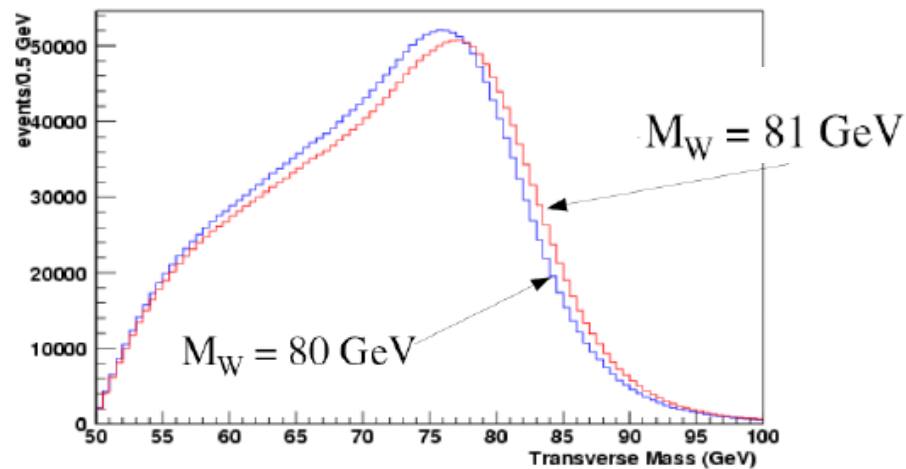
starke Abhängigkeit
(quadratisch)

Bestimmung der Massen:

Z-Bosonen: Invariante Masse der beiden Zerfallsleptonen

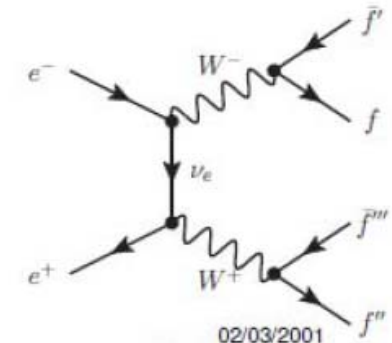
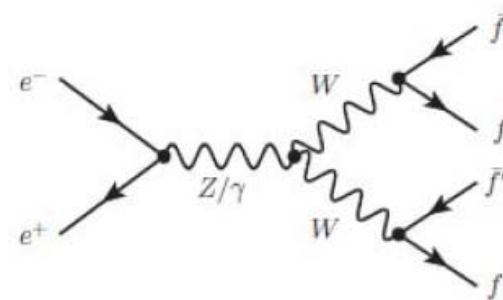
W-Bosonen: Rekonstruktion der Transversalen Masse:

$$M_T = \sqrt{2 p_T^\ell p_T^\nu (1 - \cos(\phi_{\ell\nu}))}$$



LEP

- Kinematische Schwelle für WW-Produktion: $\sqrt{s} > 2 M_W \approx 161 \text{ GeV}$

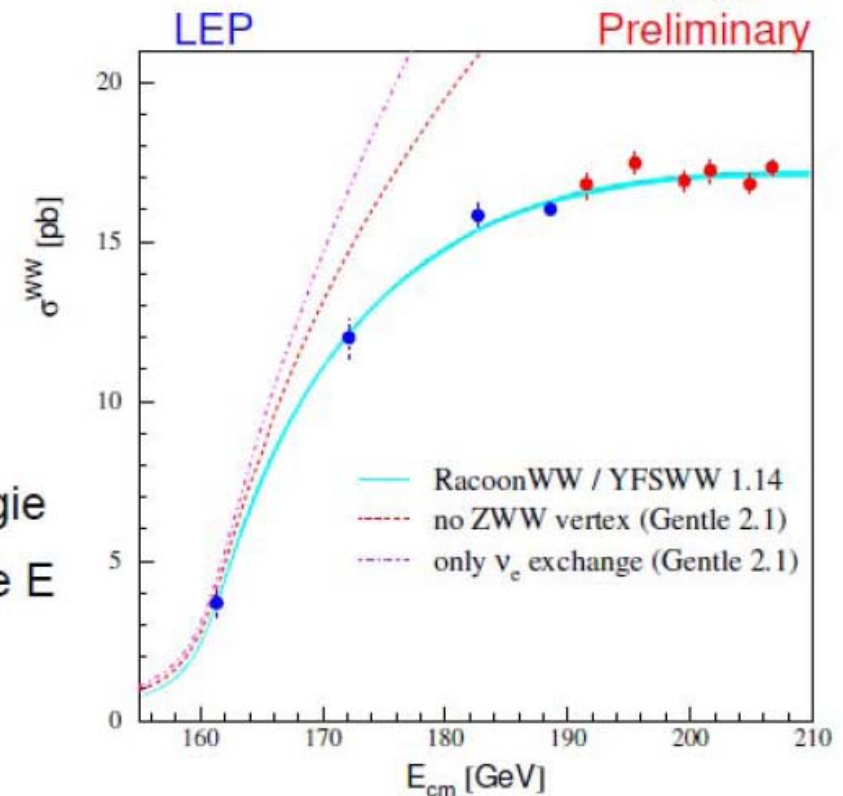


- Masse I: $\sqrt{s} = 161 \text{ GeV}$

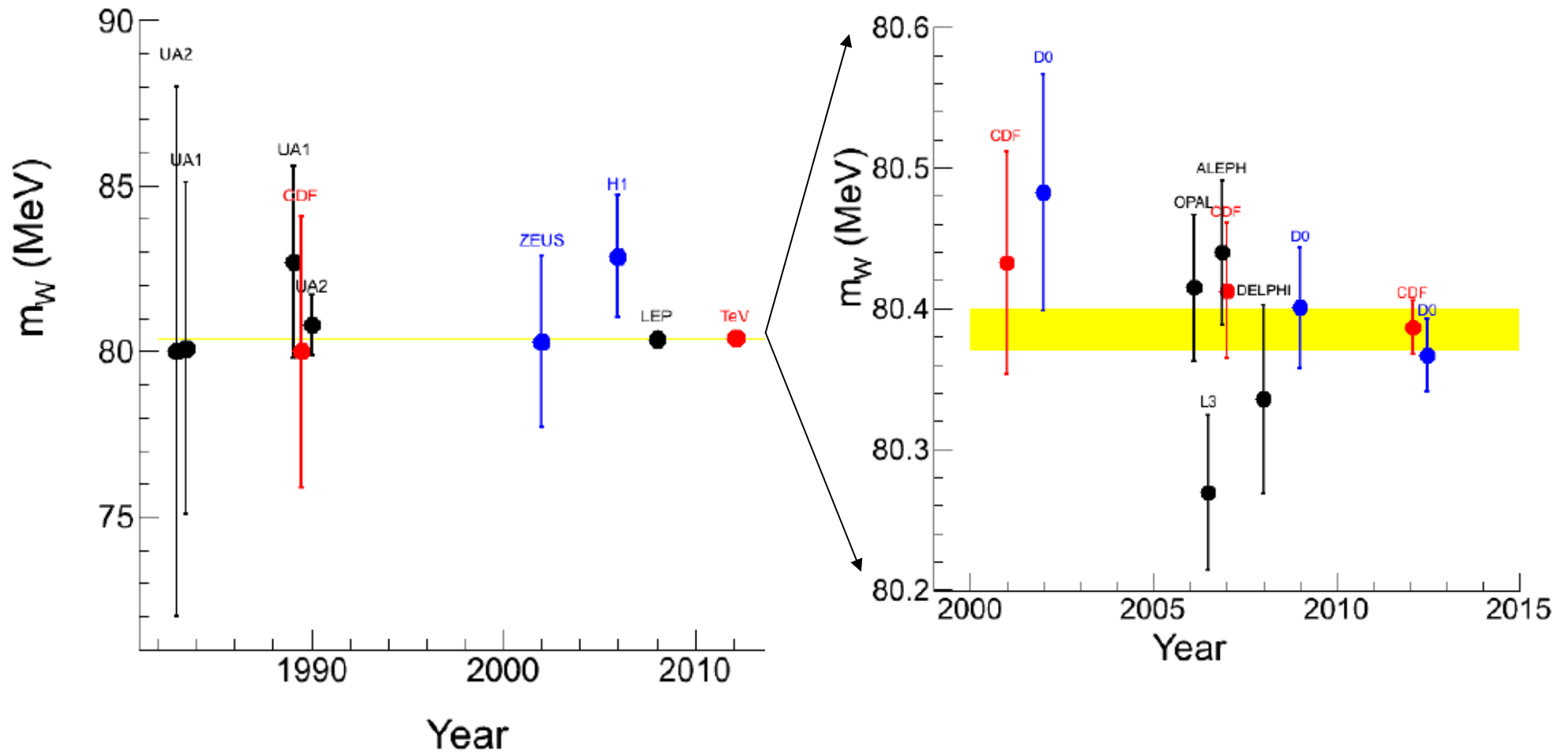
- Wirkungsquerschnitt σ^{WW} stark von M_W abhängig (Phasenraumeffekt)
- Beide SM-Produktionskanäle benötigt

