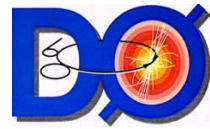


Die Suche nach dem Higgs Boson

-Erwartungen bei zukünftigen
Protonbeschleunigern -



- TeVatron am Fermilab

- DØ-Experiment

- Physik:

- Elektroschwache Messungen
- Physik des Top Quarks
- Suche nach Supersymmetrie
- Suche nach dem Higgs Boson

Karl Jakobs
Institut für Physik
Universität Mainz
55099 Mainz



Das TeVatron

- * 1985 - 1986: Ausbau des Fermilab Synchrotrons zu einem Proton-Antiproton Speicherring
- * 1987-1990: Erste Datennahme des CDF-Experiments
 $\sqrt{s} = 1800 \text{ GeV}$
- * 1992 - 1996: Run I **CDF und DØ** $\int L dt = 125 \text{ pb}^{-1}$
- * 1996 - 2001: Upgrade Programm (Maschine und Detektoren)
- * seit März 2001: Run II a, $\sqrt{s} = 1980 \text{ GeV}$, 2 fb^{-1}
- * 2004 - LHC : Run II b, $\sqrt{s} = 1980 \text{ GeV}$, $10\text{-}20 \text{ fb}^{-1}$



Verbesserungen am Beschleuniger

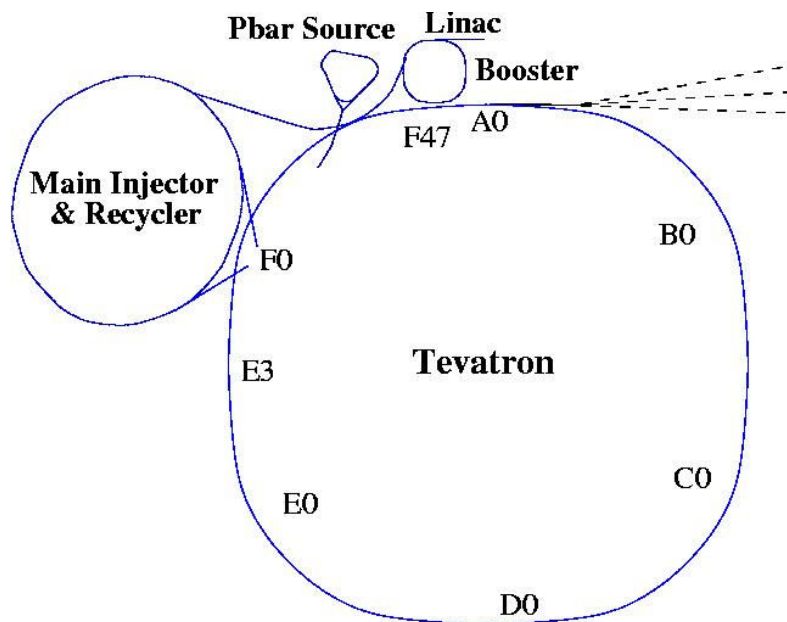
• Zwei neue Maschinen:

– Main Injector

- 150 GeV Proton-Beschleuniger
- Höhere Luminosität für den Collider, 120 GeV Fixed-Target Programm und Neutrino Produktion für NUMI

