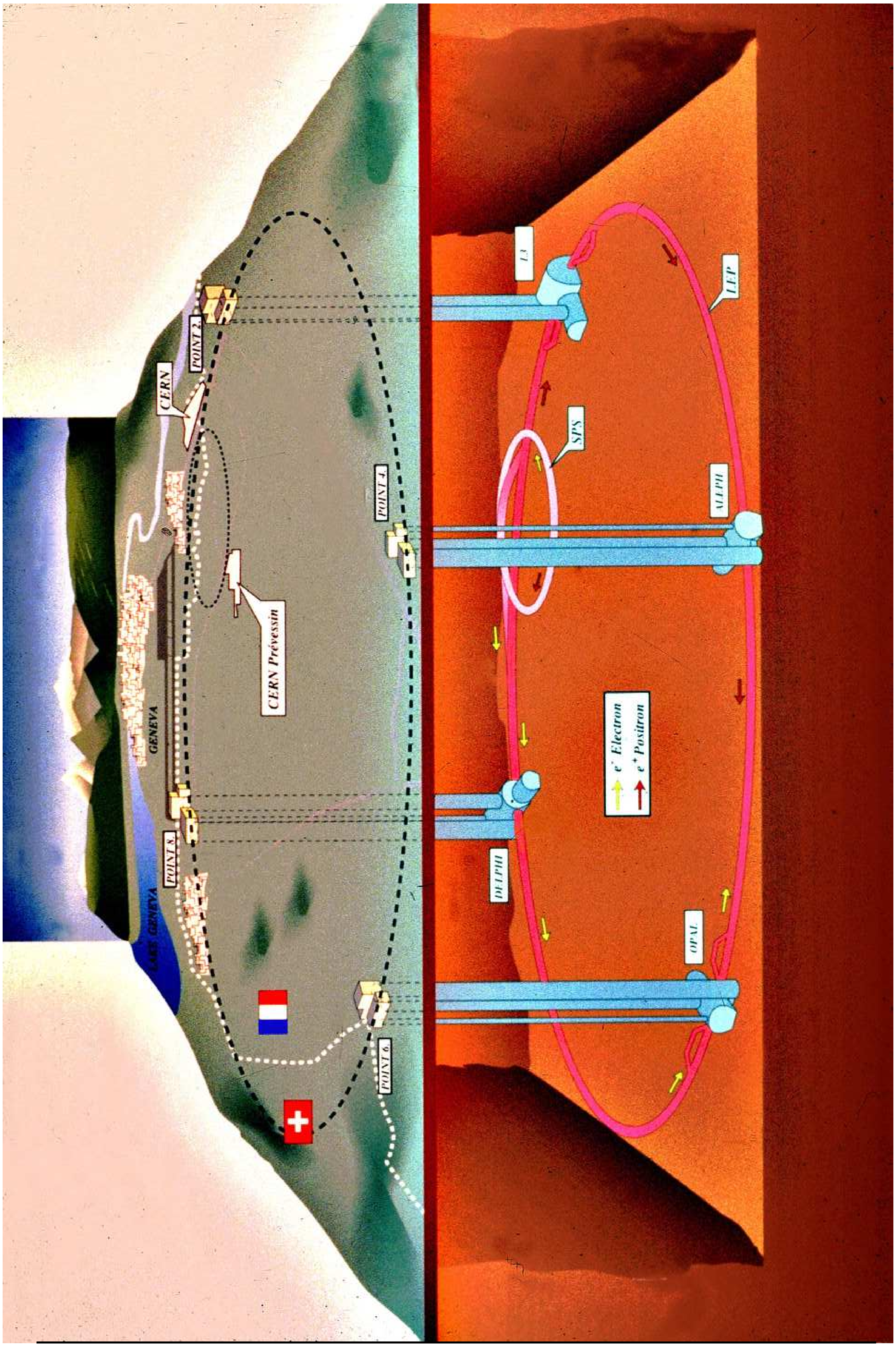
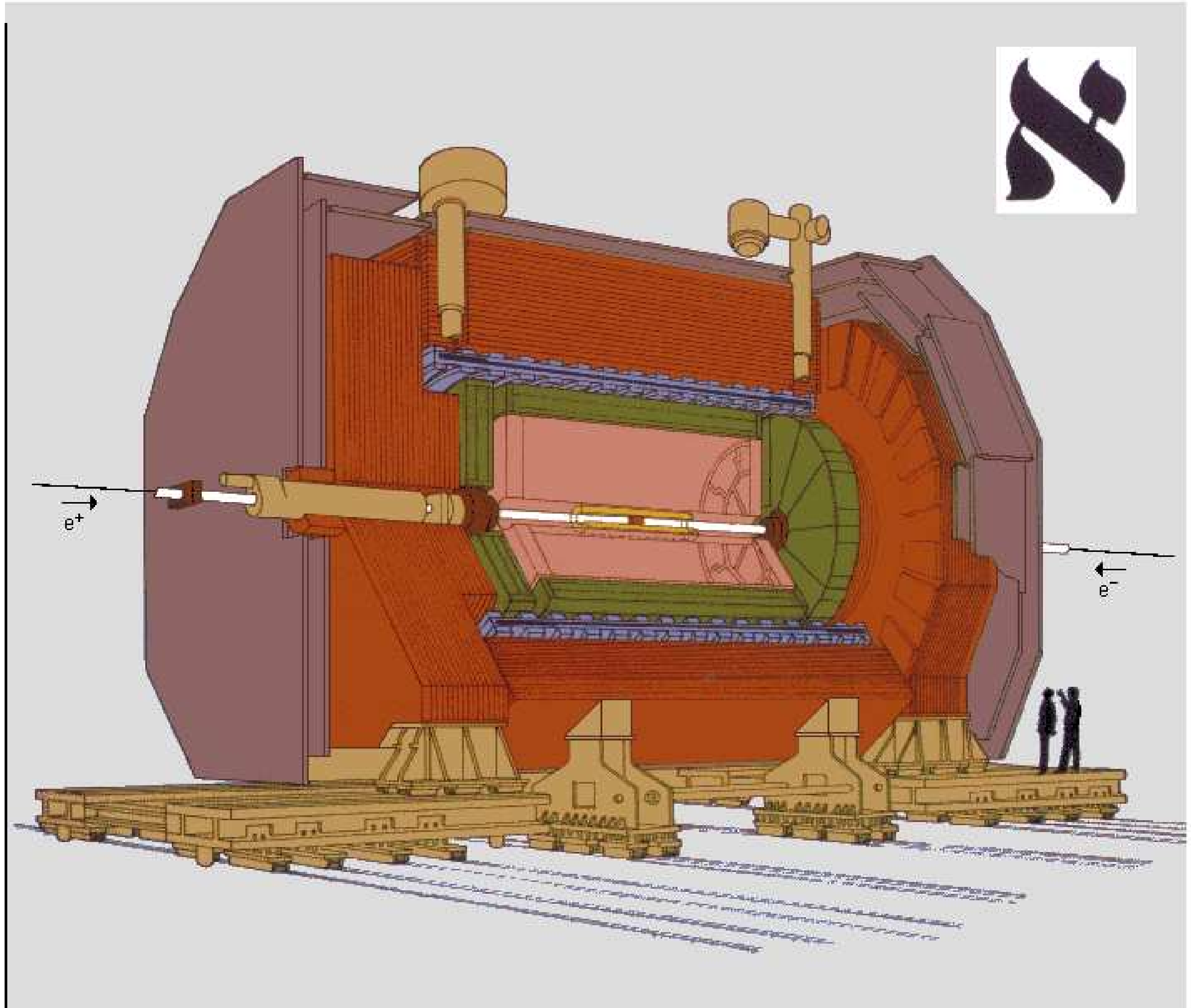

LAKE GENEVA
GENEVA
CERN
CERN Prévessin
POINT 2
POINT 4
POINT 6
POINT 8
L3
LEP
SPS
ALEPH
DELPHI
OPAL
e^- Electron
e^+ Positron