- Masse II: $161 \text{ GeV} < \sqrt{s} < 209 \text{ GeV}$

- M_W aus W-Zerfällen rekonstruiert
- 10.5% $WW \rightarrow l\nu l\nu$: 2 l + fehlende Energie
- 43.8% $WW \rightarrow qq l\nu$: l + 2 Jets + fehlende E
- 45.7% $WW \rightarrow qq qq$: 4 Jets



Zeitliche Entwicklung der Massenbestimmung



Erzeugungsquerschnitte

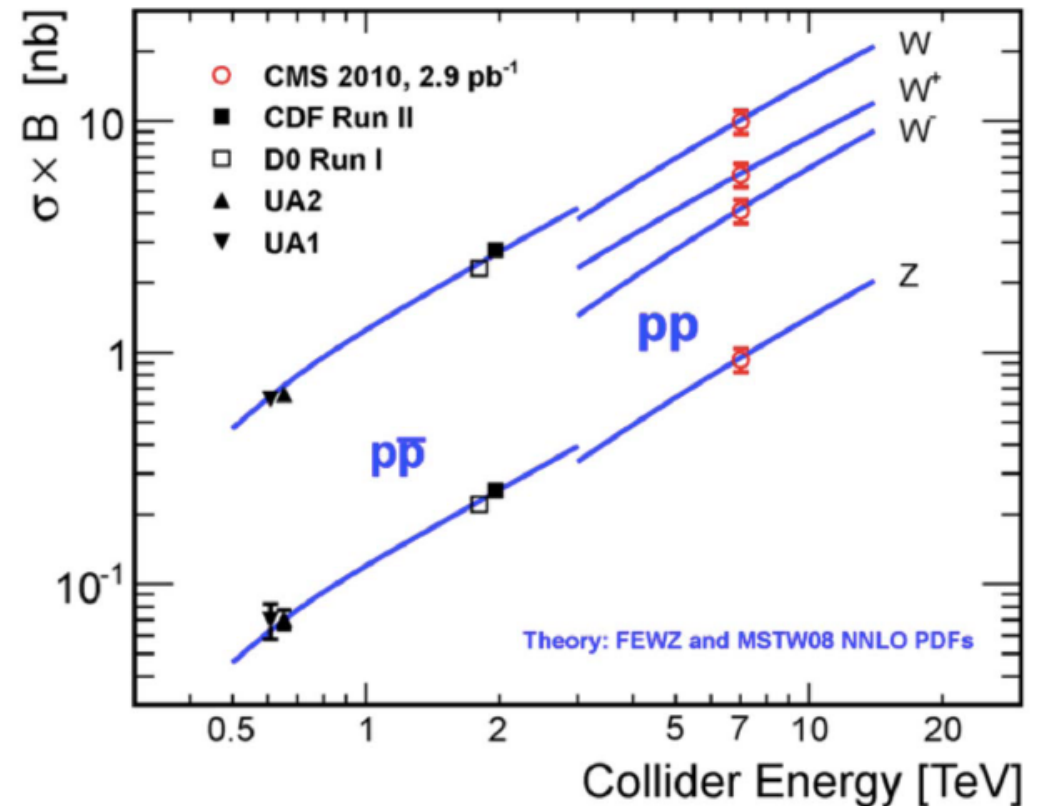
Zahl der beobachteten Ereignisse
einfach zählen...

Untergrund
in Daten gemessen oder
aus Theorievorhersage

$$\sigma = \frac{N^{\text{obs}} - N^{\text{bkg}}}{\int \mathcal{L} dt \cdot \epsilon}$$

Luminosität
gegeben durch
Beschleuniger,
Trigger, ...

Effizienz
Akzeptanz und Effizienz
für Nachweis der Objekte,
in Analyse optimieren



b) Entdeckung des Top-Quarks

Indirekte Hinweise

- **1975**: Nachweis des τ Leptons in e^+e^- Kollisionen (Perl, Mark I)
- **1977**: Entdeckung des $\Upsilon(1S)$ ($b\bar{b}$) in Proton-Kern-Stößen

DESY 1984

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} b \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \tau \end{pmatrix}$$

Isosinglett oder Isodublett ?

Messung der Vorwärts-Rückwärts-Asymmetrie in $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ (JADE):

$$A_{FB} = (-22.8 \pm 6.5)\%$$

SM Dublett: $A_{FB} = -25.2\%$

Singlett: $A_{FB} = 0$



Existenz des Top-Quarks liegt nahe

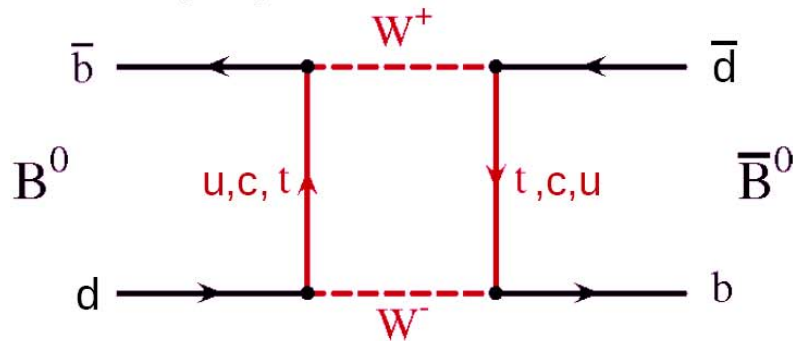
Frage: Wie groß ist M_{top} ?

Top in B-Oszillationen

1987, Entdeckung der B^0 - $\bar{B}^0$ -Oszillation

Argus am Ring Doris II (DESY)

$e^+e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B^0 \bar{B}^0$



Umwandlungsrate $B^0 \rightarrow \bar{B}^0 \sim m_t^2$

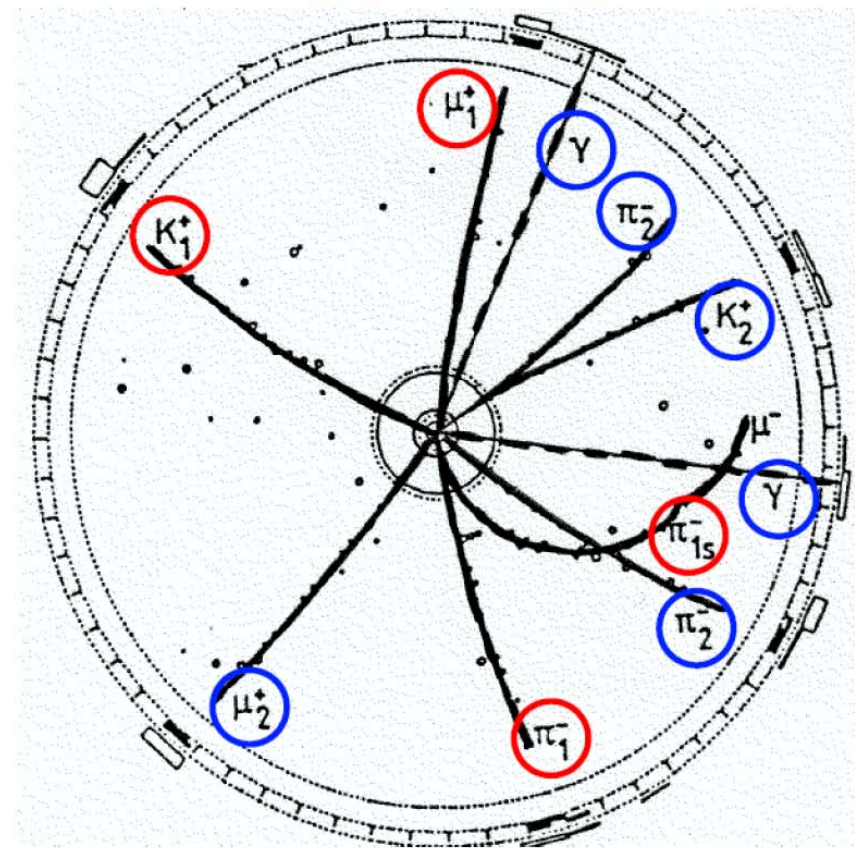
$$\Delta m = \frac{G_F^2}{3\pi} f_{B^0}^2 m_{B^0} \sum_{q,q'} |V_{qd} V_{qb}^* V_{q'd} V_{q'b}^*| m_q m_{q'}$$