– Recycler

- Erlaubt Antiproton- Recycling am Ende der Speicherung



Beschleunigerparameter

RUN	Ib (1993-95) (6x6)	Run IIa (36x36)	Run IIa (140x103)	Run IIb (140x103)	
Protons/bunch	2.3×10^{11}	2.7×10^{11}	2.7×10^{11}	2.7×10^{11}	
Antiprotons/bunch*	5.5×10^{10}	3.0×10^{10}	4.0×10^{10}	1.0×10^{11}	
Total Antiprotons	3.3×10^{11}	1.1×10^{12}	4.2×10^{12}	1.1×10^{13}	
Pbar Production Rate	6.0×10^{10}	1.0×10^{11}	2.1×10^{11}	5.2×10^{11}	hr ⁻¹
Proton emittance	23π	20π	20π	20π	mm-mrad
Antiproton emittance	13π	15π	15π	15π	mm-mrad
β^*	35	35	35	35	cm
Energy	900	1000	1000	1000	GeV
Antiproton Bunches	6	36	103	103	
Bunch length (rms)	0.60	0.37	0.37	0.37	m
Crossing Angle	0	0	136	136	μrad
Typical Luminosity	0.16×10^{31}	0.86×10^{32}	2.1×10^{32}	5.2×10^{32}	cm ⁻² sec ⁻¹
Integrated Luminosity [†]	3.2	17.3	42	105	pb ⁻¹ /week
Bunch Spacing	~3500	396	132	132	nsec
Interactions/crossing	2.5	2.3	1.9	4.8	

[†]The typical luminosity at the beginning of a store has traditionally translated to integrated luminosity with a 33% duty factor. Operation with antiproton recycling may be somewhat different.

- Run I: Luminosität durch die Verfügbarkeit der Antiprotonen begrenzt
- Run II a: 2001-2003 ? : 2-3 fb⁻¹ (?)
 - Bunch-Abstand von 396 ns (3.5 μs in Run I)
 - 980 GeV/beam (900 GeV in Run I)
- Run II b: 2004 ? - LHC: 10-20 fb⁻¹ (?)
 - Bunch-Abstand von 132 ns

Das D0 Upgrade Programm

* Neuer Spurdetektor

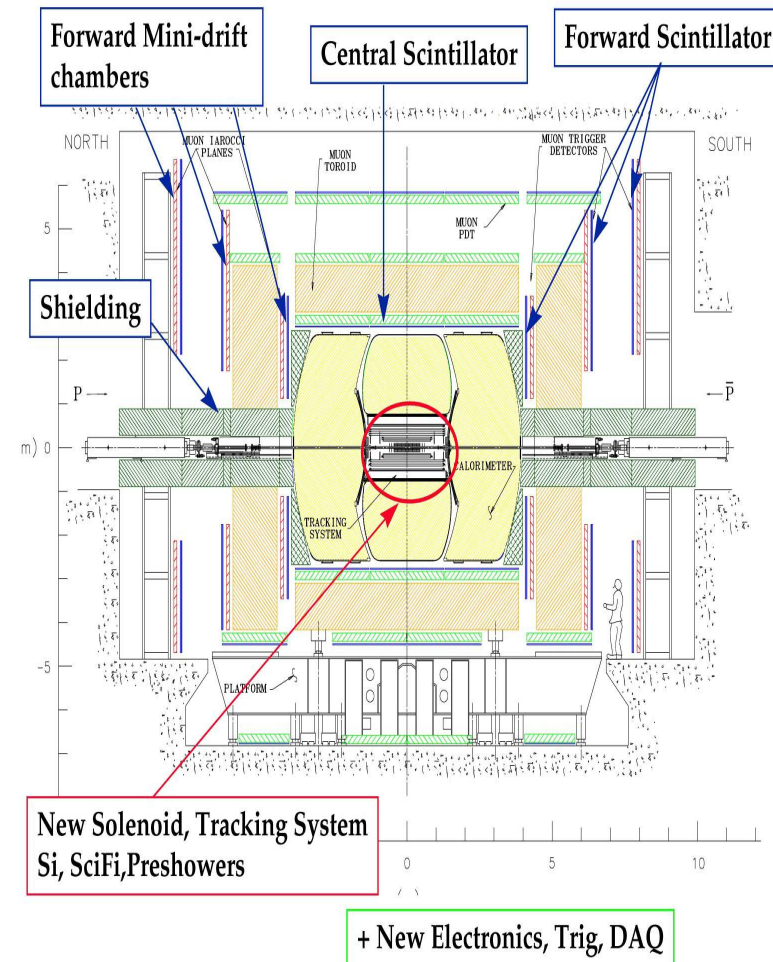
- Solenoidmagnet im inneren Bereich
- Silizium -Vertexdetektor
- Szintillationsfaser-Detektor
- Preshower Detektoren