Vertex Detector

Inner Tracking Chamber

Time Projection Chamber

Electromagnetic Calorimeter

Superconducting Magnet Coil

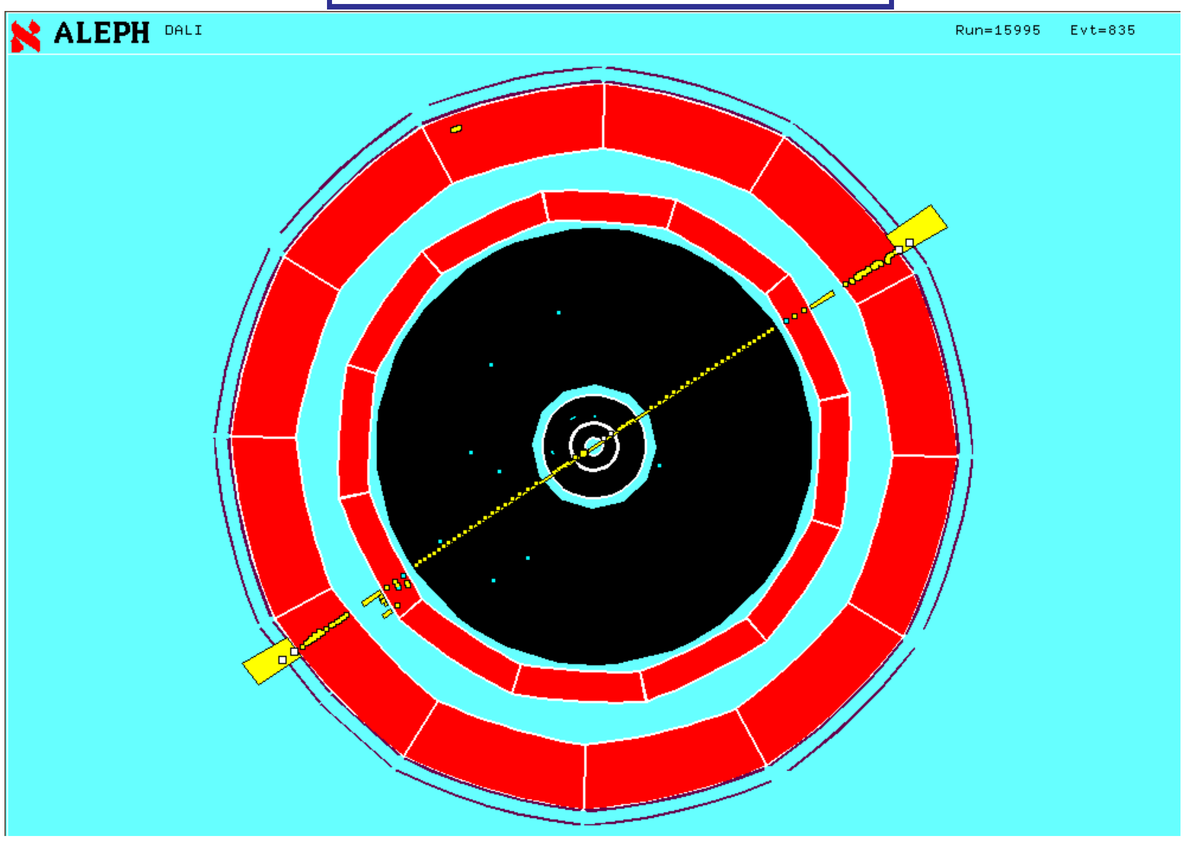
Hadron Calorimeter

Muon Chambers

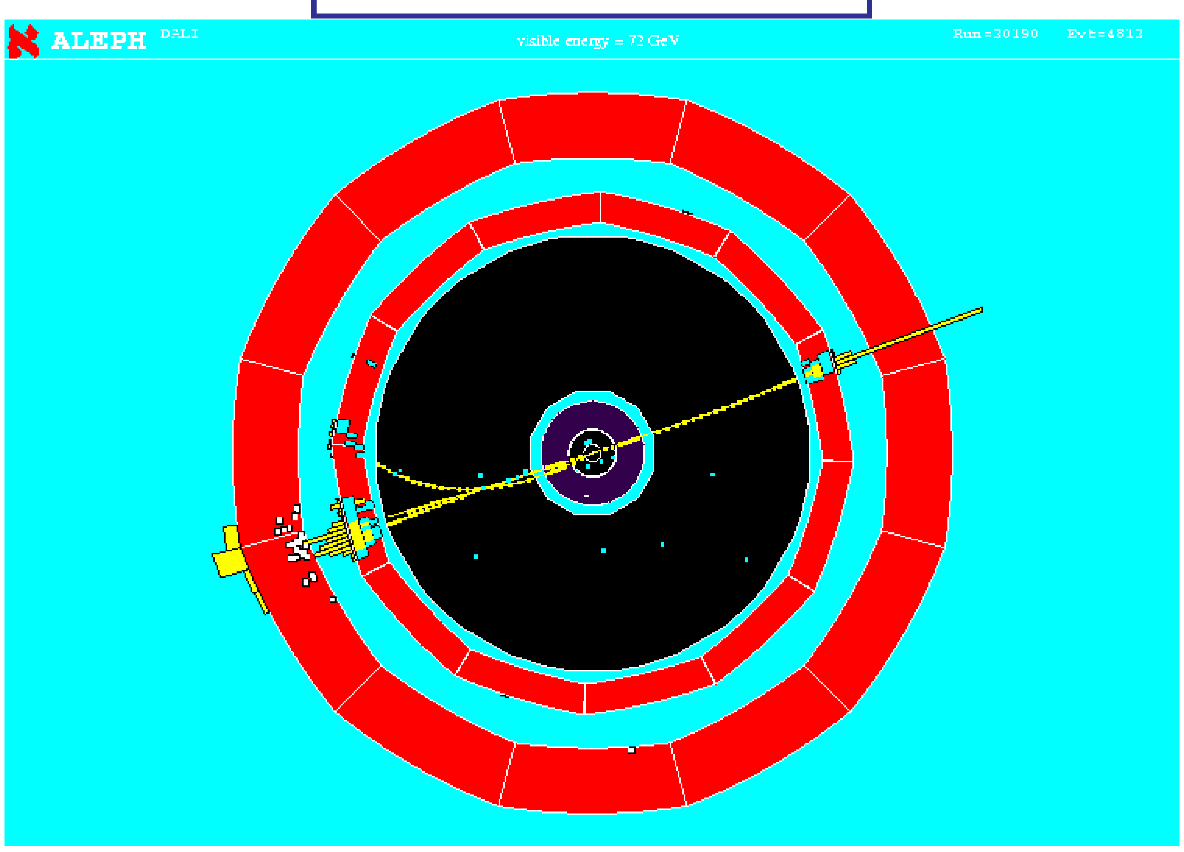
Luminosity Monitors

The ALEPH Detector

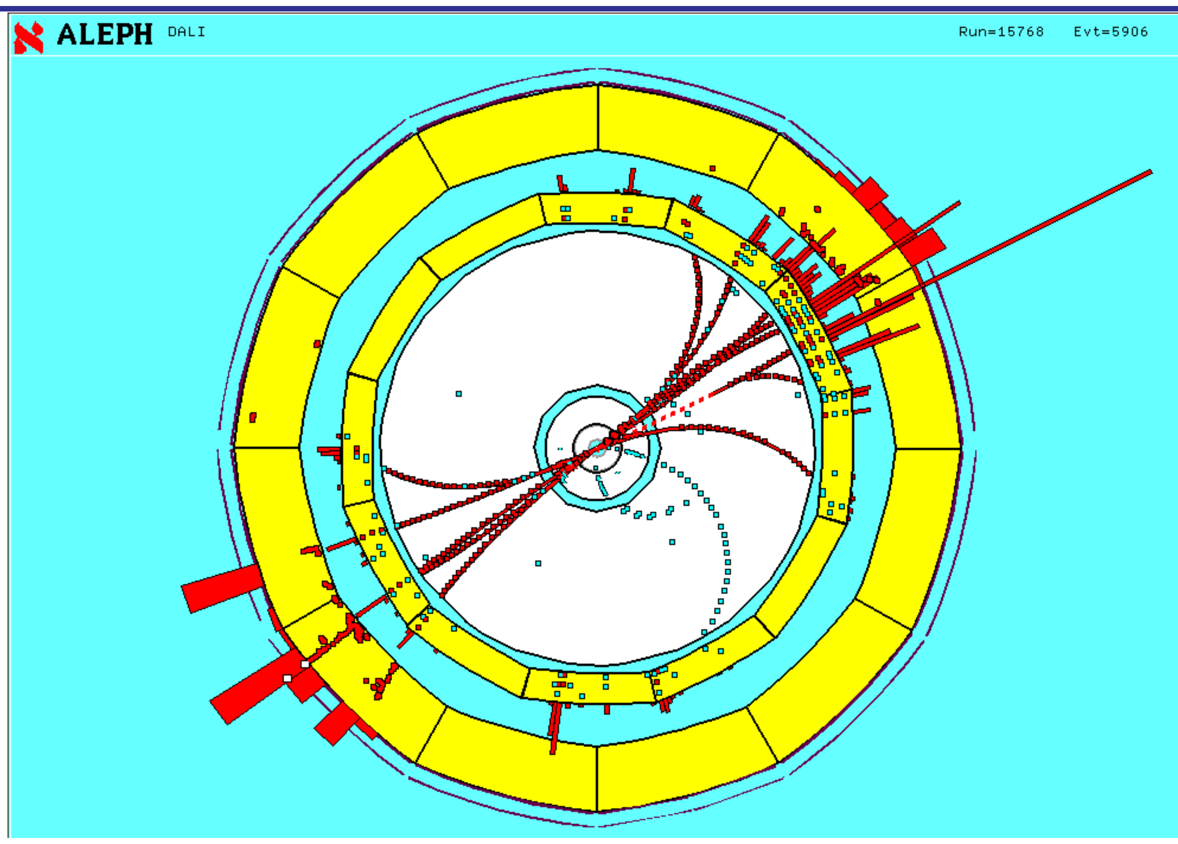
$$\boxed{e^+e^- \longrightarrow \mu^+\mu^-}$$



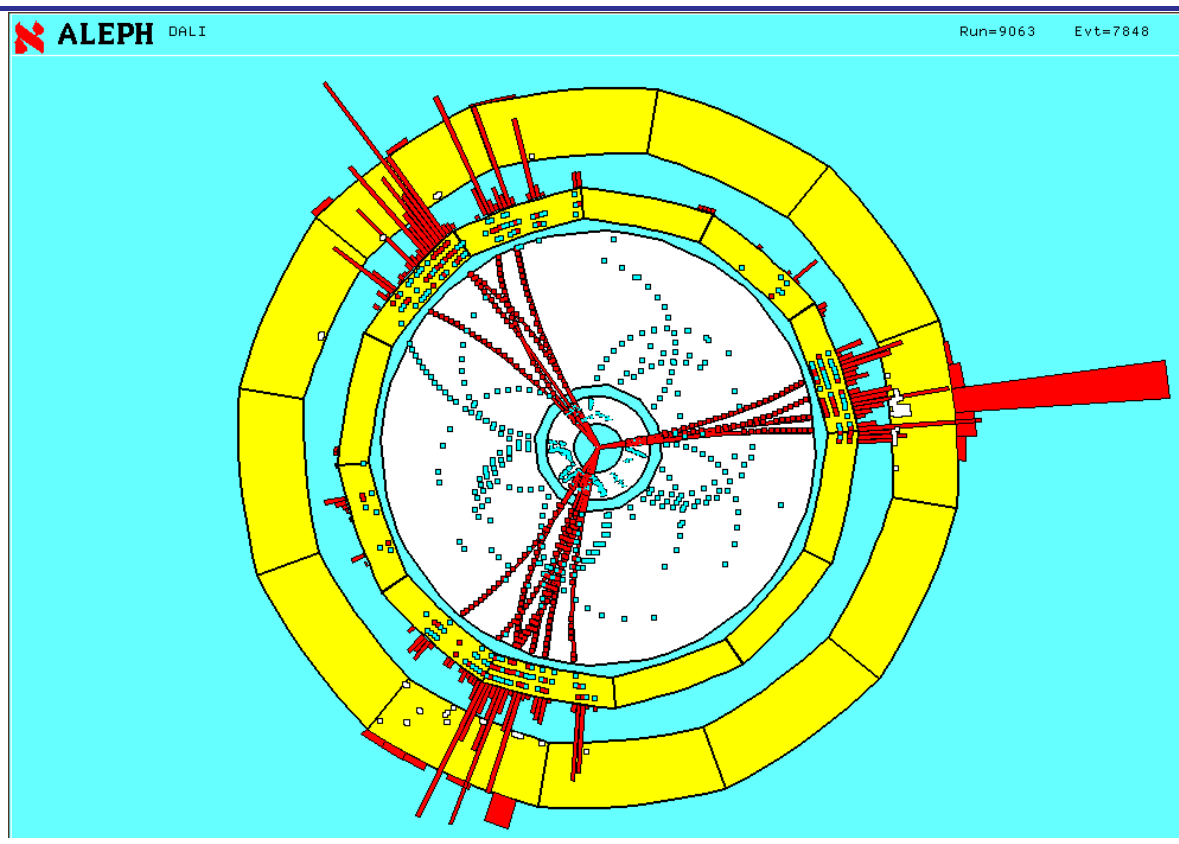
$$\boxed{e^+e^- \longrightarrow \tau^+\tau^-}$$

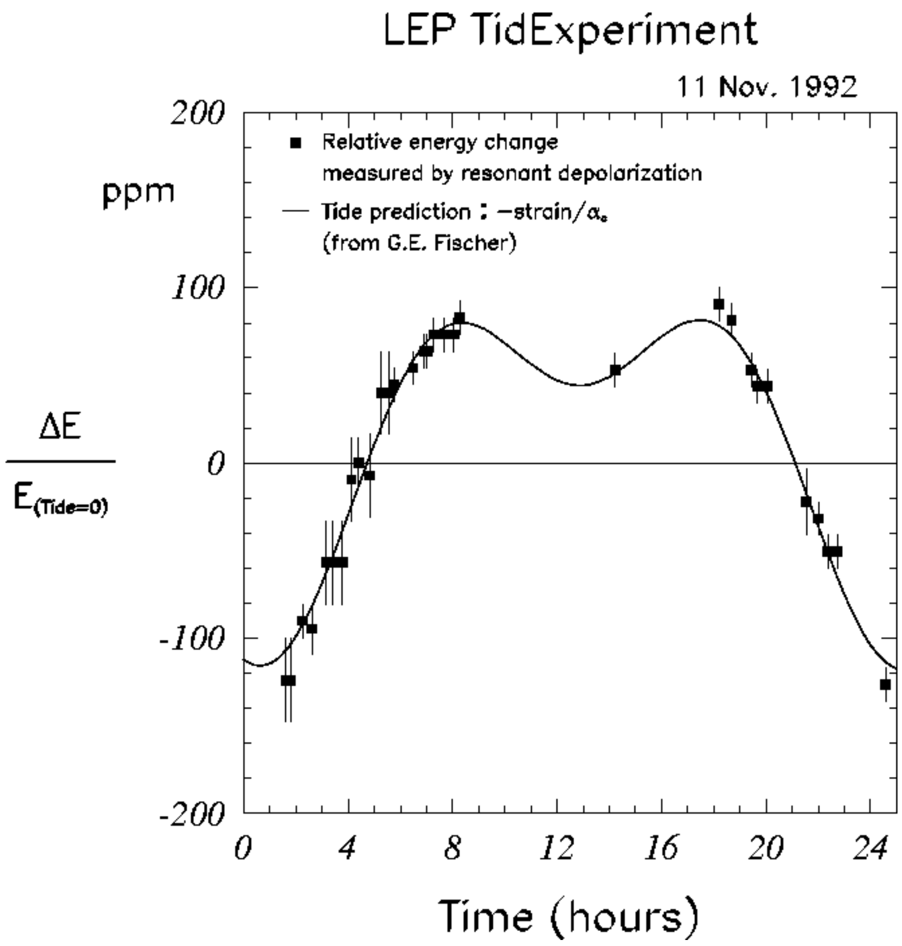


$e^+e^- \longrightarrow q\bar{q} \longrightarrow$ (Hadronen)(Hadronen)