mit q, q' : u, c, t ; f_B : Formfaktor des B^0 -Mesons

$$V_{ud} V_{ub}^* \approx V_{cd} V_{cb}^* \approx V_{td} V_{tb}^* \approx \lambda^3$$

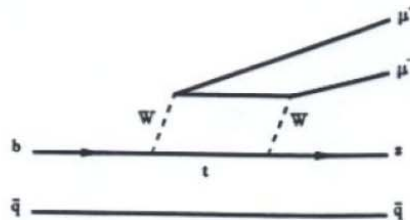
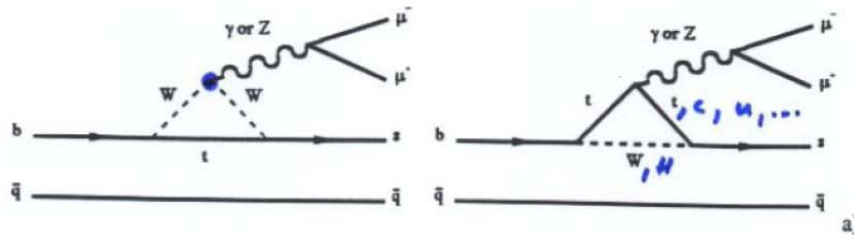
Messung: Umwandlungsrate $B^0 \rightarrow \bar{B}^0$ groß

➡ Hinweis auf ein schweres Top-Quark



Phys. Lett. B192, 245 (1987)

Top in Pinguinen



Heute:
SM Erwartung der
BR gut bestätigt

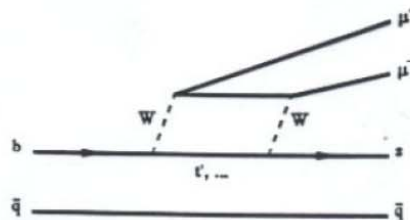
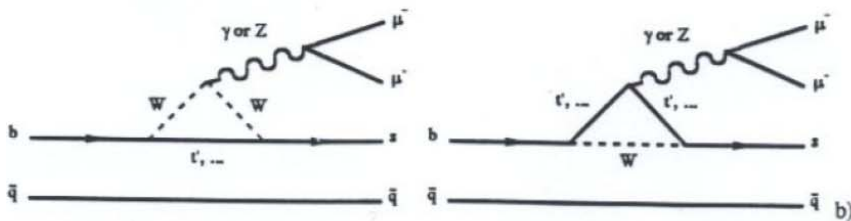


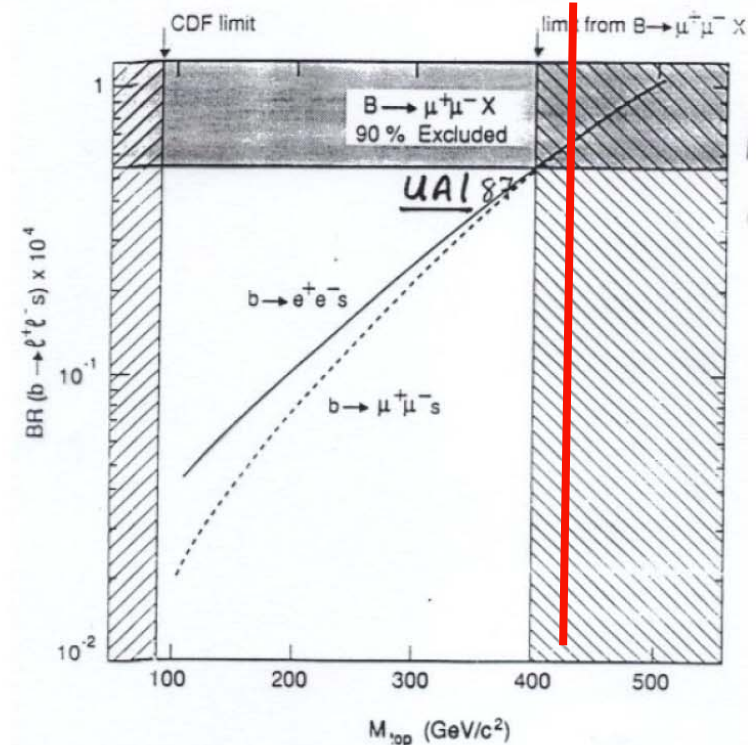
Figure 2.10: Penguin diagrams giving dominant contributions to the transitions $B \rightarrow \mu^+\mu^-X$ and $B_d \rightarrow \mu^+\mu^-K^{0*}$ a) in the Standard Model, b) in the case of four or

Diskussion analog zur Vorhersage des c-Quarks

Ohne t-Quark würde es FCNC in führender Ordnung geben

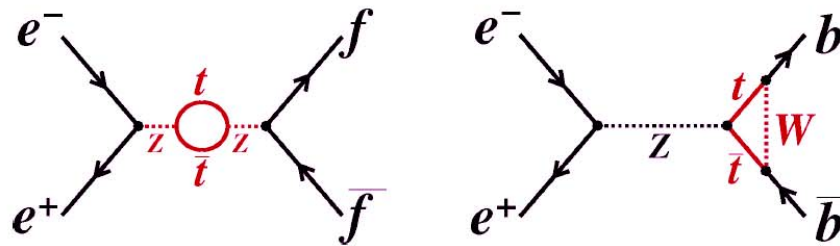
For $m_t = \infty \Rightarrow \text{BR}(B \rightarrow \mu\mu X) = 0.12\% !$ ($m_{\mu\mu} \neq m_{\mu\mu}, \mu\mu, \dots$
dh. keine
Resonanzen

$$b \begin{array}{c} \text{t} \\ \text{w} \end{array} s + b \begin{array}{c} \text{c} \\ \text{w} \end{array} s + b \begin{array}{c} \text{u} \\ \text{w} \end{array} s \approx 0$$



Top in Strahlungskorrekturen

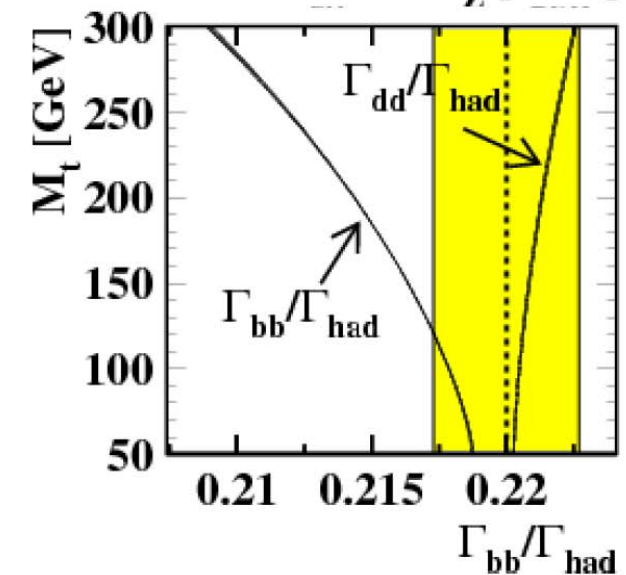
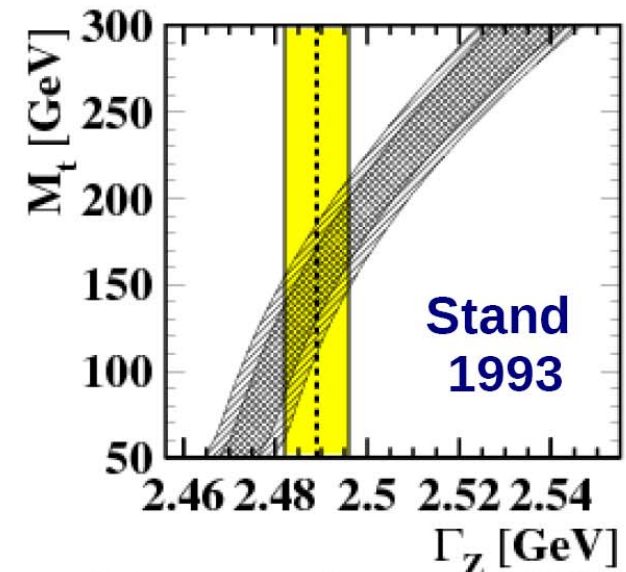
- Elektroschwache-Prozesse mit radiativen Korrekturen sind sensitiv auf m_t