* Verbesserungen des Myonsystems

(Myondetektoren im Vorwärtsbereich und Myon-Trigger)

* Verbesserungen des 3-stufigen Triggersystem

- Anpassung an die neuen Bedingungen
 - 2.5 - 7.6 MHz Wechselwirkungsrate
⇒ 20-50 Hz (Speichermedien)
 - Level 1: Hardware Trigger (Kalorimeter, Myonsystem, Spur/Preshower)
 - Level 2: Hard/Software Trigger (impact parameter)
 - Level 3: PC Farm, volle Rekonstruktion
- Neue Kalorimerelektronik



D0 Upgrade

The DØ Upgrade Tracking System

• Silicon Tracker

- ◆ Four layer barrels (double/single sided)
- ◆ Interspersed double sided disks
- ◆ 840,00 channels

• Fiber Tracker

- ◆ Eight layers sci-fi ribbon doublets (z-u-v, or z
- ◆ 74,000 830um fibers w/ VLPC readout

• Central Preshower

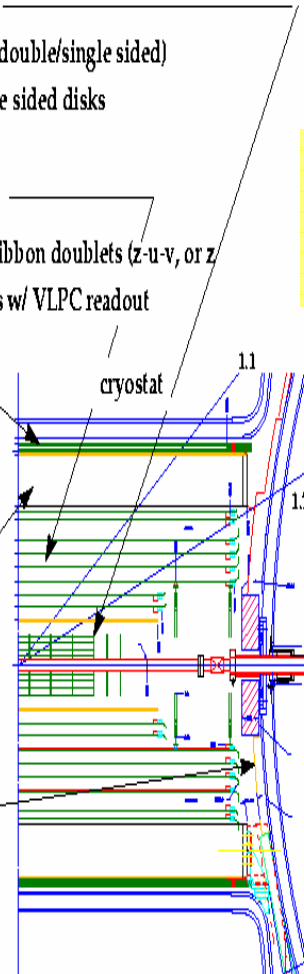
- ◆ Scintillator strips, WLS fiber readout
- ◆ 6,000 channels

• Solenoid

- ◆ 2T superconducting

• Forward Preshower

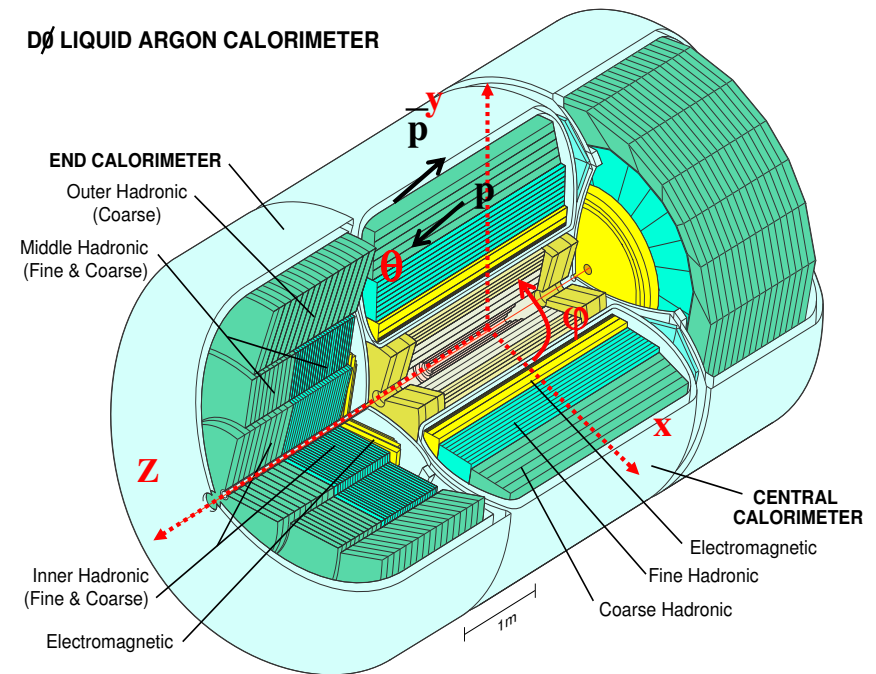
- ◆ Scintillator strips, stereo, WLS readout
- ◆ 16,000 channels