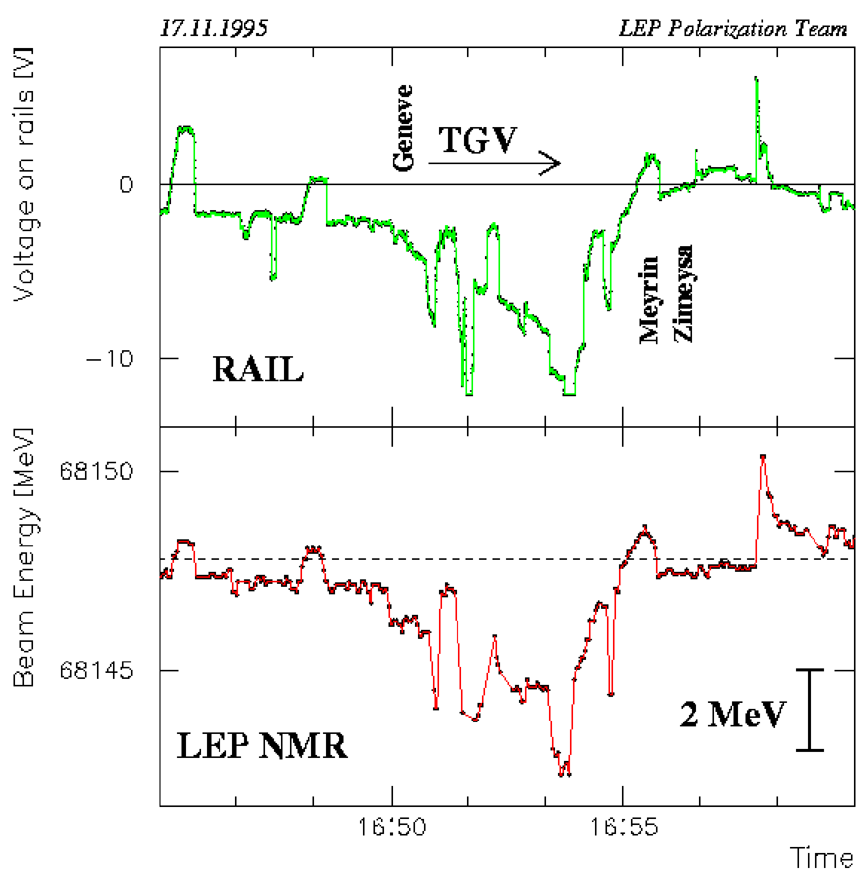


$e^+e^- \longrightarrow q\bar{q}$Gluon $\longrightarrow$ (Hadr.)(Hadr.)(Hadr.)





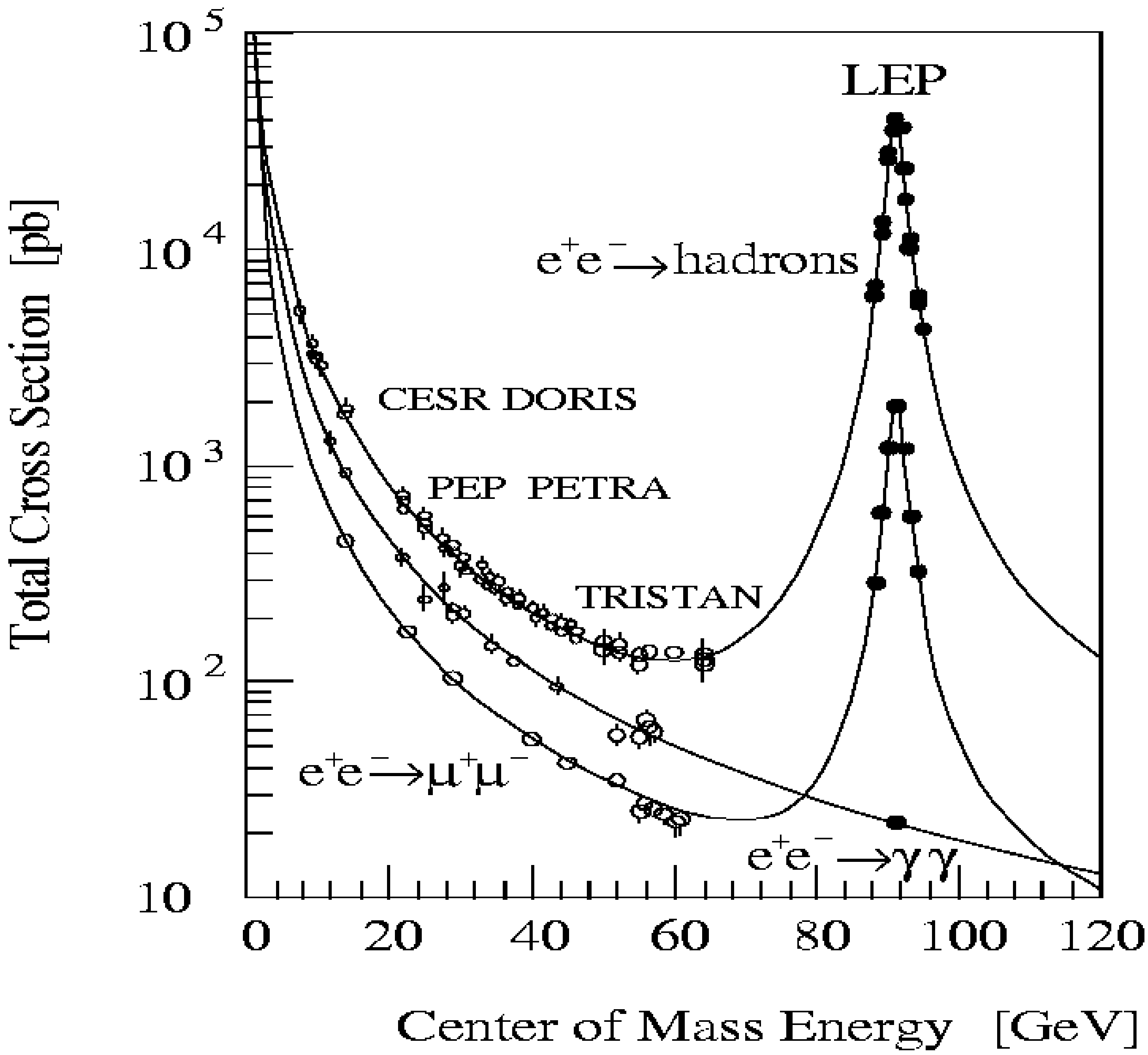
Correlation between trains and LEP energy



Hadronischer Wirkungsquerschnitt

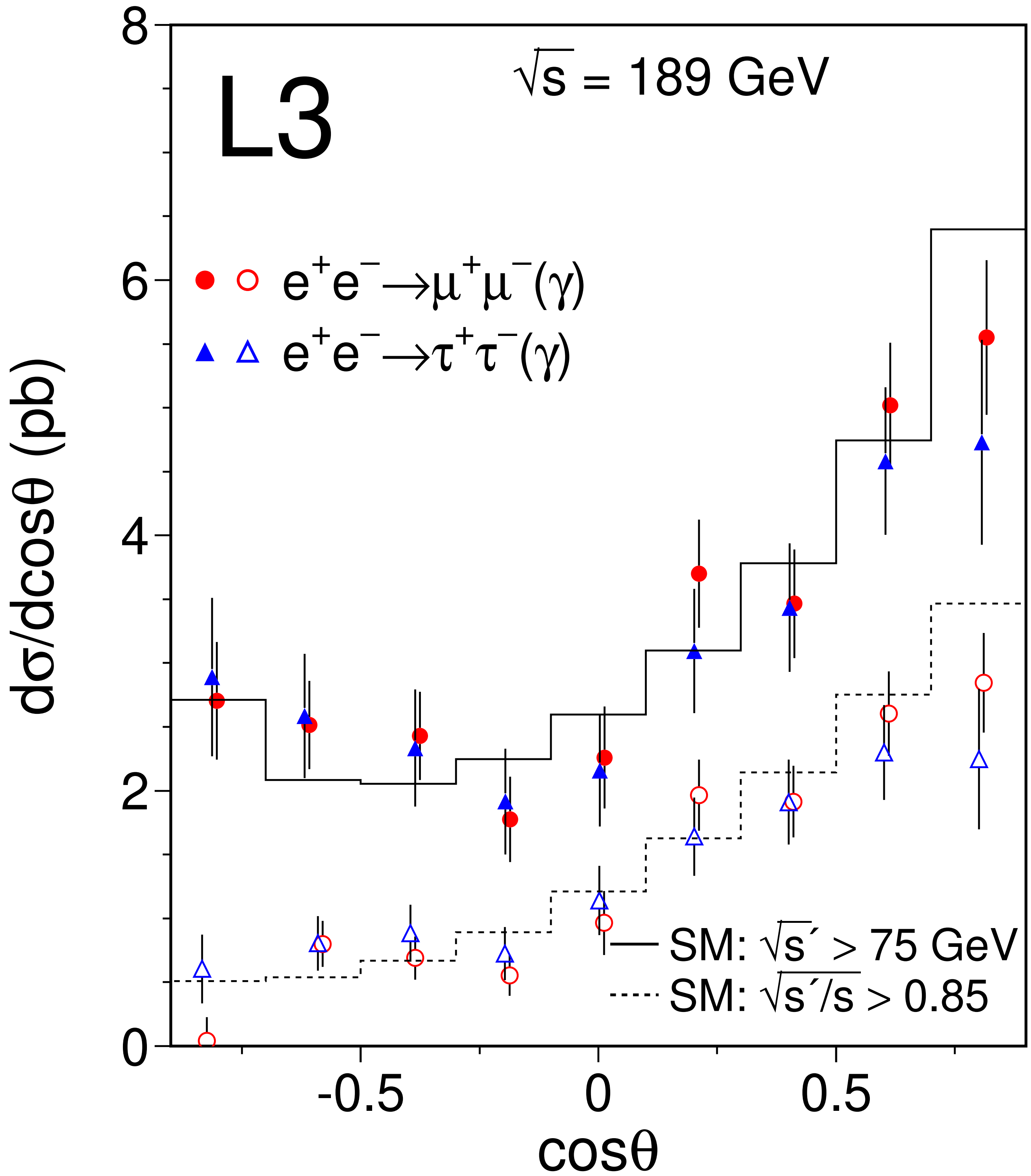
$$\sigma_{\text{had}}(s) = \sum_q \sigma_{q\bar{q}}(s)$$

in der e^+e^--Vernichtung als Funktion der Schwerpunktsenergie:

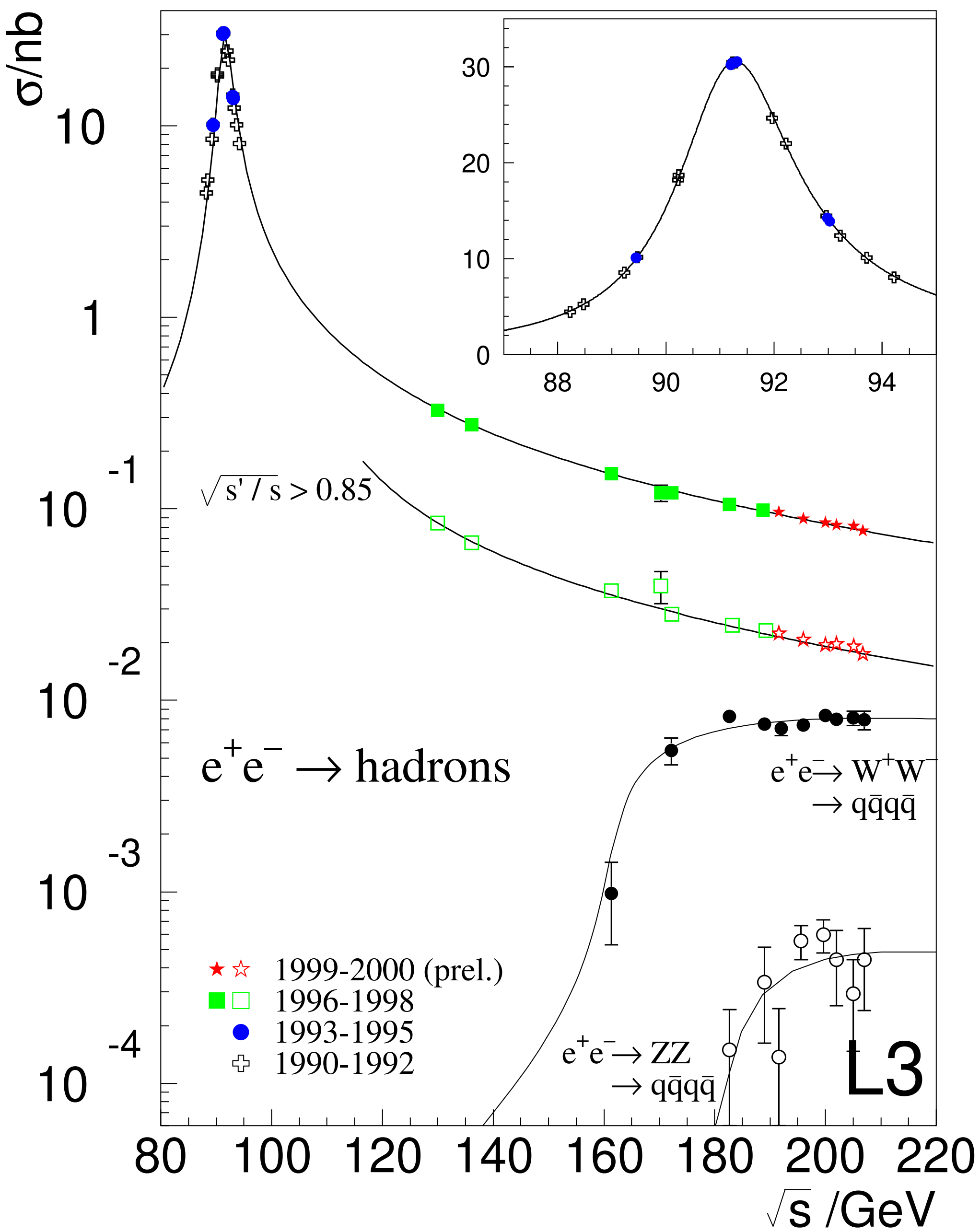


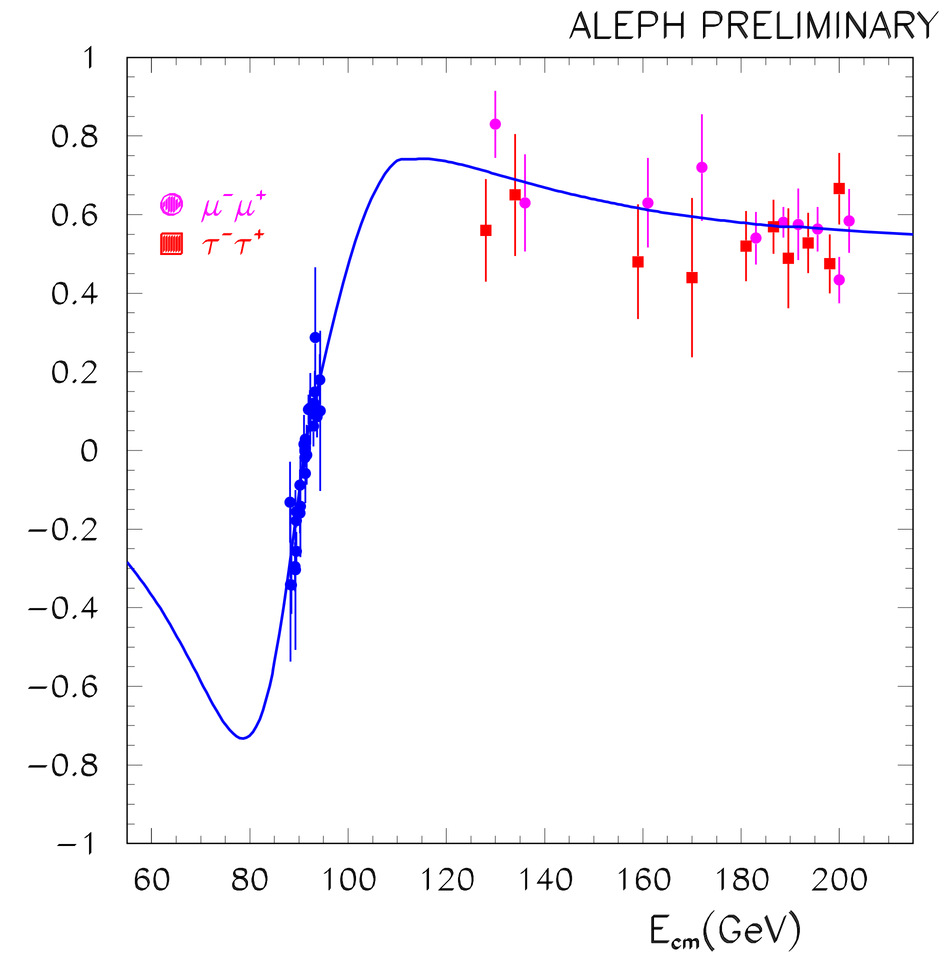
$\Longrightarrow$ Test des Standardmodells durch Messung der Observablen M_Z und Γ_Z, $\sigma_{f\bar{f}}(s = M_Z^2)$, A_{FB}^f ($\Longrightarrow \sin^2\theta_W$) bei der Z^0-Resonanz.

Winkelverteilung mit elektroschwacher Vorwärts-Rückwärts-Asymmetrie A_{FB} in der Lepton-Paarproduktion bei LEP

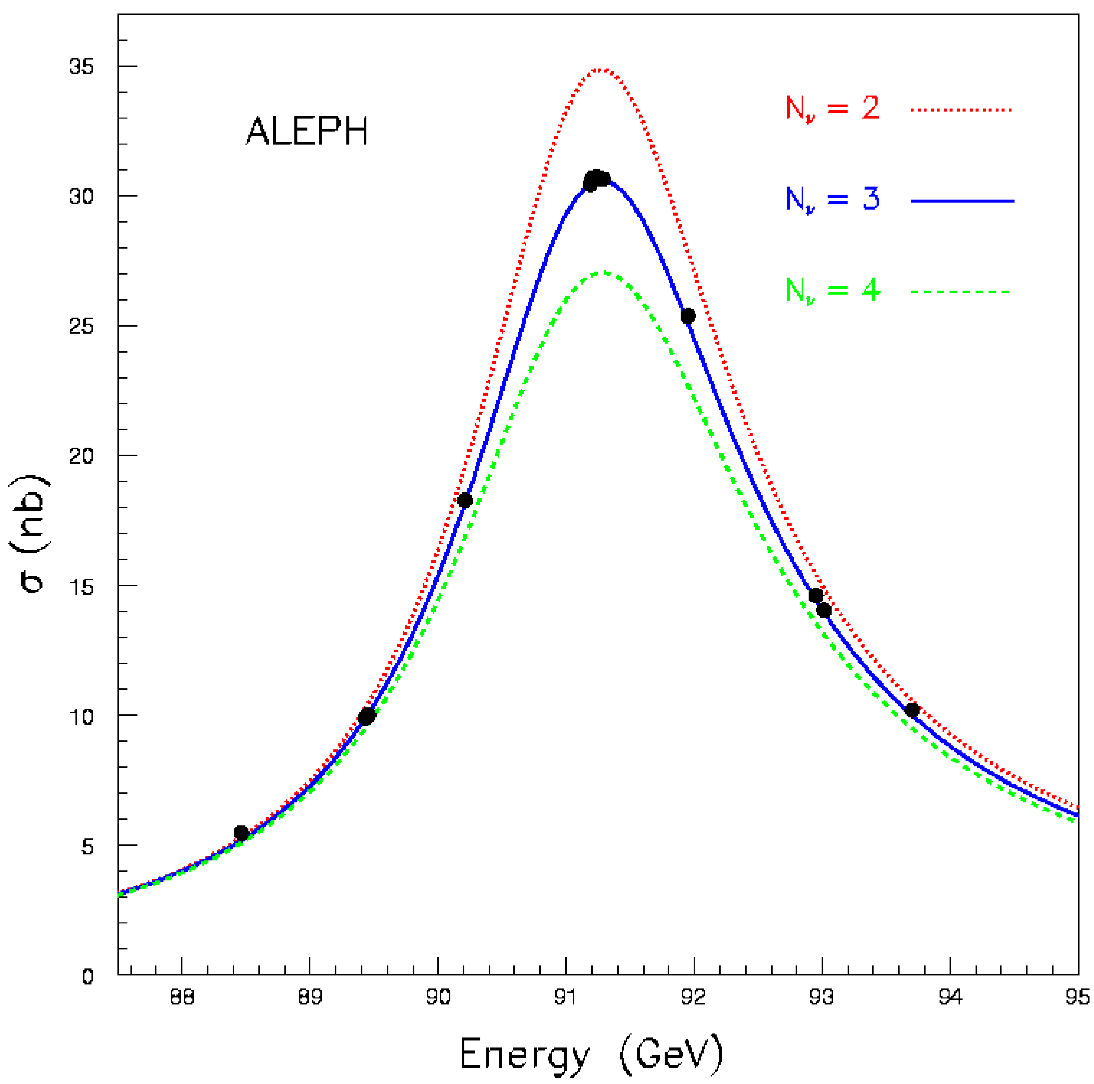


LEPII: 2-fermion





Z^0-Resonanzkurve $\sigma_{\text{had}}(s)$ im e^+e^--Reaktionsquerschnitt, gemessen mit dem ALEPH-Detektor bei LEP:



Gleich nach der Inbetriebnahme der Experimente am e^+e^--Speichering LEP am CERN und gleichzeitig des MARK II-Experiments am e^+e^--Collider SLC am SLAC (Stanford bei San Francisco) 1989 (Schwerpunktsenergie bei der Z^0-Resonanz) konnte die Zahl der leichten Neutrinos N_ν, in die das Z^0-Boson zerfällt ($2m_\nu \leq M_Z$), und damit die Zahl der Quark-Lepton-Generationen präzise gemessen werden,

$$N_\nu = 2.984 \pm 0.008$$

(heute).

Dies geschieht durch Vergleich der gemessenen Resonanzkurve für $\sigma_{\mathrm{had}}(s)$ mit der Vorhersage des Standardmodells für verschiedene Anzahlen von leichten Neutrinos.