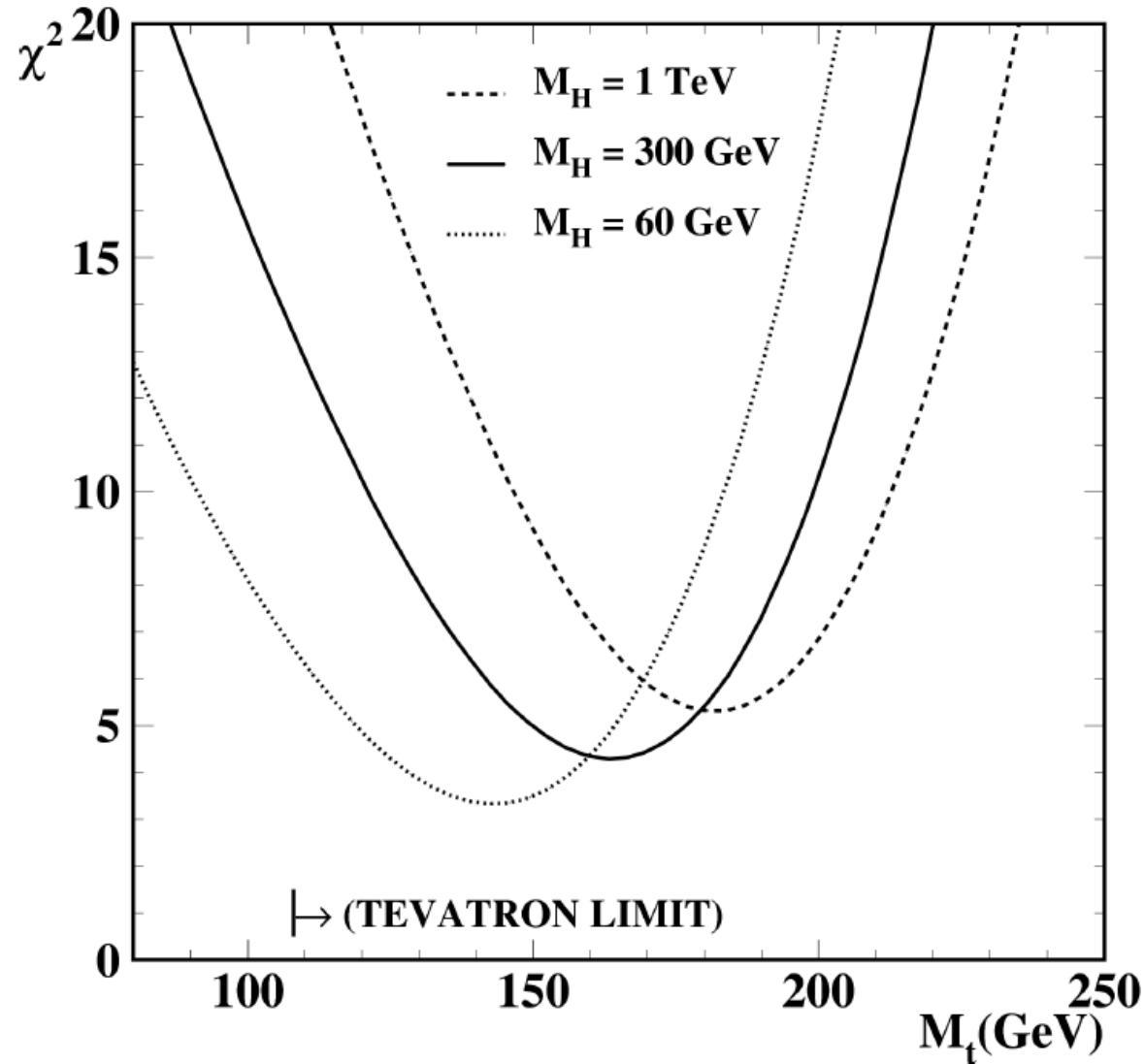
- Präzisionsmessungen auf Z-Resonanz:
LEP-I (CERN), SLC (SLAC)

$$M_Z, \Gamma_Z, \sigma_{\text{had}}^0, \Gamma_{bb}/\Gamma_{\text{had}}, A_{\text{FB}}, \dots$$

- Messungen von M_W :
LEP-II (CERN), SppS (CERN) und
Tevatron (Fermilab)
- m_t -abhängige Anpassung an Daten
→ Vorhersage von m_t



„Vorhersage“ der Top-Masse 1993



Stand 1993:

$$m_t = 164^{+16}_{-17} {}^{+18}_{-21} \text{ GeV}/c^2$$

Direkte Suche

Suche nach $e^+e^- \rightarrow \text{Toponium} (t\bar{t}) \rightarrow X$ und $e^+e^- \rightarrow t\bar{t}$

1979-1984, Petra (Desy)

: $m_t > 23.3 \text{ GeV}/c^2$ (1985)

1987-1990, Tristan (KEK)

: $m_t > 30.2 \text{ GeV}/c^2$ (1990)

1989-1990, SLC (SLAC), LEP-I (CERN): $m_t > 45.8 \text{ GeV}/c^2$ (1990)