**Charged Particle
Momentum Resolution**
 $\Delta p_T / p_T \sim 5\%$
 @ $p_T = 10 \text{ GeV}/c$

DØ Calorimeters

DØ LIQUID ARGON CALORIMETER



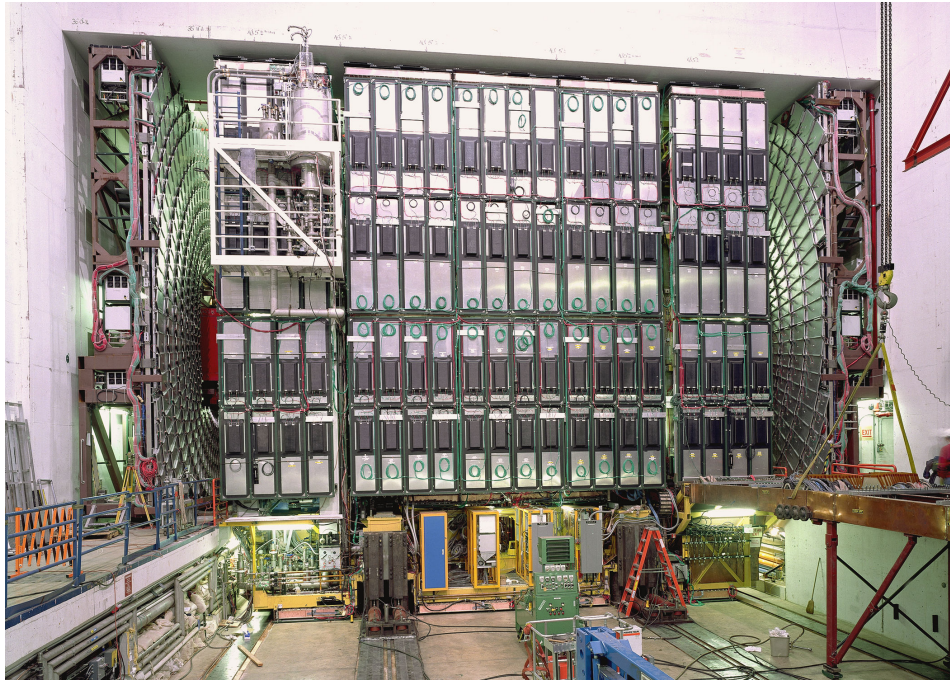
- Liquid argon sampling and uranium absorber
- Hermetic with full coverage
- $|\eta| < 4.2$
- $\lambda_{int} > 7.2$ (total)
- Transverse segmentation $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.1$

Energy Resolution:

$$e: \sigma_E / E = 15\% / \sqrt{E} + 0.3\%$$

$$\pi: \sigma_E / E = 45\% / \sqrt{E} + 4\%$$

Detector in collision hall, January 2001



Die Arbeit von vielen Leuten



Deutsche Beteiligung:

Aachen, Bonn, Mainz, LMU München, Wuppertal

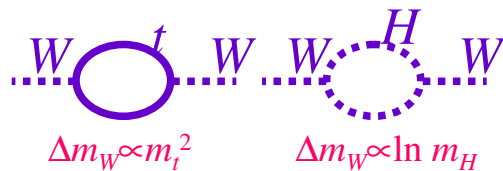
Elektroschwache Physik (W und Z)

W-Masse

fundamentaler Parameter des Standardmodells

auf Born-Niveau bestimmt durch $\sin^2\theta_w, G_F, \alpha$

wichtige radiative Korrekturen:



* **W-Breite**

* **Eichboson-Kopplungen**

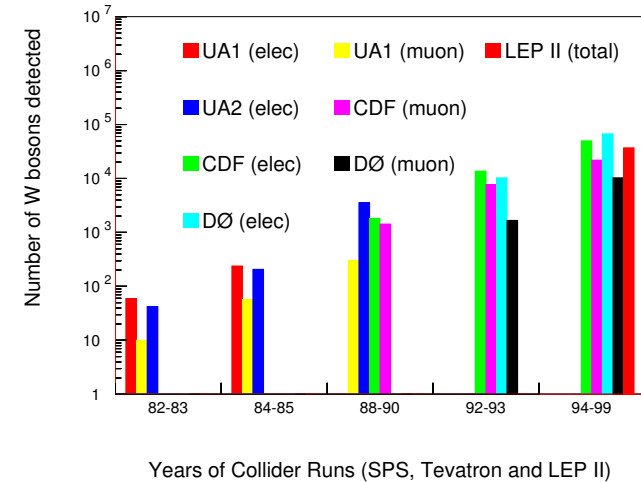
* **W und Z Produktionswirkungsquerschnitte**

* **P_T - Verteilungen der W und Z-Bosonen**

Drell-Yan Produktion:

K-Faktor von ~ 1.3

Anzahl der nachgewiesenen W-Bosonen



Wirkungsquerschnitte am Tevatron:

$$\sigma(p\bar{p} \rightarrow W + X \rightarrow \ell \nu + X) \approx 2 \text{ nb}$$

$$\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z + X \rightarrow \ell \bar{\ell} + X) \approx 0.2 \text{ nb}$$

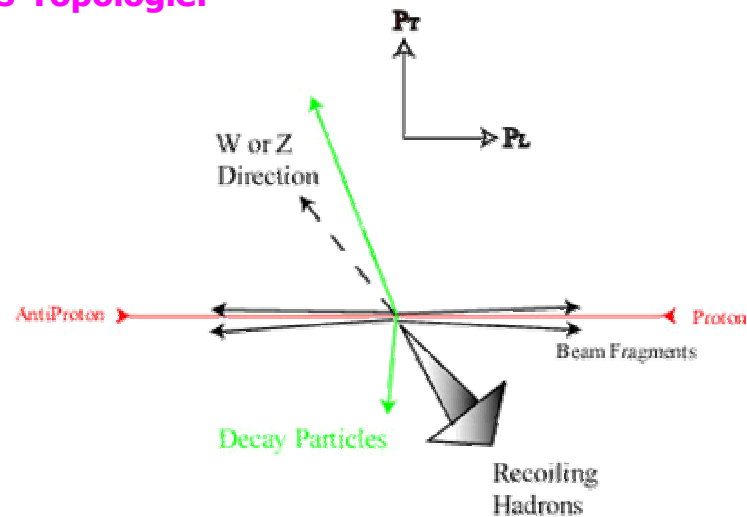
Erwartete Rate für 2 fb^{-1} :

4 Mio W Ereignisse

LHC Raten:

60 Mio W Ereignisse

Ereignis-Topologie:



beachte: die Longitudinalkomponente des Neutrinoimpulses
kann nicht gemessen werden

Observablen: $P_T(e)$, $P_T(had)$

$$\Rightarrow P_T(\nu) = - (P_T(e) + P_T(had))$$

$$\Rightarrow M_T := \sqrt{2 P_T(e) P_T(\nu) (1 - \cos \Delta \phi)}$$

i. allg. wird die **Transversale Masse M_T** zur Bestimmung
der W-Masse benutzt (kleinste systematische Unsicherheit)