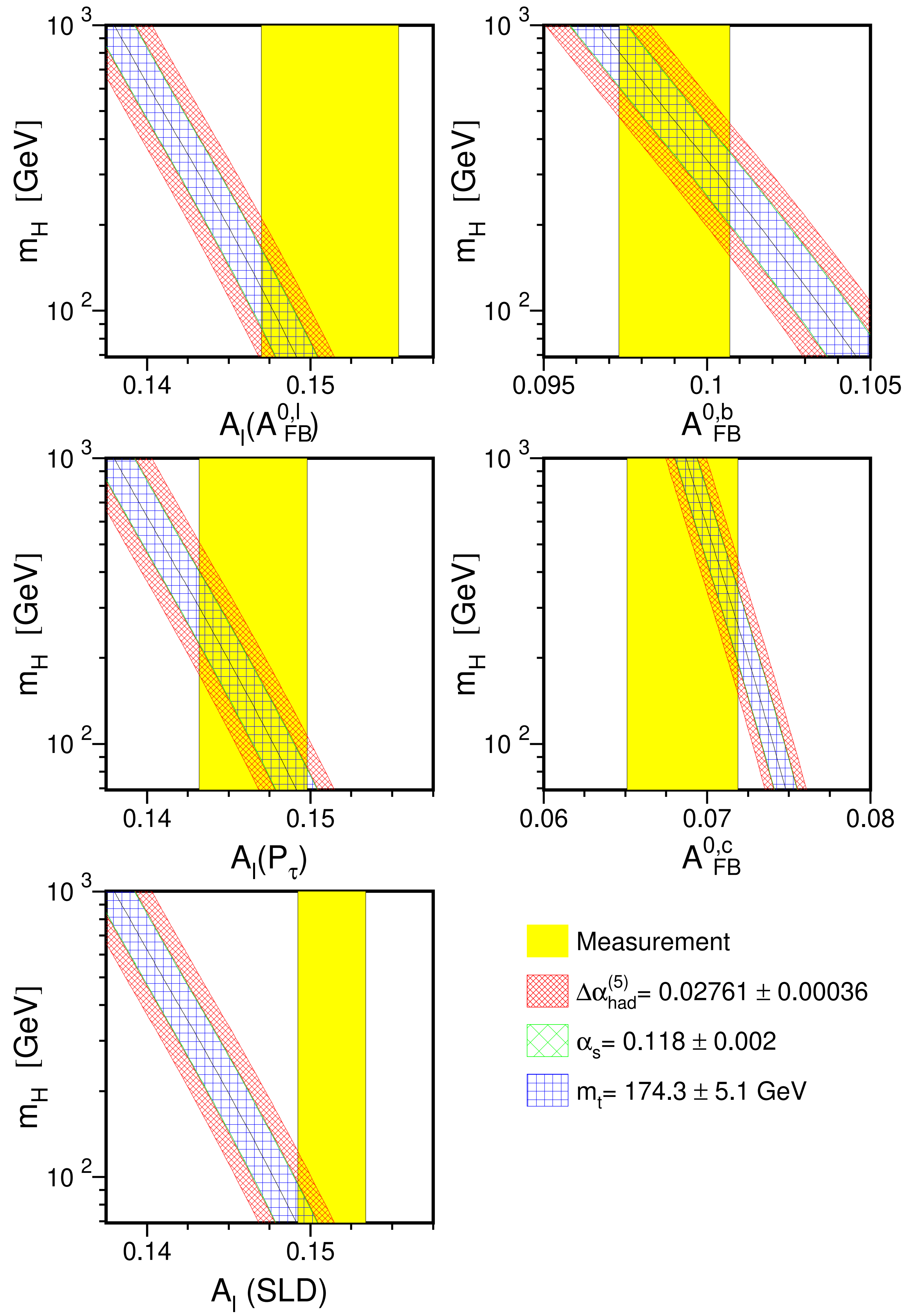
Von der Zahl der Neutrinogenerationen hängt die Gesamtbreite Γ_Z des Z^0-Bosons ab, nicht aber Γ_{had}, da Quarks eventueller neuer Generationen bei LEP nicht beobachtet wurden und ihre Massen so groß sein müßten, daß das Z^0-Boson im Ruhesystem nicht in sie zerfallen kann. Deshalb nimmt mit der Zahl der Neutrinogenerationen die Breite der Resonanz zu und entsprechend der Resonanzquerschnitt

$$\sigma^0_{\mathrm{had}} = \frac{12\pi\Gamma_Z^e\Gamma_Z^{\mathrm{had}}}{M_Z^2\Gamma_Z^2}$$

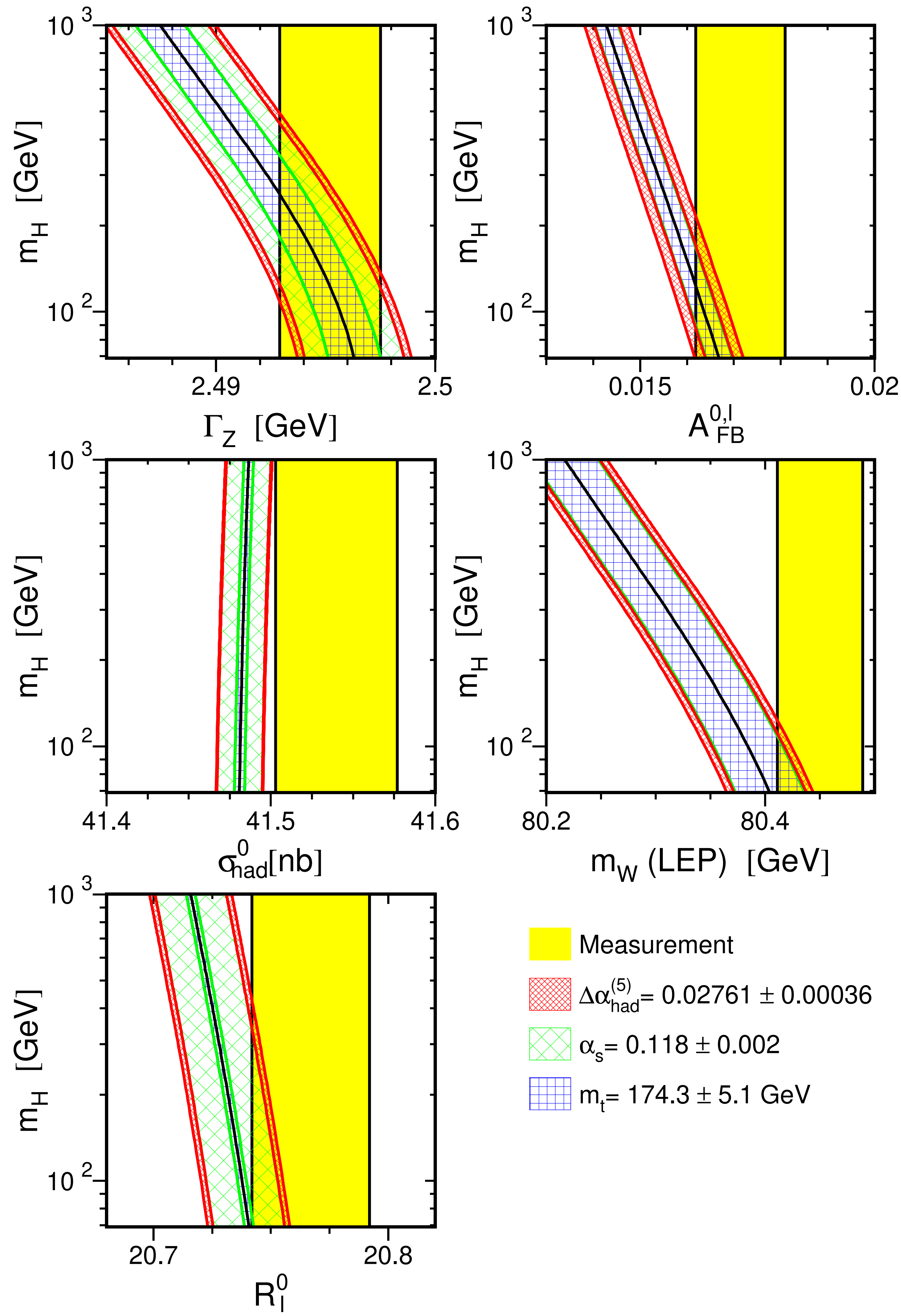
ab.

Präzisionsmessungen der Parameter des Z^0-Produktionsquerschnitts bei der Resonanz bei LEP I (und SLC) im Vergleich mit den Vorhersagen des Standardmodells der elektroschwachen und der starken Wechselwirkung in Abhängigkeit von der Masse des Higgs-Bosons:

Preliminary



Preliminary



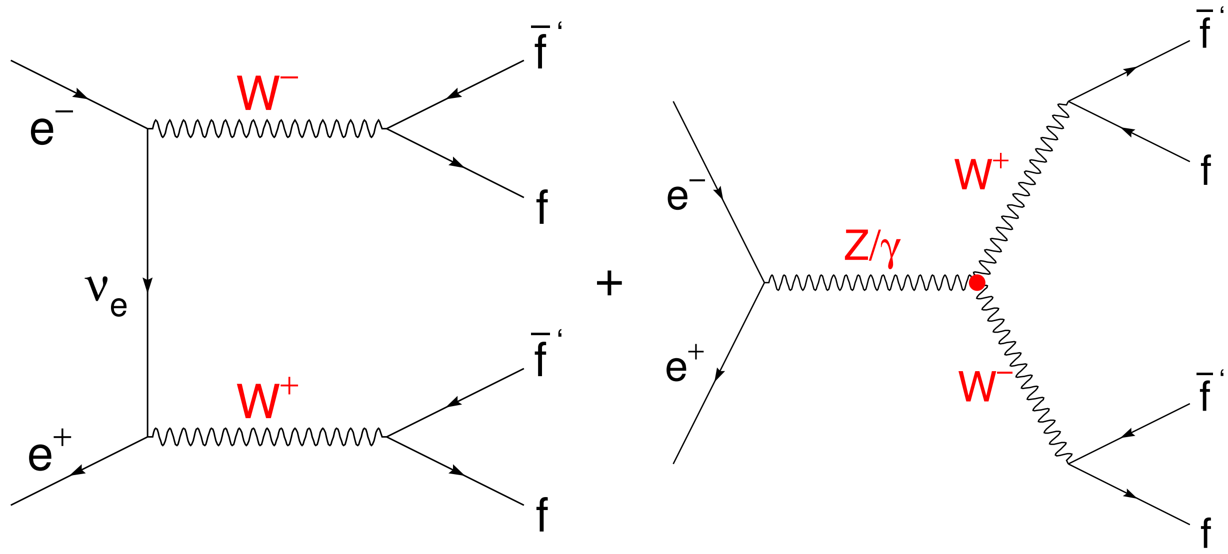
4.2.2 Messungen der W-Boson-Produktion

Von 1996 bis November 2000 wurde die Schwerpunktsenergie des LEP-Speicherrings in mehreren Schritten, 130, 161, 172 GeV (1996), 183 GeV (1997), 189 GeV (1998), 192, 196, 200, 202 GeV (1999), bis auf das Maximum von 208 GeV (2000) erhöht durch Einbau supraleitender RF-Resonatoren als Beschleunigungsstrecken.

Damit konnte die Schwelle zur Erzeugung von W^+W^--Paaren in der e^+e^--Vernichtung und damit die $W^\pm$-Masse präzise vermessen werden.

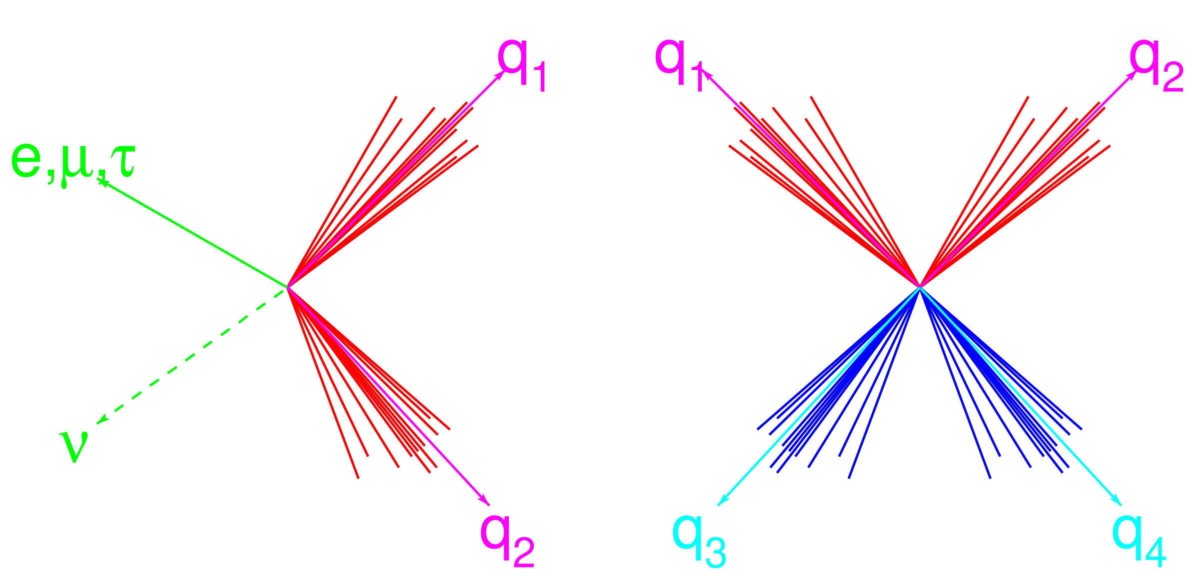
W- Boson- Produktion bei LEP

- W^+W^- -Produktion in niedrigster Ordnung :