$\sqrt{s}$

47 GeV

61 GeV

91 GeV



Suche nach $p\bar{p} \rightarrow WX \rightarrow t\bar{b}X$

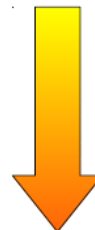
Sp $\bar{p}$ S (CERN), 1981-1989

Anfang 1984: Erster Hinweis
auf Top-Quark
bei $m_t \sim 40 \text{ GeV}/c^2$

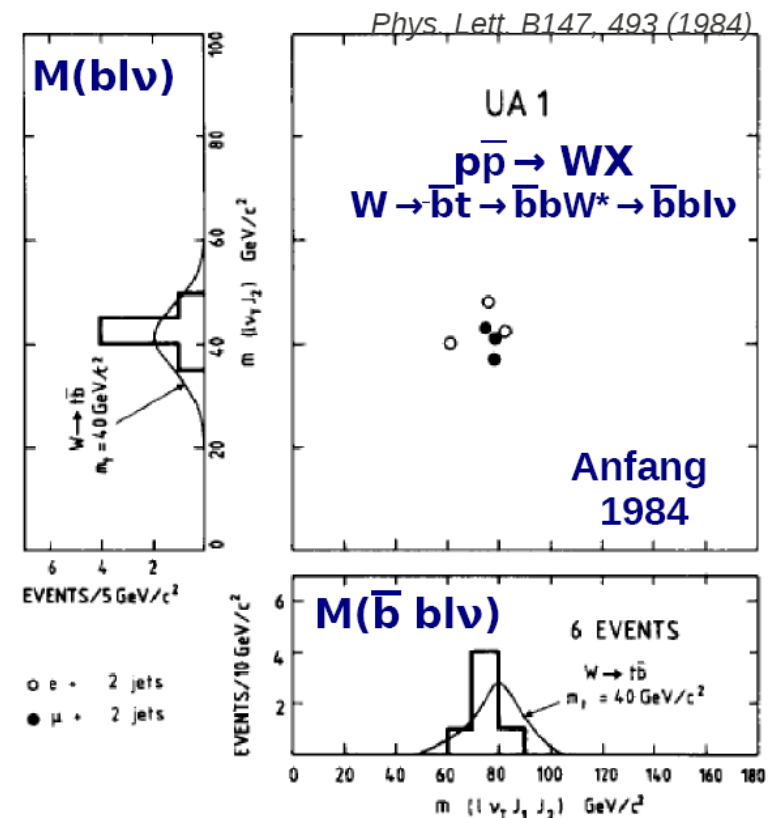
$\sqrt{s}$
540 GeV

Später in 1984: $m_t > 44 \text{ GeV}/c^2$

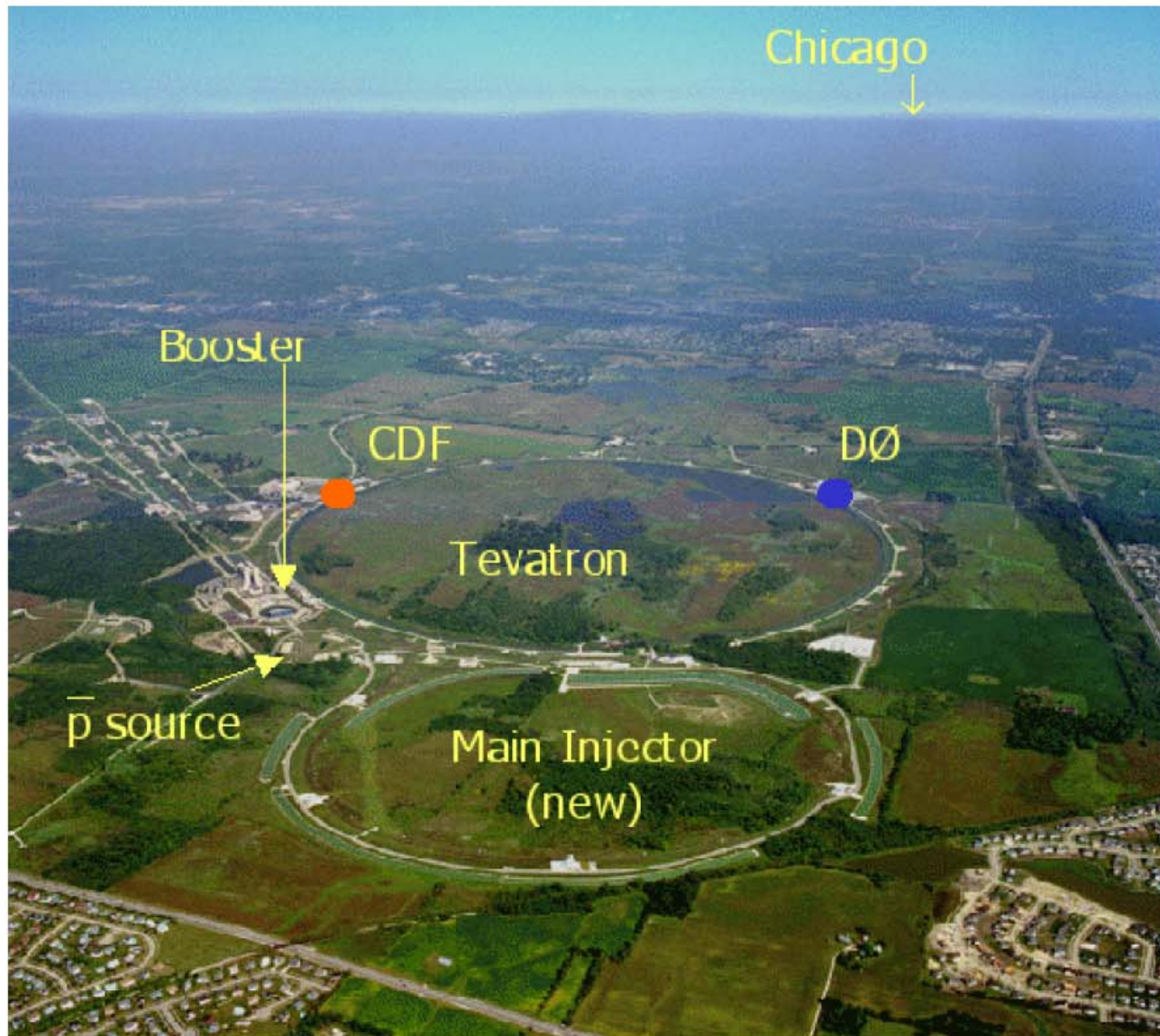
630 GeV



1990: $m_t > 69 \text{ GeV}/c^2$



Fermilab



Proton-Antiproton-Kollisionen mit 1.7 MHz

Bis zum Beginn des LHC der energiereichste Beschleuniger der Welt.

$\sqrt{s} = 1.96 \text{ TeV}$

(Run 1: 1.8 TeV)

Ringlänge: $L = 6.28 \text{ km}$

Umlaufzeit: $T = 20.95 \mu\text{s}$

Speicherzeit:

$\Delta t_{\text{sp}} = 10 \text{ bis } 20 \text{ h}$



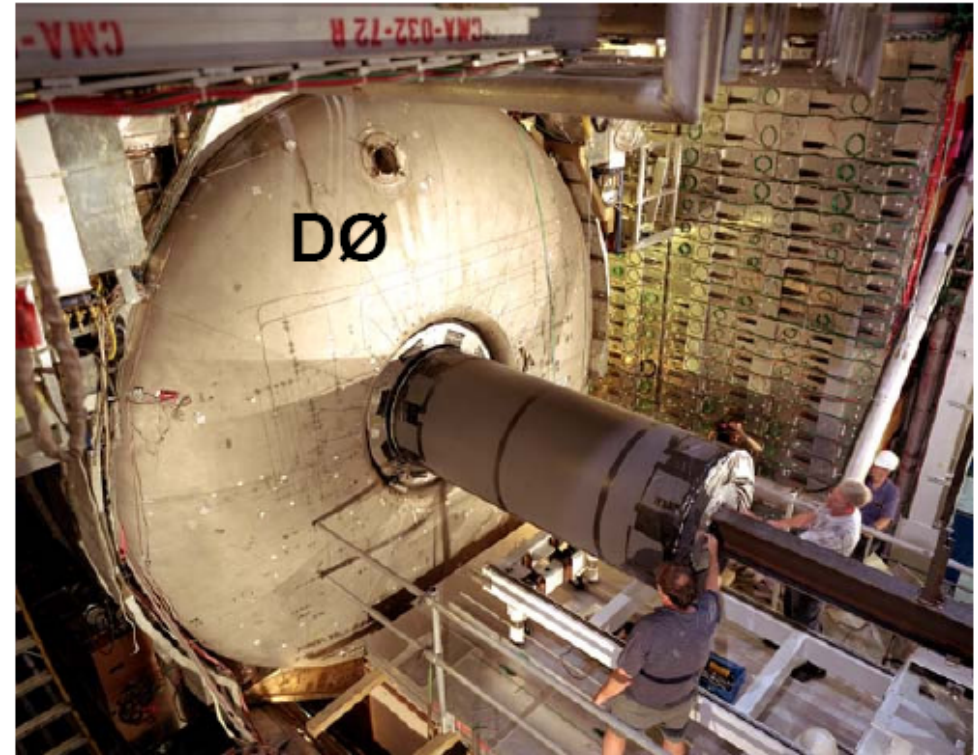
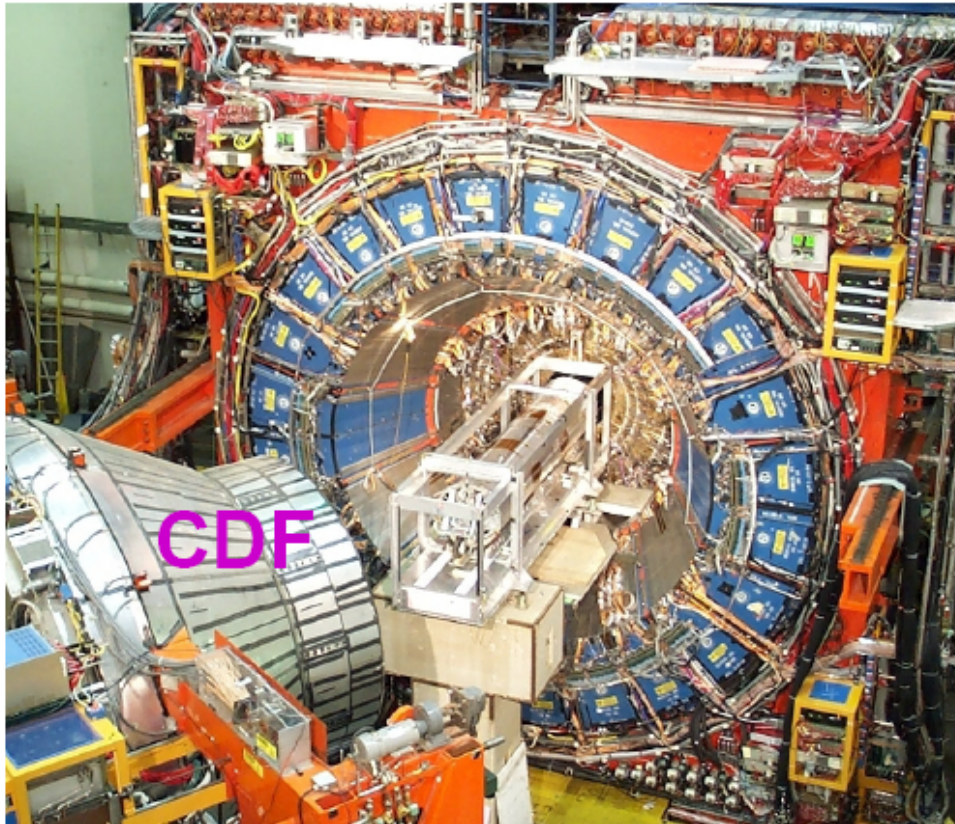