Messung der W-Masse

Transversale Masse: $M_T := \sqrt{2 P_T(e) P_T(\nu) (1 - \cos \Delta \phi)}$

Selektion:

$$P_T(e) > 20 \text{ GeV}$$

$$P_T(\nu) > 25 \text{ GeV}$$

$$P_T(W) < 20 \text{ GeV}$$

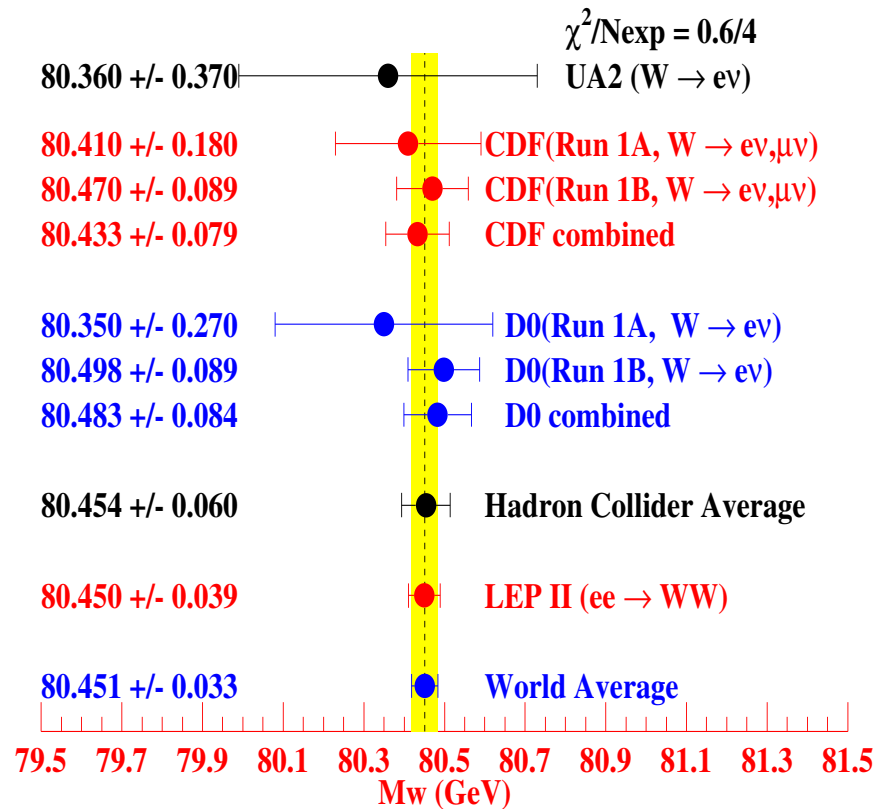
Das Spektrum der transversalen Masse wird mit
Monte Carlo Modellen $f(M_W)$ verglichen;

M_W wird im Modell verändert, beste Anpassung wird
bestimmt

Hauptunsicherheiten:

- * Energie Skala
- * Lepton Auflösung
- * Hadronisches Ereignis („Recoil energy“)
- * QCD Korrekturen, $P_T(W)$
- * Strukturfunktionen

Ergebnisse aus Run I (incl. Updates)*



LEP-2 Fehler: ± 39 MeV

Hadron Collider: ± 60 MeV

*) C. Gerber, EPS Budapest 2001

Welche Präzision kann in Run II erreicht werden?

Skalierbare Unsicherheiten (Statistik)

Source	(CDF IB preliminary)			
	δM_W (MeV)		$\delta \Gamma_W$ (MeV)	
	$e\nu$	$\mu\nu$	$e\nu$	$\mu\nu$
Statistics	65	100	125	195
Letpon E, p scale	75	85	63	16
Letpon E, p resolution	25	20	10	20
Recoil energy	37	35	60	90
Selection	–	18	30	40
Background	5	25	50	50
Total	109	141	163	226

$Z \rightarrow l\bar{l}$ Ereignisse
 $Z \rightarrow l\bar{l}$ Ereignisse
 $Z \rightarrow l\bar{l}$ Ereignisse

Nicht skalierbare Unsicherheiten:

- Transversalimpulsverteilung $P_T(W)$ (theoretische Rechnungen)
- Unsicherheiten in Strukturfunktionen
- El.schwache rad. Korrekturen

Abschätzungen im Run-II workshop:

2 fb⁻¹: $\Delta M_W \sim 30$ MeV pro Experiment

Zum Vergleich: LHC $\Delta M_W \sim 20$ MeV pro Experiment

Kombination: $\Delta M_W \sim 15$ MeV (incl. Korrelationen)

W/Z Mass Ratio

Alternate Measurement of M_W

Ratio of W and Z distributions
That are correlated to IVB mass.