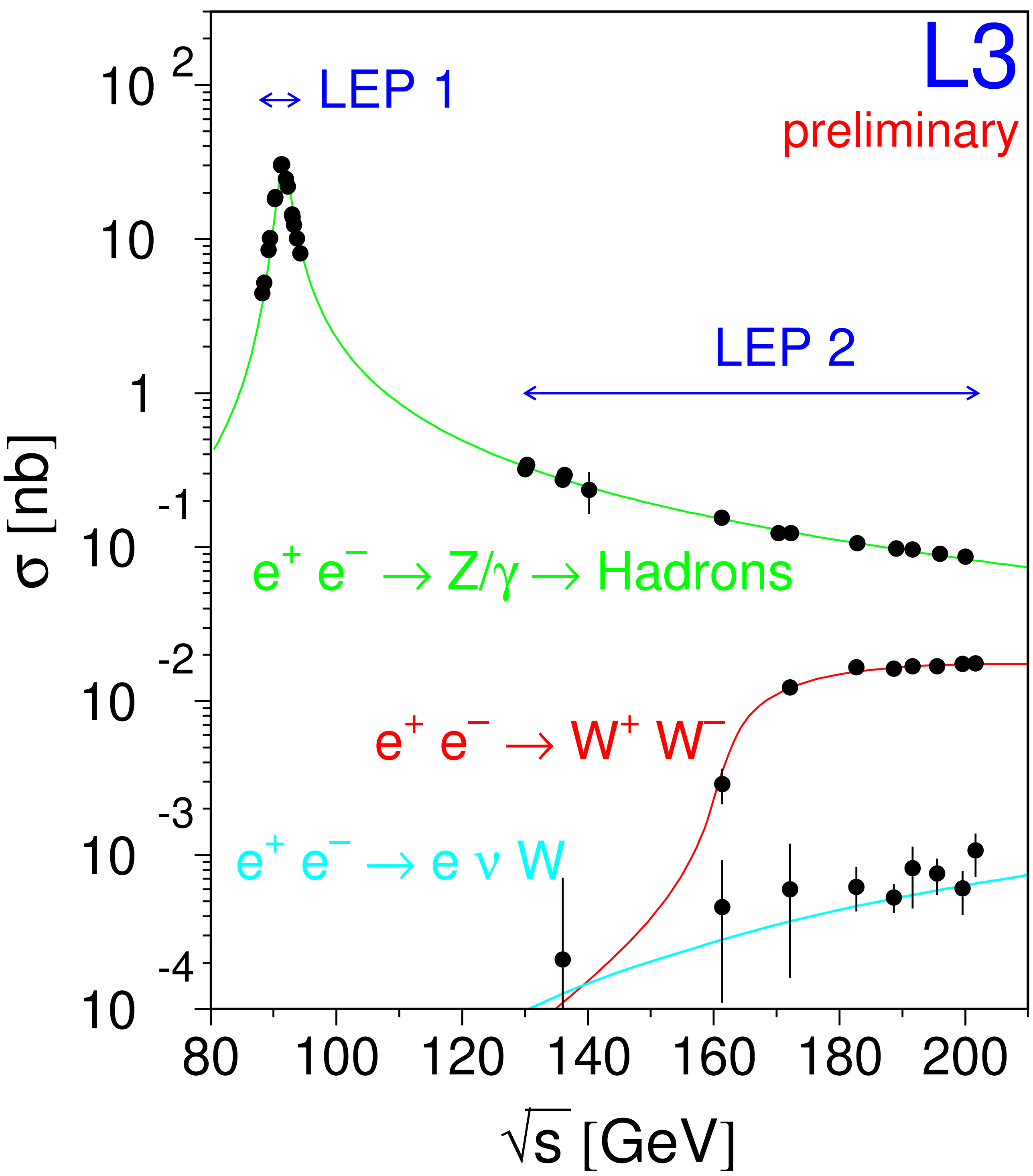
- W^+W^- -Zerfaelle :

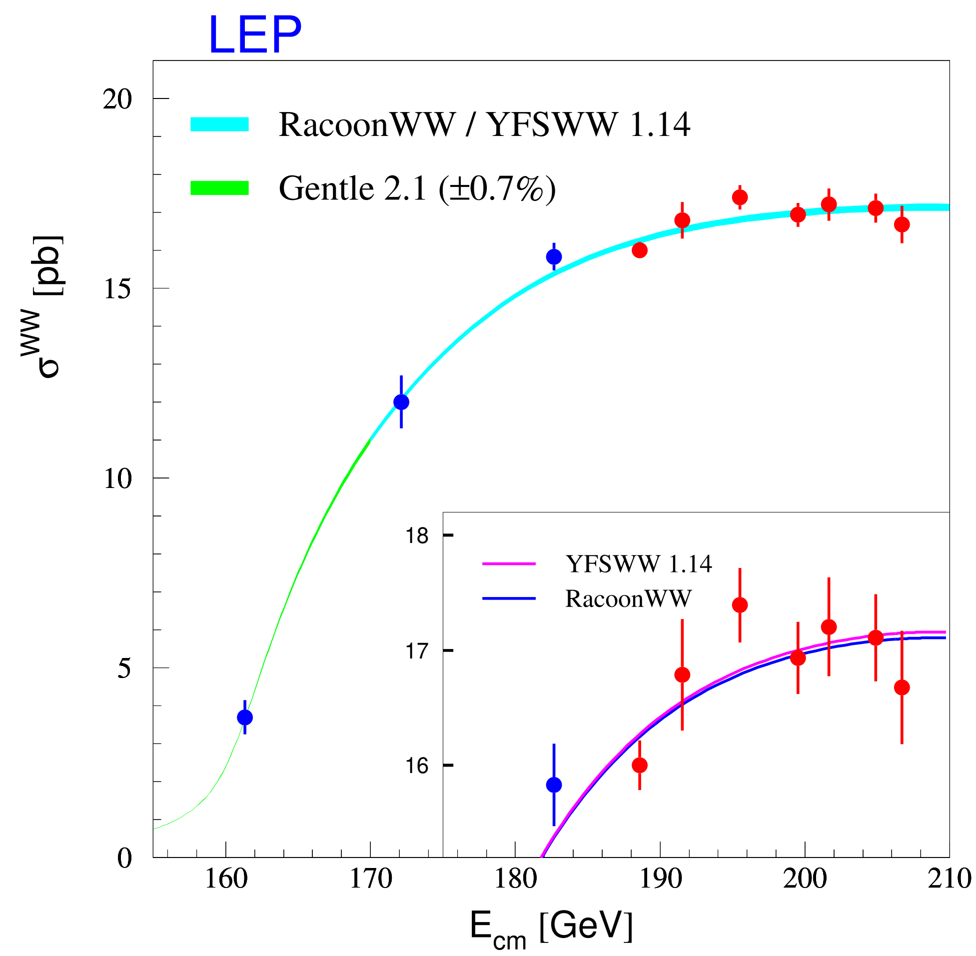
$WW \longrightarrow qqqq$		45.6 %
$WW \longrightarrow qq\ell\nu$	$\left\{\begin{array}{c} qqe\nu \\ qq\mu\nu \\ qq\tau\nu \end{array}\right\}$	43.8 %
$WW \longrightarrow \ell\nu\ell\nu$		10.6 %