**13 Länder, 58 Institutionen
630 Physiker**



**19 Länder, 83 Institutionen
580 Physiker**

CDF und DØ am Fermilab



Vielzweckdetektoren: Spurkammern, b-Jet-Identifikation, Kalorimeter, Muonsystem, ...

Stärke von CDF: Impulsauflösung und Teilchenidentifikation (K, π)

Stärke von DØ: Myonakzeptanz und Energieauflösung von Jets

Top-Erzeugung in Hadron-Kollisionen

■ QCD-Produktion von Top-Quark-Paaren

■ Berechnung: **Faktorisierung**

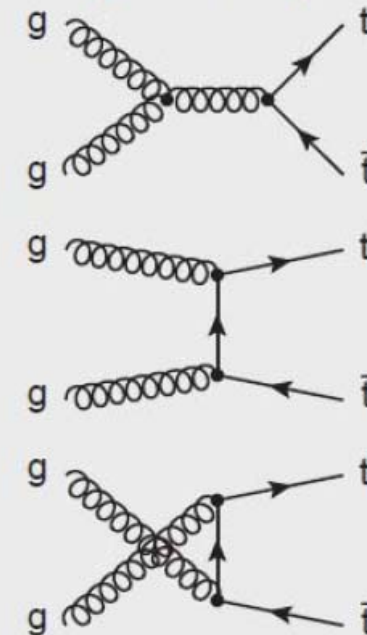
■ Harter Subprozess auf Bornniveau

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{\sigma}}{d\hat{t}} (gg \rightarrow t\bar{t}) = & \frac{\pi \alpha_s^2}{8 \hat{s}^2} \cdot \left[\frac{6(m_t^2 - \hat{t})(m_t^2 - \hat{u})}{\hat{s}^2} - \frac{m_t^2(\hat{s} - 4m_t^2)}{3(m_t^2 - \hat{t})(m_t^2 - \hat{u})} \right. \\ & + \frac{4}{3} \cdot \frac{(m_t^2 - \hat{t})(m_t^2 - \hat{u}) - 2m_t^2(m_t^2 + \hat{t})}{(m_t^2 - \hat{t})^2} \\ & + \frac{4}{3} \cdot \frac{(m_t^2 - \hat{t})(m_t^2 - \hat{u}) - 2m_t^2(m_t^2 + \hat{u})}{(m_t^2 - \hat{u})^2} \\ & - 3 \cdot \frac{(m_t^2 - \hat{t})(m_t^2 - \hat{u}) - m_t^2(\hat{u} - \hat{t})}{\hat{s}(m_t^2 - \hat{t})^2} \\ & \left. - 3 \cdot \frac{(m_t^2 - \hat{t})(m_t^2 - \hat{u}) - m_t^2(\hat{t} - \hat{u})}{\hat{s}(m_t^2 - \hat{u})^2} \right] \end{aligned}$$

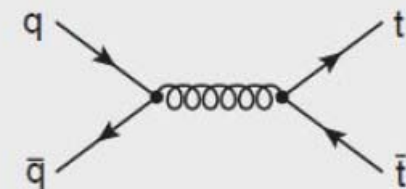
$$\frac{d\hat{\sigma}}{d\hat{t}} (q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}) = \frac{4\pi \alpha_s^2}{9 \hat{s}^4} \cdot [(m_t^2 - \hat{t})^2 + (m_t^2 - \hat{u})^2 + 2m_t^2 \hat{s}]$$

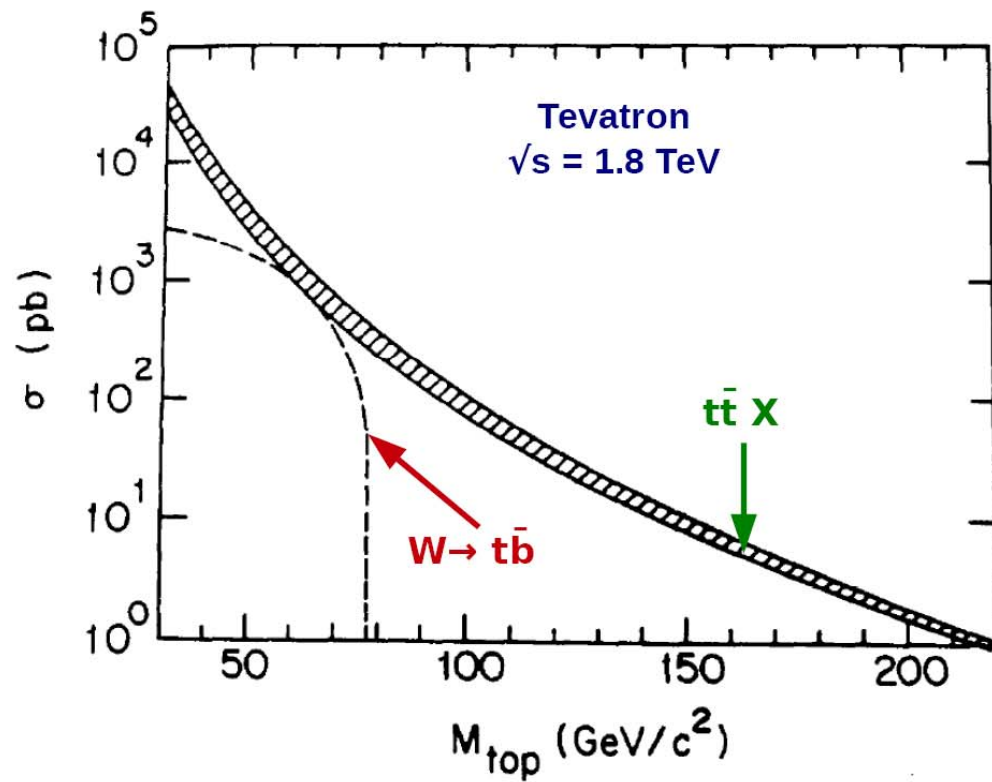
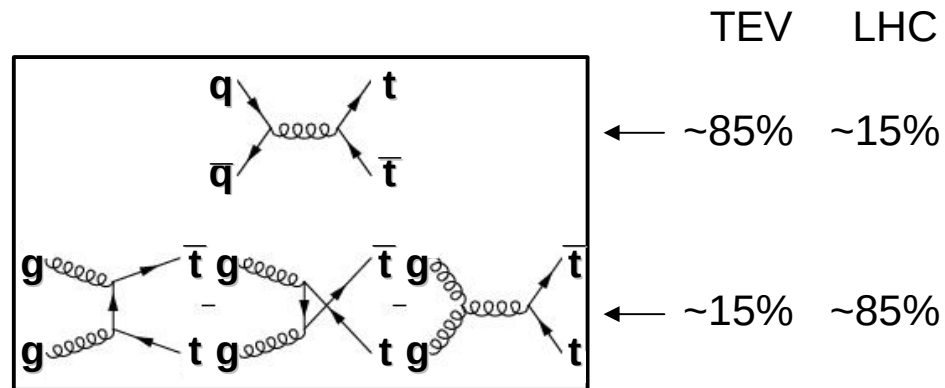
$\hat{s}, \hat{t}, \hat{u}$: Mandelstam-Variable