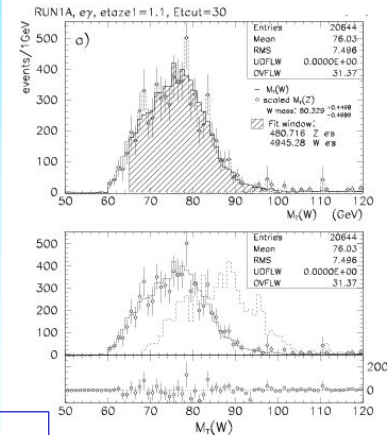
- Treat $Z \rightarrow ee$ as $W \rightarrow ev$ by discarding one of the two Z electrons
- The scale factor between equivalent Z and W distributions gives M_W / M_Z

Possible Distributions:

- M_T
- P_T^e
- P_e

Stat Sys
 DØ Run 1a W Mass
 M_T : $80.350 \pm 0.140 \pm 0.165 \pm 0.160$
 Ratio: $80.160 \pm 0.360 \pm 0.075$

Extraction of W Mass
from W/Z M_T ratio



W Boson Breite

- * **Indirekte Messung:** aus dem Verhältnis der W/Z Produktionswirkungsquerschnitte x Verzweigungsverhältnis

$$R \equiv \frac{\sigma(p\bar{p} \rightarrow W + X) \times BR(W \rightarrow l\nu)}{\sigma(p\bar{p} \rightarrow Z + X) \times BR(Z \rightarrow ll)}$$

$$= \frac{\sigma(W)}{\sigma(Z)} \times \frac{\Gamma(Z)}{\Gamma(Z \rightarrow ll)} \times \frac{\Gamma(W \rightarrow l\nu)}{\Gamma(W)} \quad \text{SM}$$

Perturbative QCD: LEP

Run I Ergebnis (CDF + DØ kombiniert):

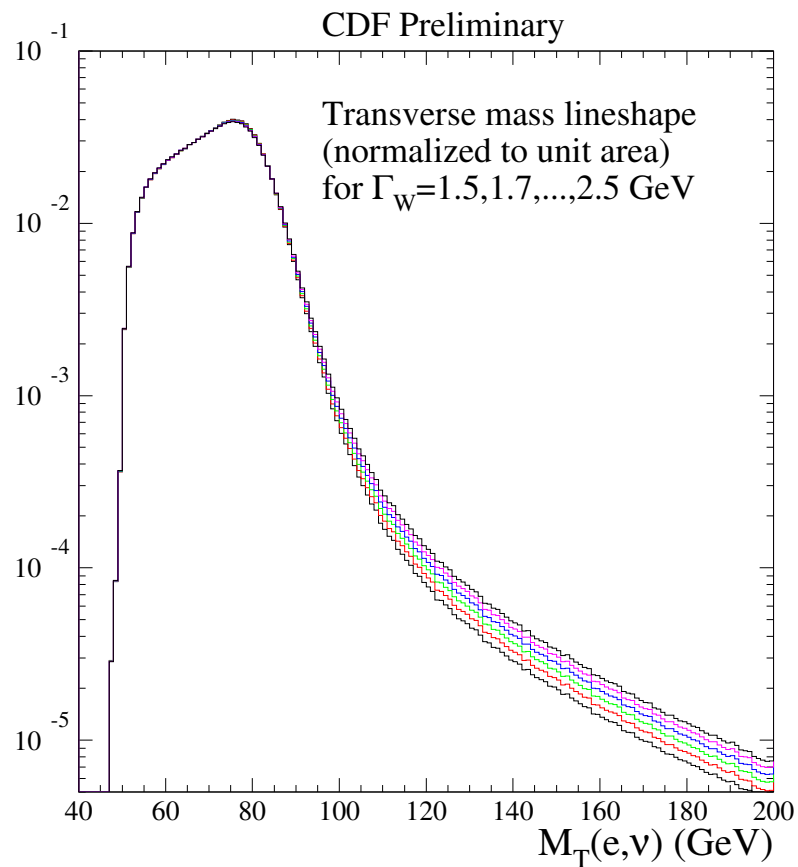
$$\Gamma_W = 2.171 \pm 0.021 \text{ (stat)} \pm 0.047 \text{ (syst.) GeV}$$