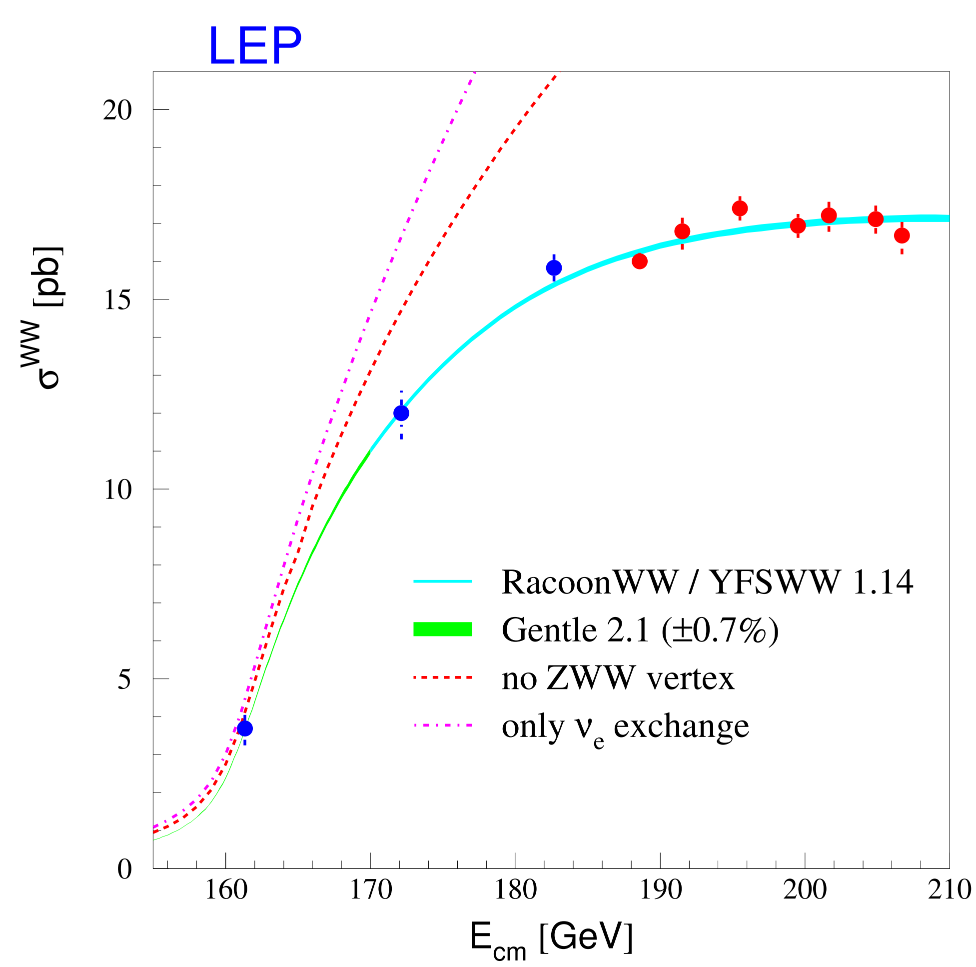


semileptonisch hadronisch

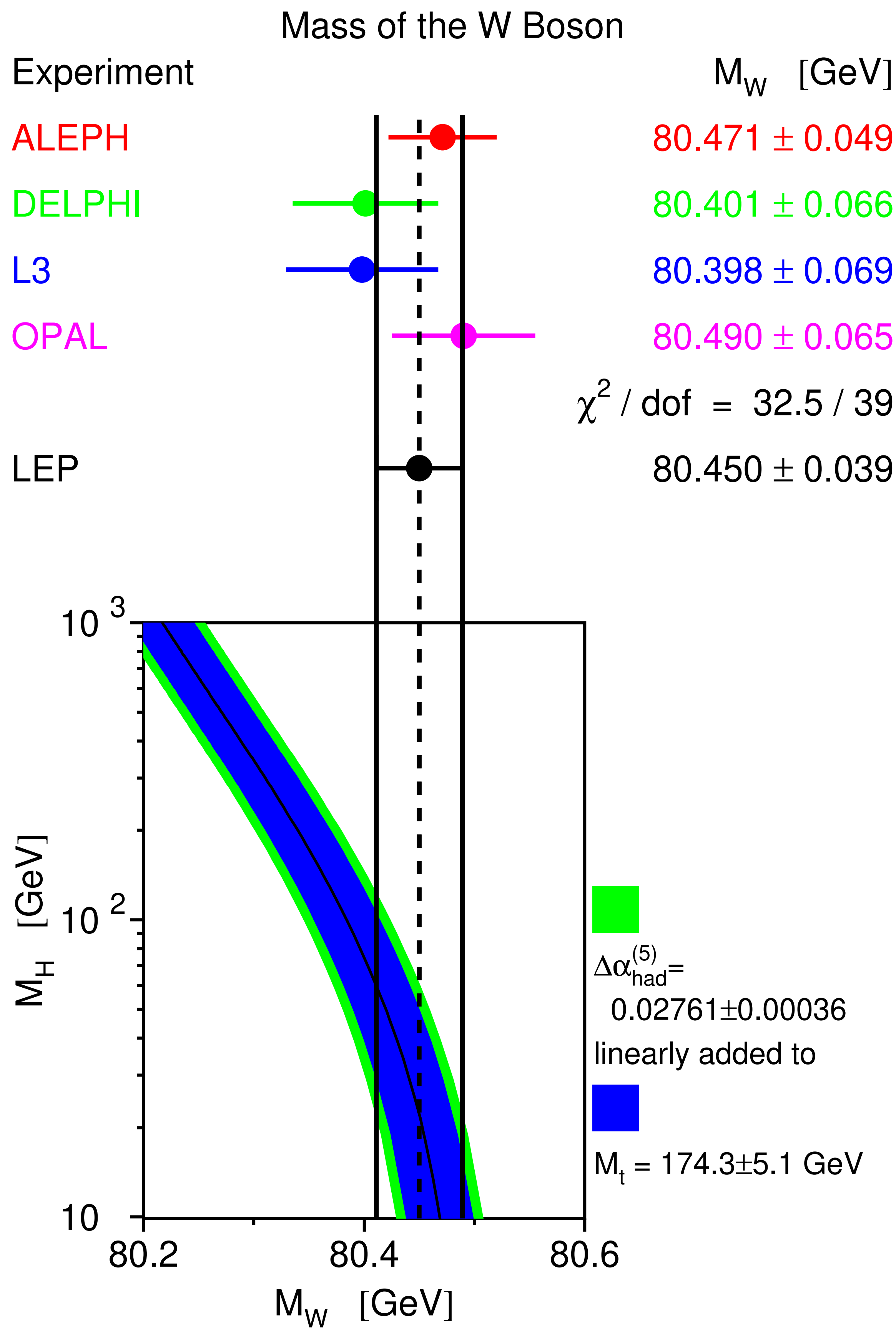
W- Boson- Produktion bei LEP

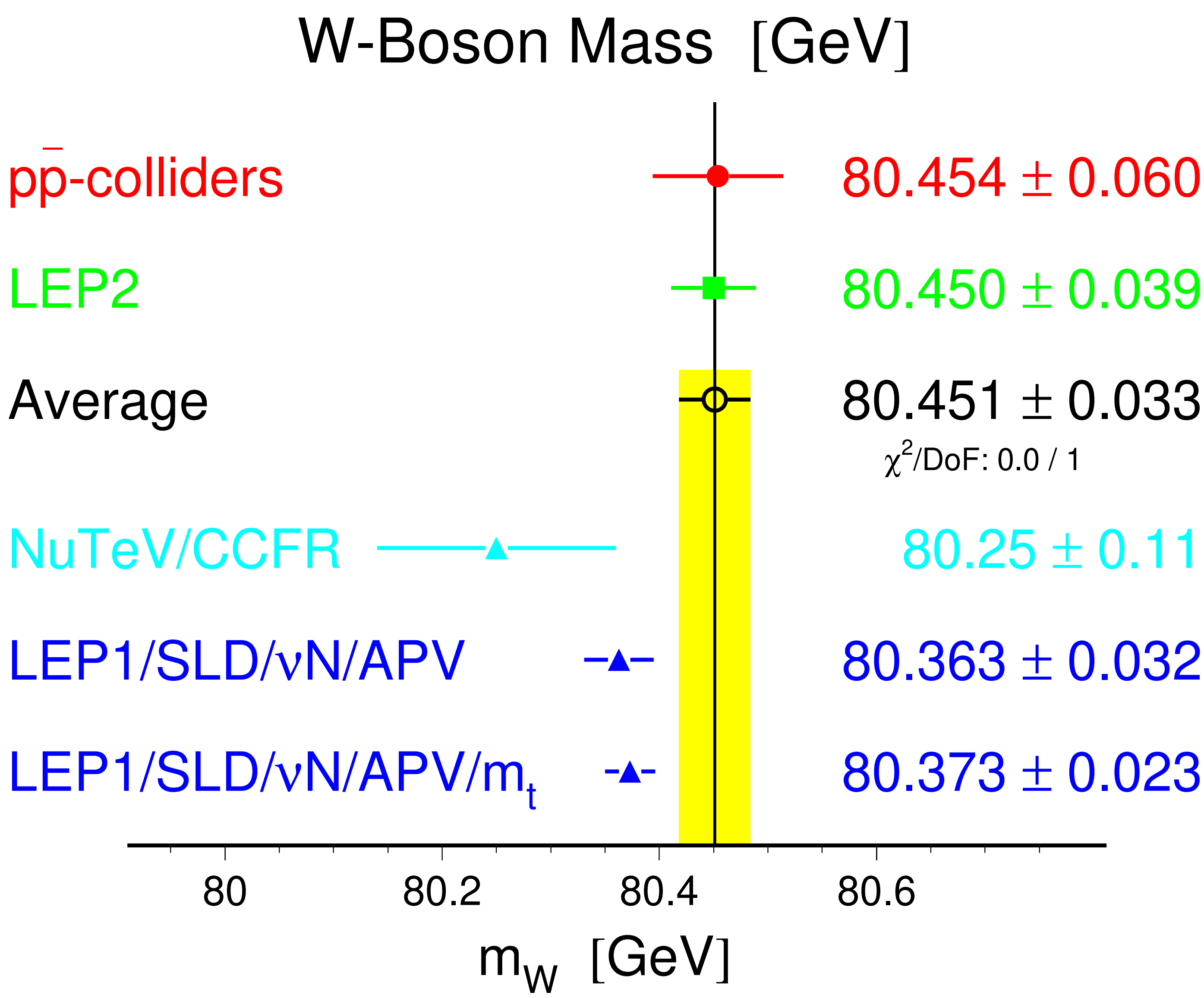



LEP
RacoonWW / YFSWW 1.14
Gentle 2.1 (±0.7%)
YFSWW 1.14
RacoonWW
σ^WW [pb]
E_cm [GeV]

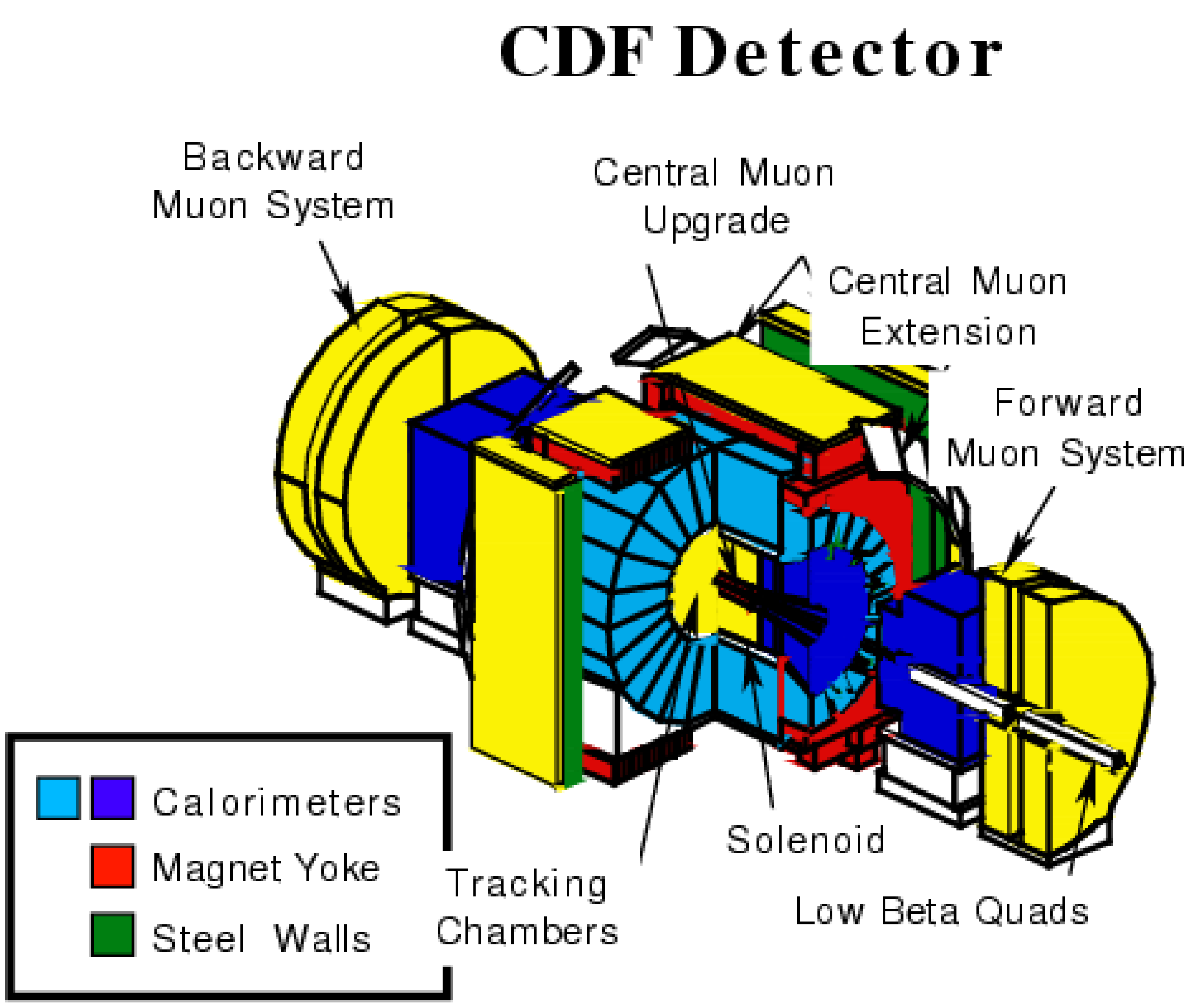

LEP
RacoonWW / YFSWW 1.14
Gentle 2.1 (±0.7%)
no ZWW vertex
only ν_e exchange
σ^WW [pb]
E_cm [GeV]

Messungen der W-Boson-Masse bei LEP II (Experimente ALEPH, DELPHI, L3, OPAL) und bei den $p\overline{p}$-Collidern SPS (Experimente UA1 und UA2) und TEVATRON (Experimente CDF und D0):




W-Boson Mass [GeV]
pp̄-colliders
80.454 ± 0.060
LEP2
80.450 ± 0.039
Average
80.451 ± 0.033
χ²/DoF: 0.0 / 1
NuTeV/CCFR
80.25 ± 0.11
LEP1/SLD/νN/APV
80.363 ± 0.032
LEP1/SLD/νN/APV/m_t
80.373 ± 0.023
80
80.2
80.4
80.6
m_W [GeV]