Gluon-Gluon-Fusion
(LHC: 80%)



Quark-Antiquark-Annihilation (LHC: 20%)





1990: SppS (CERN)

$p\bar{p} \rightarrow WX \rightarrow t\bar{t}X$,
 $\sqrt{s} = 630 \text{ GeV}$

Beste Grenze:

$m_t > 69 \text{ GeV}/c^2$

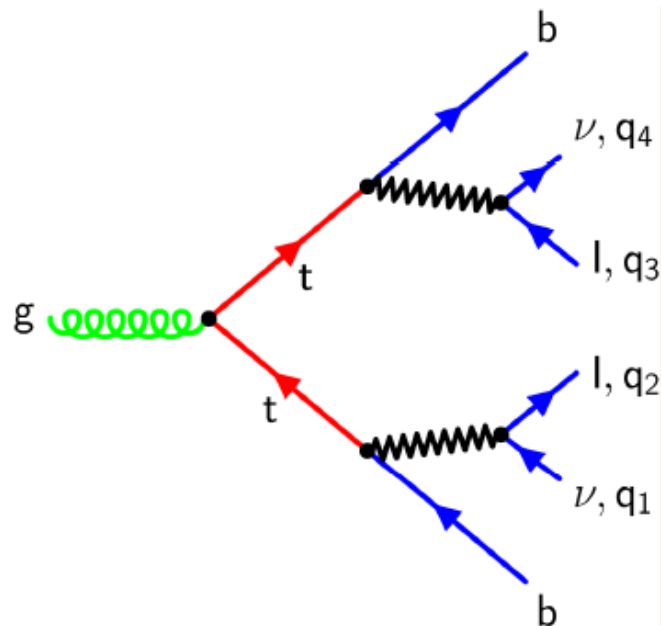
1990: CDF, Tevatron
(Fermilab)

$p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}X$, $\sqrt{s} = 1.8 \text{ TeV}$

$m_t > 72 \text{ GeV}/c^2$

Nachweis von Top-Quarks

Klassifikation erfolgt nach den Zerfallsmodi der W-Bosonen



- 1.) Zweifach leptonischer Kanal
- 2.) **Lepton + Jets Kanal**
- 3.) Tau-Kanäle
- 4.) Reinhadronischer Kanal

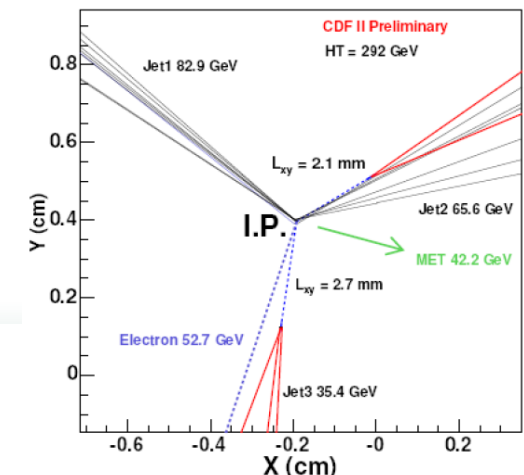
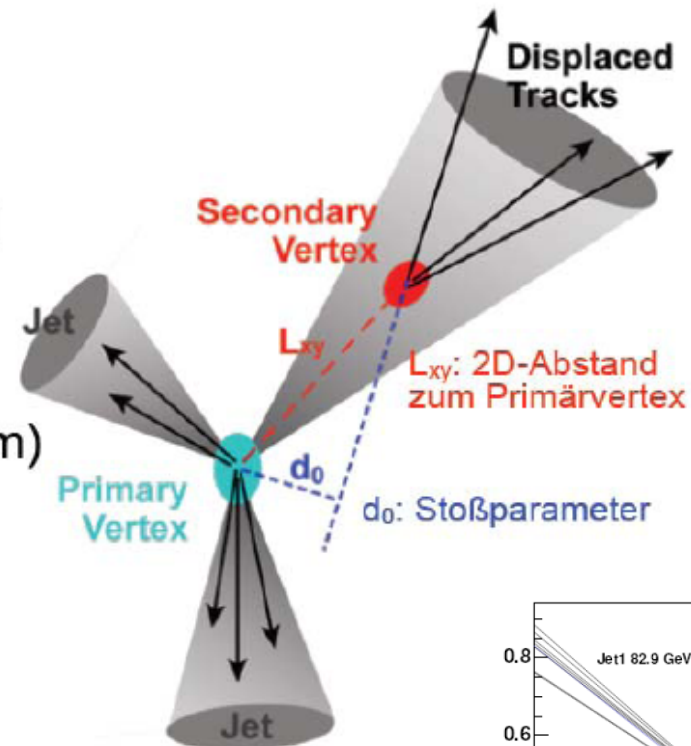
Top-Paar Zerfallskanäle

$c\bar{s}$	electron+jets	muon+jets	tau+jets	all-hadronic	
$u\bar{d}$					
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^+	$u\bar{d}$	$c\bar{s}$