- * **Direkte Methode:** aus dem transversalen Massenspektrum:

Run I Ergebnis (CDF):

$$\Gamma_W = 2.055 \pm 0.100 \text{ (stat)} \pm 0.075 \text{ (syst.) GeV}$$

- * **Erwartete Run II Sensitivität**
(CDF + DØ kombiniert, jeweils 10 fb^{-1}):
 $\Delta \Gamma_W \sim 10 \text{ MeV}$
- * **SM Vorhersage:** $2.093 \pm 0.003 \text{ GeV}$

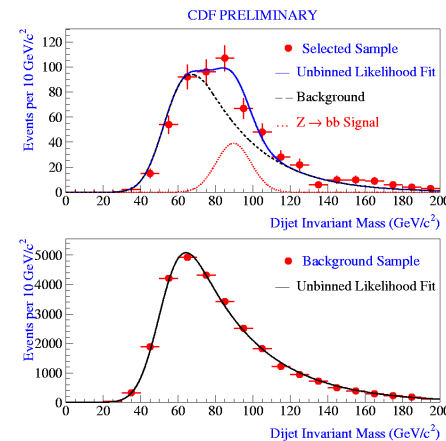


Hadronische W/Z Zerfälle ?

Nachweis des Zerfalls $Z \rightarrow b\bar{b}$ möglich

Untergrundunterdrückung mit Hilfe des b-taggings

bereits von CDF in Run I demonstriert:



588 Ereignisse
nach Schnitten, Vertex
tagging etc.

$$M_Z = 90.0 \pm 2.4 \text{ GeV}$$

Enorm wichtig für Top- und Higgs-Physik:

- * Methode kann benutzt werden, um b-Jet Skala zu kalibrieren

MC-Studie, 2 fb^{-1} : Genauigkeit von $\pm 1\%$

wichtig für Top-Massenmessung

- * Optimierung der Jet-Jet Massenauflösung

wichtig für $H \rightarrow b\bar{b}$ Zerfälle

TOP-QUARK PHYSIK

Produktionswirkungsquerschnitt:

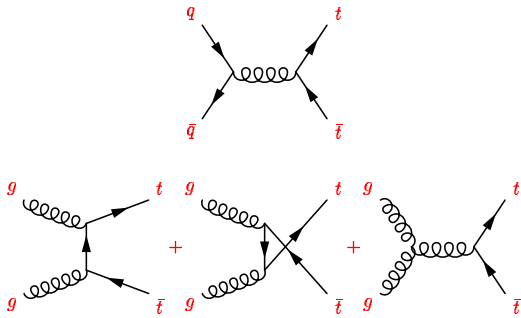
Paarproduktion: qq und gg-Fusion

Run1 (1.8TeV) Run2 (2TeV) LHC (14TeV)

90% 85% 5%

10% 15% 95%

5 pb 7 pb 800 pb



Elektroschwache Produktion einzelner Top-Quarks (Drell-Yan und Wg-Fusion)

0.7 0.9 10

1.7 2.4 250

0.07 pb 0.1 pb 60 pb

