Status des Standardmodells und die Suche nach dem Higgs-Boson

Joachim Mnich

III. Phys. Inst. B

RWTH Aachen

Aachen, 15. Mai 2000

Inhalt:

- Test des SM der elektroschwachen Wechselwirkung in der e^+e^--Vernichtung (LEP)
- Das Higgs Boson im SM
- Indirekte Bestimmung der Higgs Masse
- Suche nach Higgs Bosonen
- Ausblick

LEP:

Large Electron-Positron Collider beim CERN in Genf

- e^+e^--Speicherring, 27 km Umfang
- 4 Detektoren: ALEPH, DELPHI, L3, OPAL
- maximale Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} > 200$ GeV
- seit 1989 in Betrieb

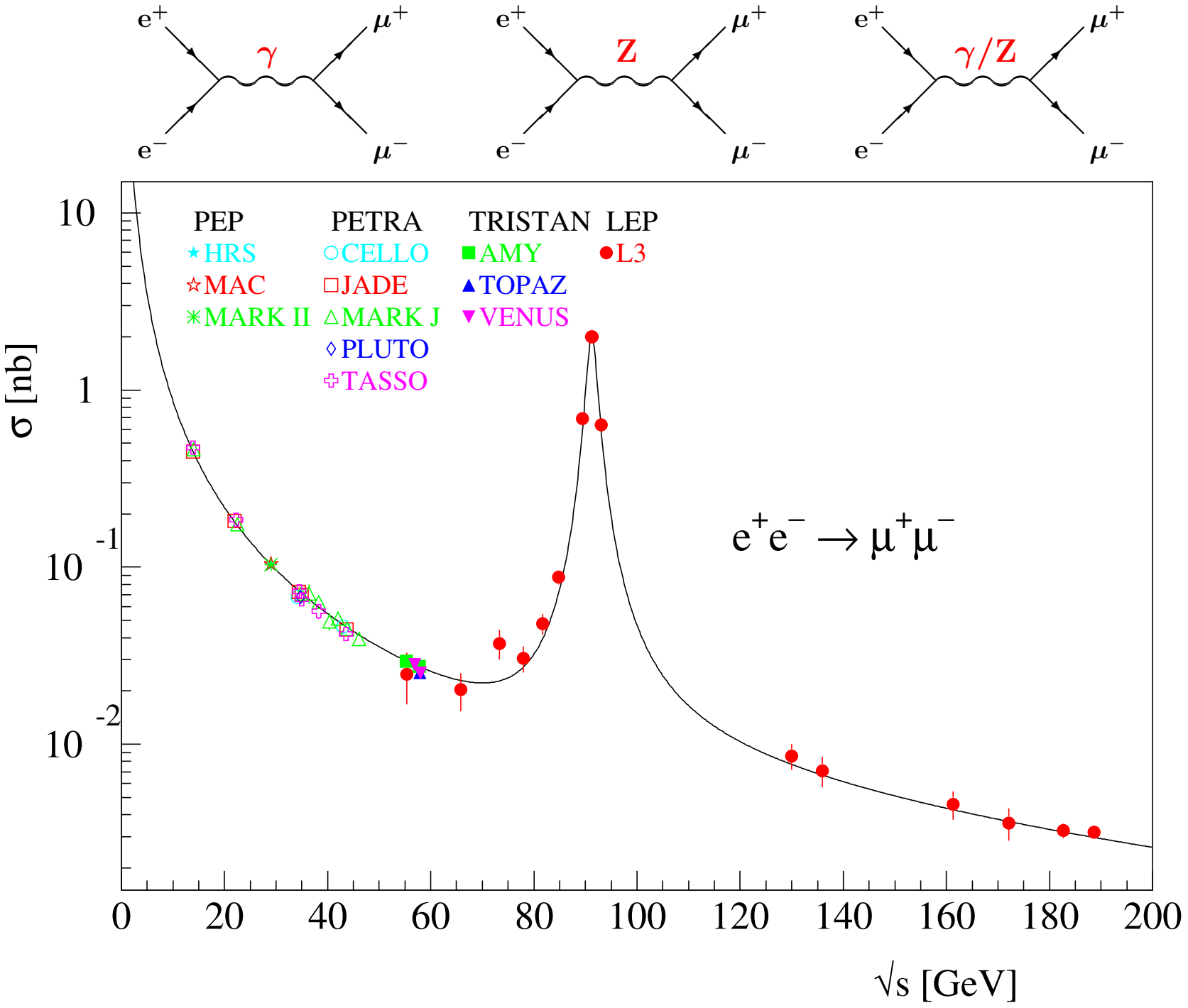
Zweistufiges Experimentierprogramm:

LEP I 1989-1995 $\quad \sqrt{s} \approx m_Z = 91$ GeV

- Massenproduktion von Z Bosonen
  ($\approx$ 17 Million beobachtete Ereignisse)
  - präzise Bestimmung der Eigenschaften des Z Bosons: Masse, Breite, Zahl der Neutrinofamilien
  - genaue Überprüfung vieler SM Voraussagen
- viele andere Themen:
  b- und c-Quark Physik, Eigenschaften des Tau-Leptons, QCD, Messung von α_s, Suche nach neuen Teilchen, ...

LEP II 1995-2000 $\quad 2\,m_W < \sqrt{s} \lesssim 206$ GeV

- Produktion von W Bosonen $e^+e^- \to W^+W^-$
  Messung der W Masse und Kopplungen
- Überprüfung des SM bei $\sqrt{s} > m_Z$
- Suche nach dem Higgs Boson bis $m_H \approx 110$ GeV
- Suche nach SUSY Teilchen
- Suche nach anderen neuen Teilchen, 2-Photon, ...


e+
e−
μ+
μ−
γ
Z
γ/Z
PEP
PETRA
TRISTAN
LEP
HRS
MAC
MARK II
CELLO
JADE
MARK J
PLUTO
TASSO
AMY
TOPAZ
VENUS
L3
σ [nb]
10
1
10-1
10-2
e+e− → μ+μ−
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
√s [GeV]

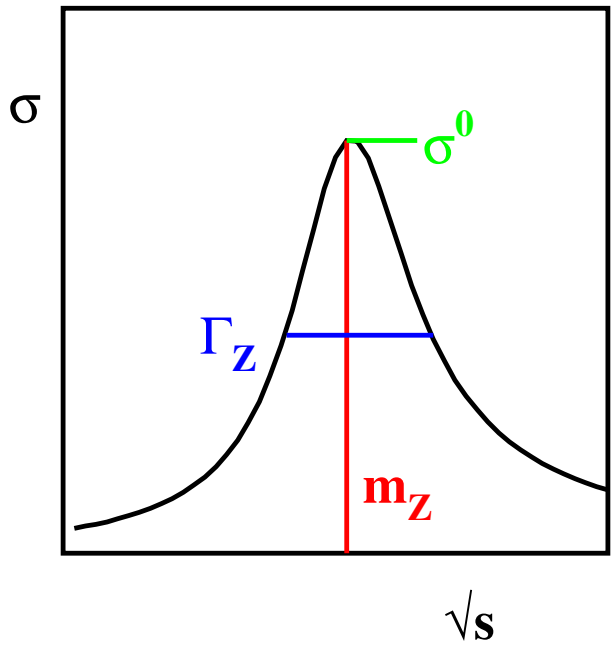
Messungen der totalen Wirkungsquerschnitte

$$e^+e^- \to \text{hadrons} \qquad e^+e^- \to e^+e^-$$
$$e^+e^- \to \mu^+\mu^- \qquad e^+e^- \to \tau^+\tau^-$$

bei $\sqrt{s} \approx m_Z$ bestimmen:

- Masse des Z Bosons m_Z
- Totale Breite Γ_Z
- Partielle Breiten Γ_f:

$$\sigma_f^0(m_Z^2) = \frac{12\,\pi}{m_Z^2} \cdot \frac{\Gamma_e\,\Gamma_f}{\Gamma_Z^2} \qquad \text{(1. Ordnung)}$$