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

B-Tagging

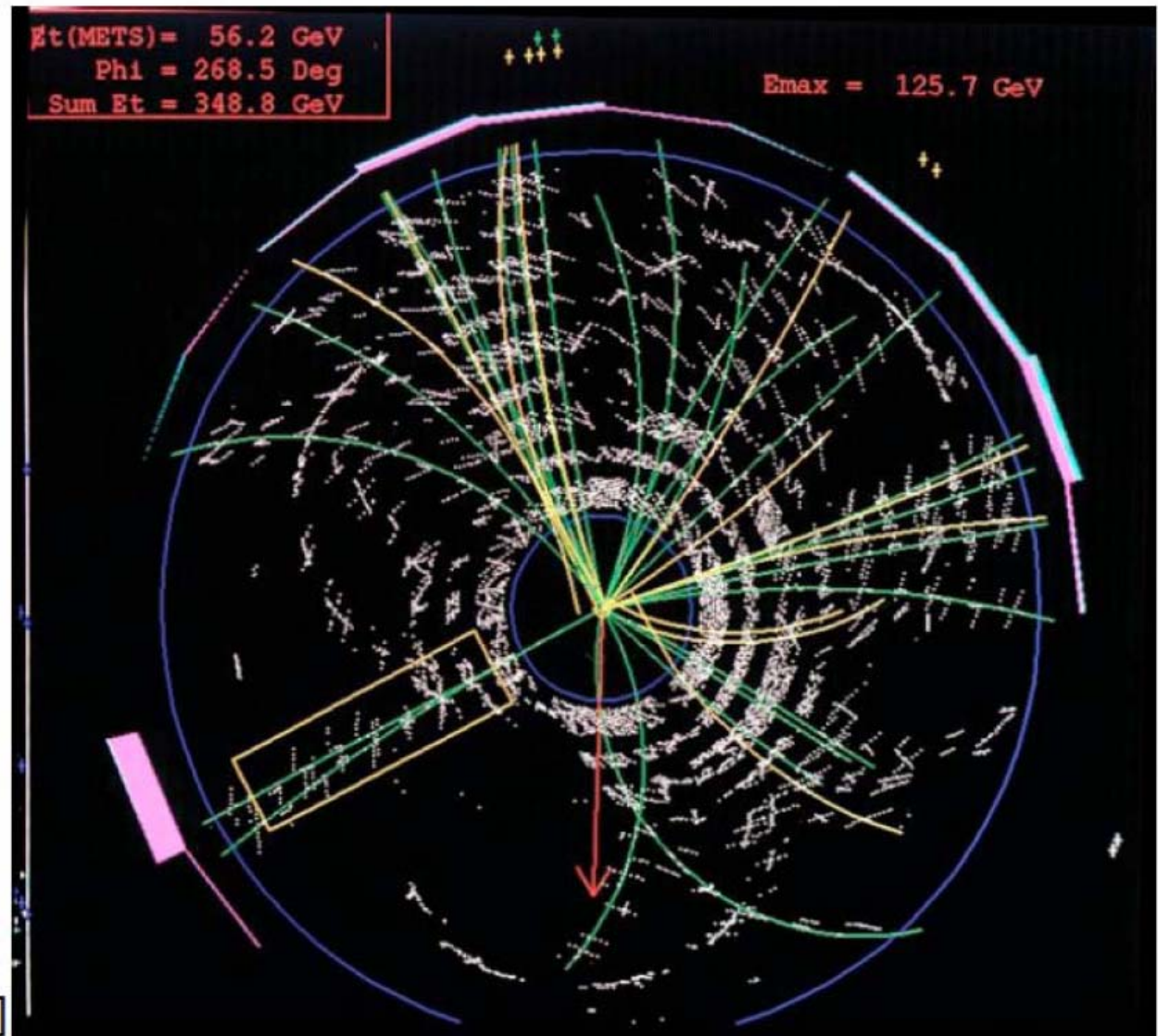
- Viele Zerfälle „interessanter“ Teilchen in b-Quarks
 - Beispiele: $H \rightarrow b\bar{b}$, $t\bar{t} \rightarrow W^+b W^-\bar{b}$
 - Identifikation von Jets mit B-Hadronen (engl. „b-tagging“) zentraler Bestandteil der Analyse
- B-Tagging I: B-Hadronen massiv, lange Lebensdauer ($c\tau$ für $B^\pm$: 491 μm)
 - Spuren mit großem Stoßparameter
 - Versetzter Sekundärvertex mit großer Vertexmasse (= invariante Masse aller geladenen Teilchen im Vertex)
- B-Tagging II: semileptonische Zerfälle $B \rightarrow l\nu X$: Jets mit „weichen“ Leptonen



Ereignis mit zwei identifizierten b-Jets

Erster Kandidat (CDF)

Typische Lepton+
Jets-Signatur:
Lepton, 4 Jets, fehlende
Transversalenergie

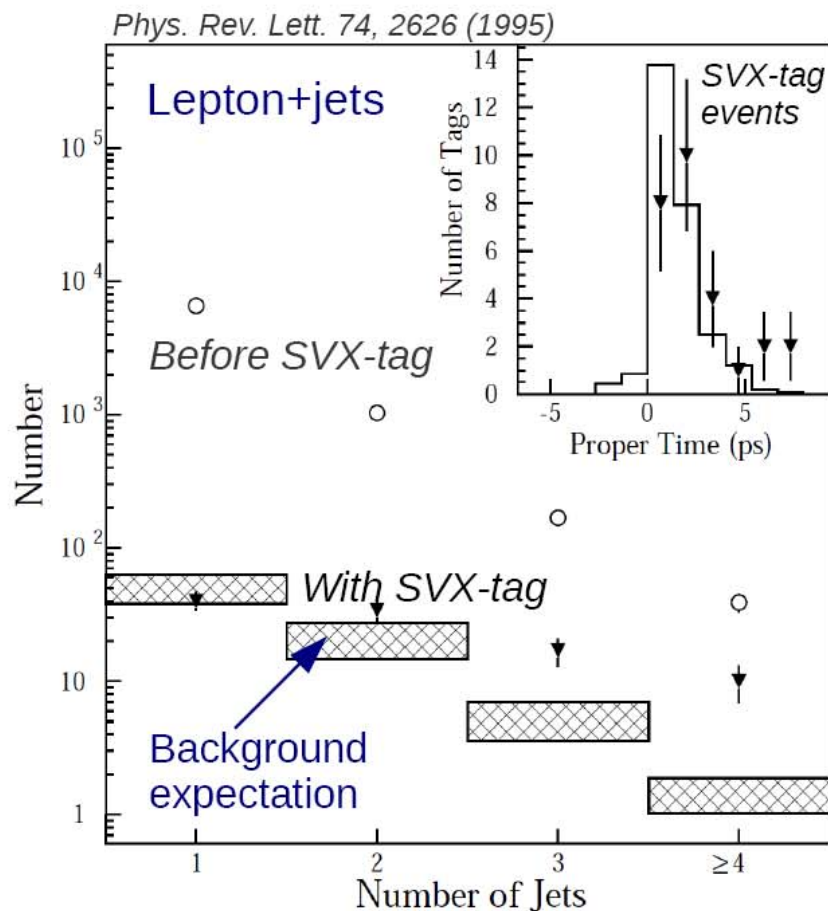


[CDF, 09/24/92]

1994: Erste Hinweise auf Top-Quark (*Tevatron Run I*, $\sqrt{s} = 1.8 \text{ TeV}$)

15 (CDF), 9 (D0) $t\bar{t}$ -Kandidaten bei 6 (CDF), 4 (D0) erwarteten Untergrundereignissen

1995: Entdeckung des Top-Quarks in $t\bar{t}$ -Production (QCD)



Channel:	Lepton+Jets		Dilepton
	SVX	SLT	
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}

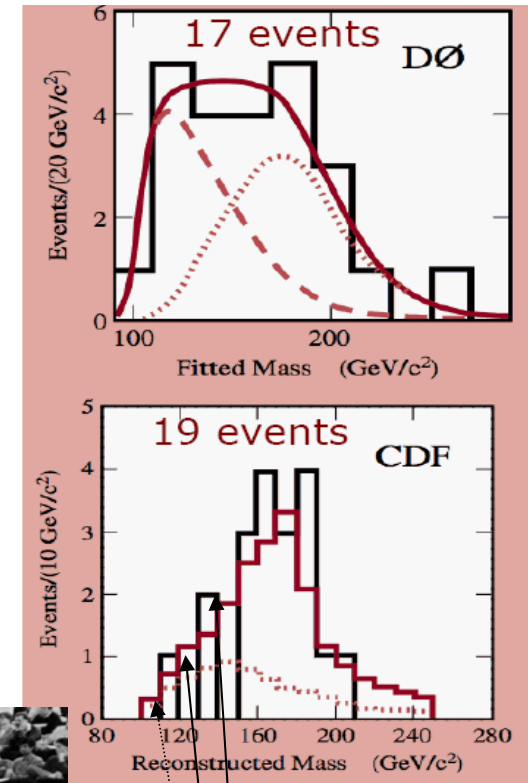
B-tagging:

SVX: Rekonstruktion eines Sekundärvertex

SLT: Leptonen in Jets, die konsistent sind mit Jet=b-Jet

Die Entdeckung am 24.2.95

- 50 pb⁻¹ at DØ
 - $m_t = 199 \pm 30$ GeV
 - $\sigma_{t\bar{t}} = 6.4 \pm 2.2$ pb
 - Background-only hypothesis rejected at 4.6σ
- 67 pb⁻¹ at CDF
 - $m_t = 176 \pm 13$ GeV
 - $\sigma_{t\bar{t}} = 6.8^{+3.6}_{-2.4}$ pb
 - Background-only hypothesis rejected at 4.8σ



Daten+Untergrund

Simulation

Untergrund

Top-Antitop-Wirkungsquerschnitte

- Theorie der Top-Paarproduktion 2011:
 - NLO + Verbesserungen (z. B. „approx. NNLO“):
 - $\approx 10\%$ Theorie-Unsicherheit
- Vergleich Tevatron-LHC:
 - Wirkungsquerschnitt am LHC: mehr als $20\times$ Tevatron
 - LHC-Energien: ähnliche Wirkungsquerschnitte für $p\bar{p}$ und pp (dominiert durch Gluonen im Proton)