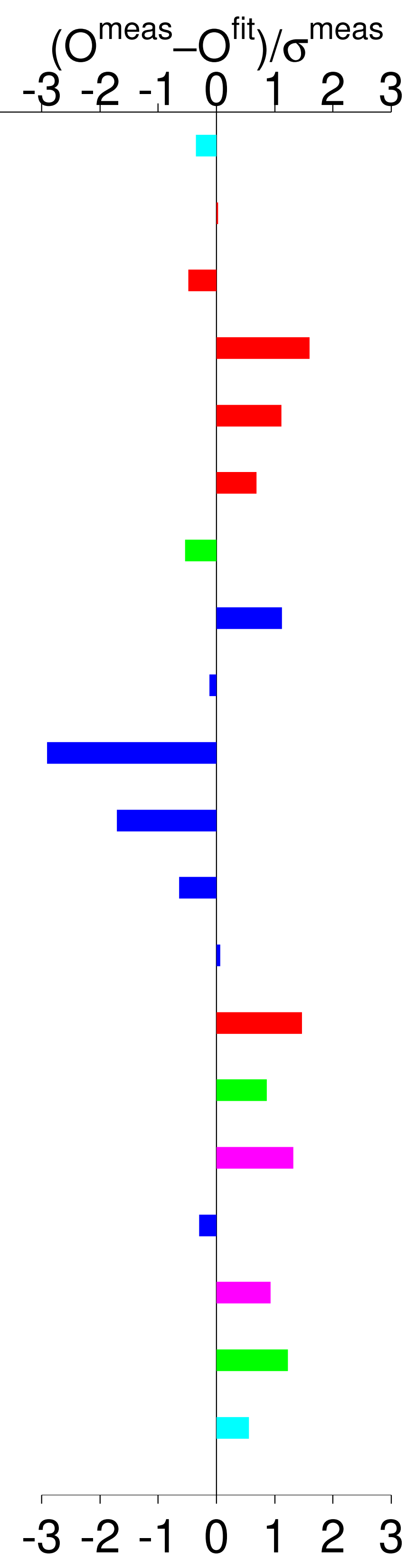
Der CDF-Detektor am TEVATRON



Präzisionstests des Standardmodells
Vergleich Theorie–Experiment

Summer 2001

	Measurement	Pull
$\Delta\alpha^{(5)}_{had}(m_Z)$	0.02761 ± 0.00036	-.35
m_Z [GeV]	91.1875 ± 0.0021	.03
Γ_Z [GeV]	2.4952 ± 0.0023	-.48
σ^0_{had} [nb]	41.540 ± 0.037	1.60
R_l	20.767 ± 0.025	1.11
$A^{0,l}_{fb}$	0.01714 ± 0.00095	.69
$A_l(P_\tau)$	0.1465 ± 0.0033	-.54
R_b	0.21646 ± 0.00065	1.12
R_c	0.1719 ± 0.0031	-.12
$A^{0,b}_{fb}$	0.0990 ± 0.0017	-2.90
$A^{0,c}_{fb}$	0.0685 ± 0.0034	-1.71
A_b	0.922 ± 0.020	-.64
A_c	0.670 ± 0.026	.06
A_l(SLD)	0.1513 ± 0.0021	1.47
$\sin^2\theta^{lept}_{eff}(Q_{fb})$	0.2324 ± 0.0012	.86
$m_W^{(LEP)}$ [GeV]	80.450 ± 0.039	1.32
m_t [GeV]	174.3 ± 5.1	-.30
$m_W^{(TEV)}$ [GeV]	80.454 ± 0.060	.93
$\sin^2\theta_W(\nu N)$	0.2255 ± 0.0021	1.22
Q_W(Cs)	-72.50 ± 0.70	.56



In der 2. Ordnung der Störungstheorie der elektroschwachen Wechselwirkung (Strahlungskorrekturen) zur e^+e^--Vernichtung, werden u.a. virtuelle W-Bosonen, top-Quarks und Higgs-Bosonen ausgetauscht, die bei LEP noch nicht direkt erzeugt werden konnten. Die Beiträge der Strahlungskorrekturen hängen von den Massen M_W und m_t (quadratisch, stark) und M_H (logarithmisch, schwach) ab.
Der Vergleich mit den Präzisionsmessungen erlaubt daher die indirekte Bestimmung von M_W, m_t und M_H:

- Präzise Vorhersage von $M_W = 80.373 \pm 0.023$ GeV

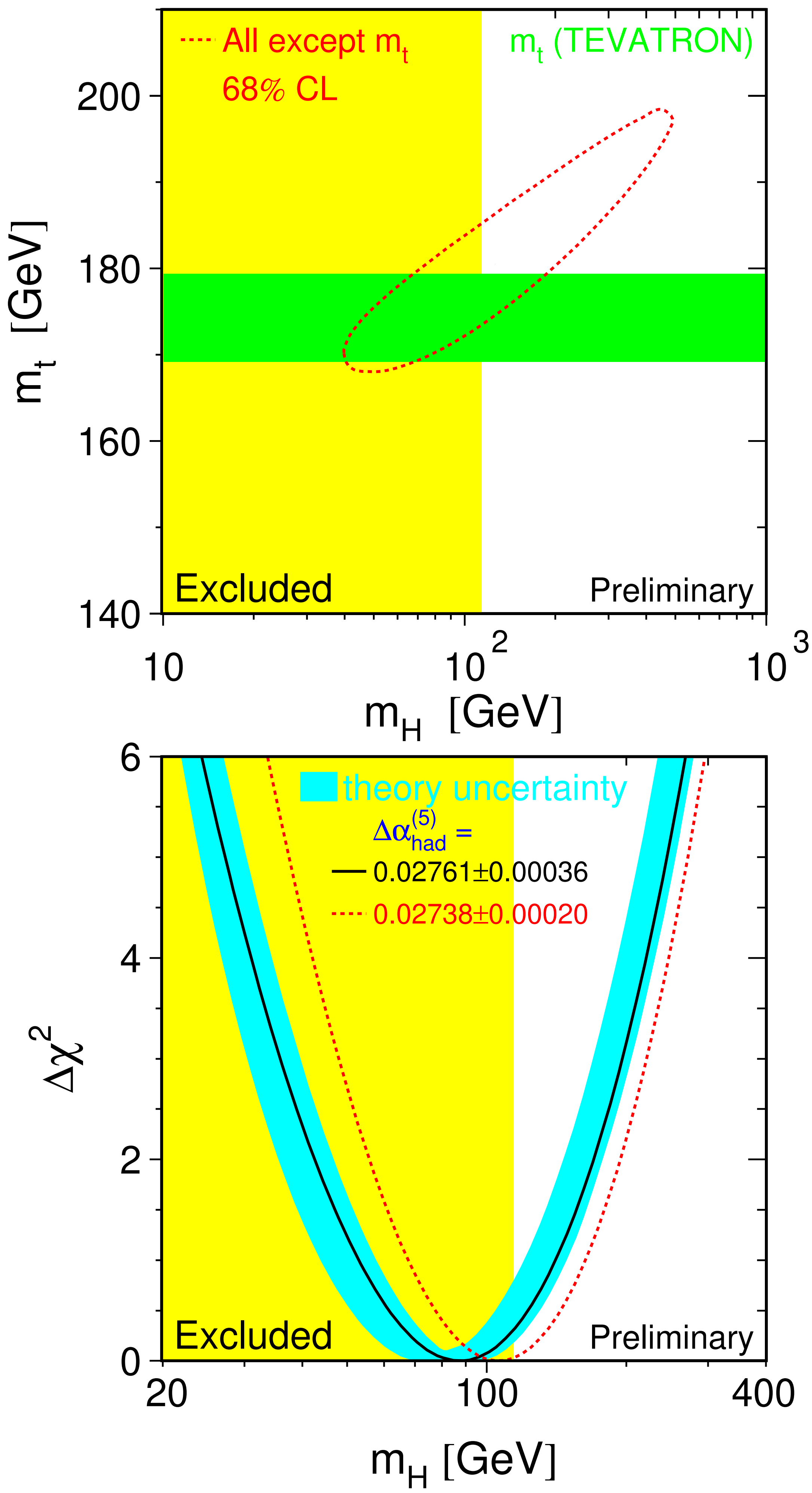
  (direkte Messungen: $M_W = 80.451 \pm 0.033$ GeV).

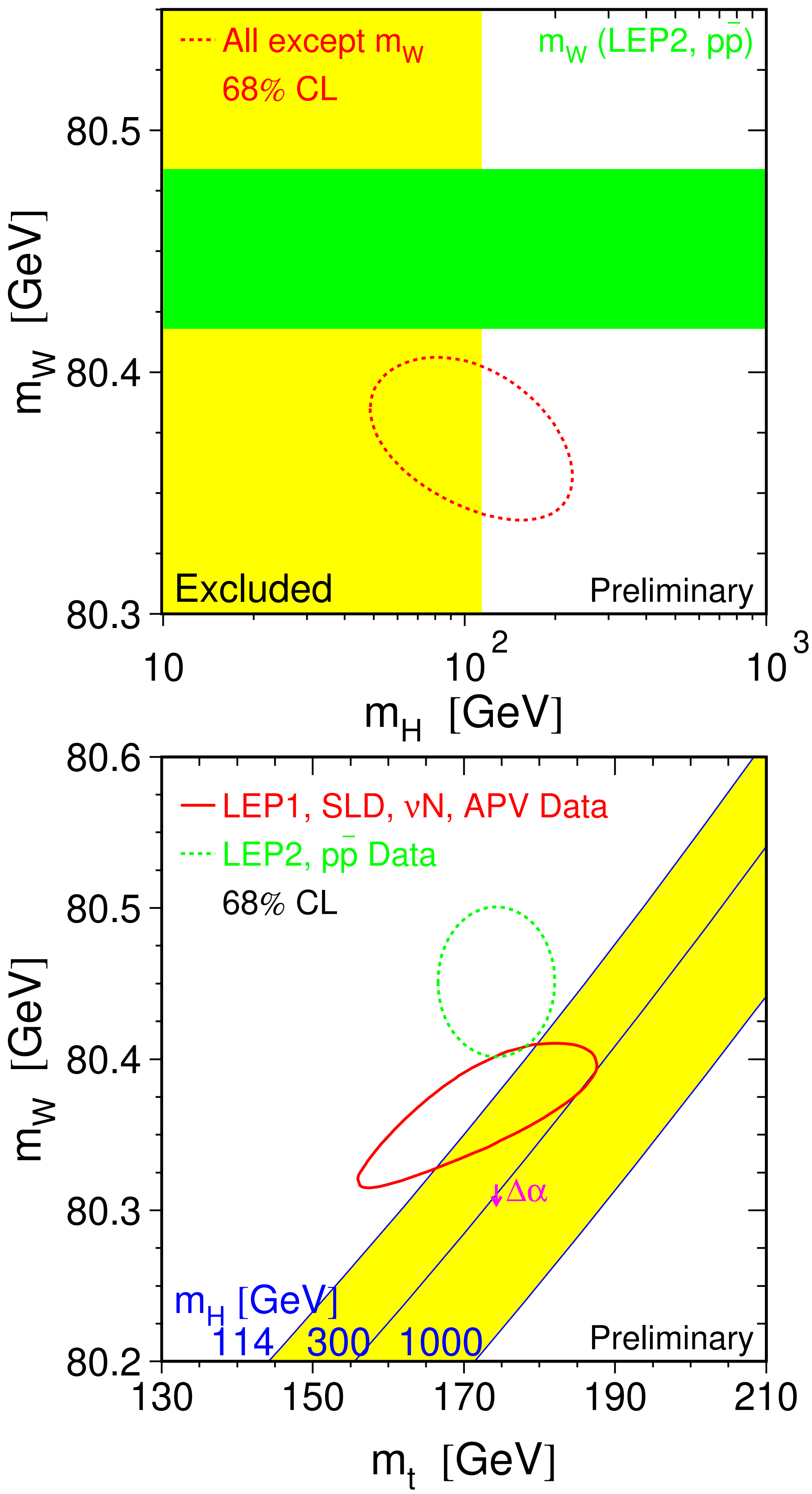
- Präzise Vorhersage von $m_t = 181 \pm 10$ GeV

  (direkte Messung bei der Entdeckung des top-Quarks 1994/95 am TEVATRON: $m_t = 174.3 \pm 5.1$ GeV).

- Die elektroschwachen Präzisionsmessungen bevorzugen eine kleine Masse für das Higgs-Boson unterhalb des unteren Grenzwerts $M_H > 114$ GeV von der direkten Suche bei LEP. Die indirekte obere Grenze ist $M_H < 222$ GeV (95% Konfidenzniveau).

  Sie hängt erheblich von der genauen Messung der elektromagnetischen Feinstrukturkonstanten und ihrer Strahlungskorrekturen (Renormierung, Abschirmung durch Vakuumpolarisation) ab (aktuelle Messungen des Vakuumpolarisationsbeitrags der Quarks am e^+e^--Speicherring BES in Peking bei niedrigen Schwerpunktsenergien).


All except m_t
68% CL
m_t (TEVATRON)
Excluded
Preliminary
m_t [GeV]
m_H [GeV]
theory uncertainty
$\Delta\alpha_{had}^{(5)}$ =
0.02761±0.00036
0.02738±0.00020
Excluded
Preliminary
$\Delta\chi^2$
m_H [GeV]



All except m_W
68% CL
m_W (LEP2, $p\bar{p}$)
Excluded
Preliminary
80.5
80.4
80.3
m_W [GeV]
10
10^2
10^3
m_H [GeV]
LEP1, SLD, νN, APV Data
LEP2, $p\bar{p}$ Data
68% CL
Δα
m_H [GeV]
114 300 1000
Preliminary
80.6
80.5
80.4
80.3
80.2
130 150 170 190 210
m_t [GeV]