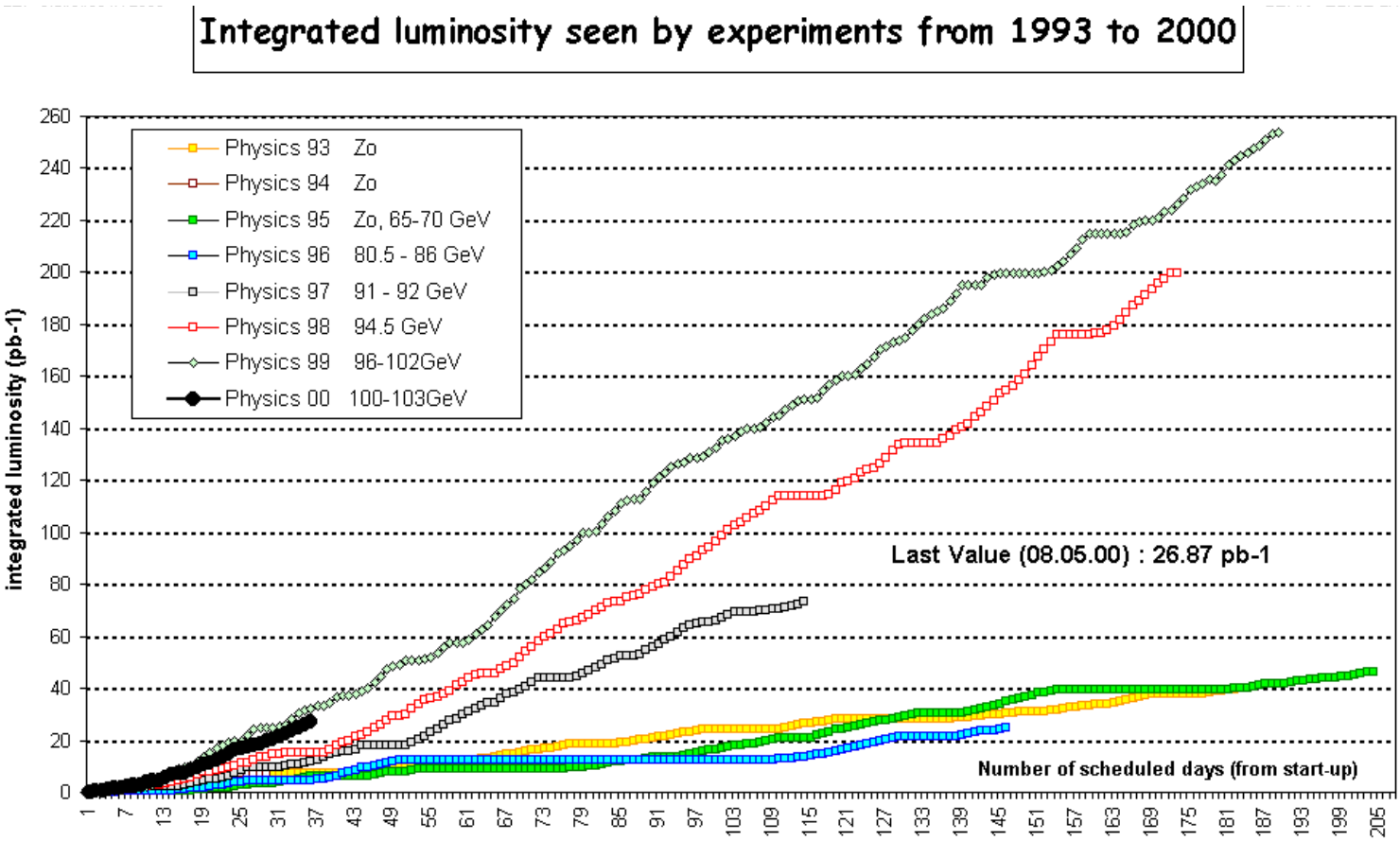
$$m_Z = 91\,187.1 \pm 2.1 \text{ MeV} \qquad \Gamma_{had} = 1743.9 \pm 2.0 \text{ MeV}$$
$$\Gamma_Z = 2\,494.4 \pm 2.4 \text{ MeV} \qquad \Gamma_\ell = 83.959 \pm 0.089 \text{ MeV}$$

Zahl der Neutrino-Familien:

$$N_\nu = 2.9835 \pm 0.0083$$

Schwerpunktsenergien und Luminositäten pro Experiment:

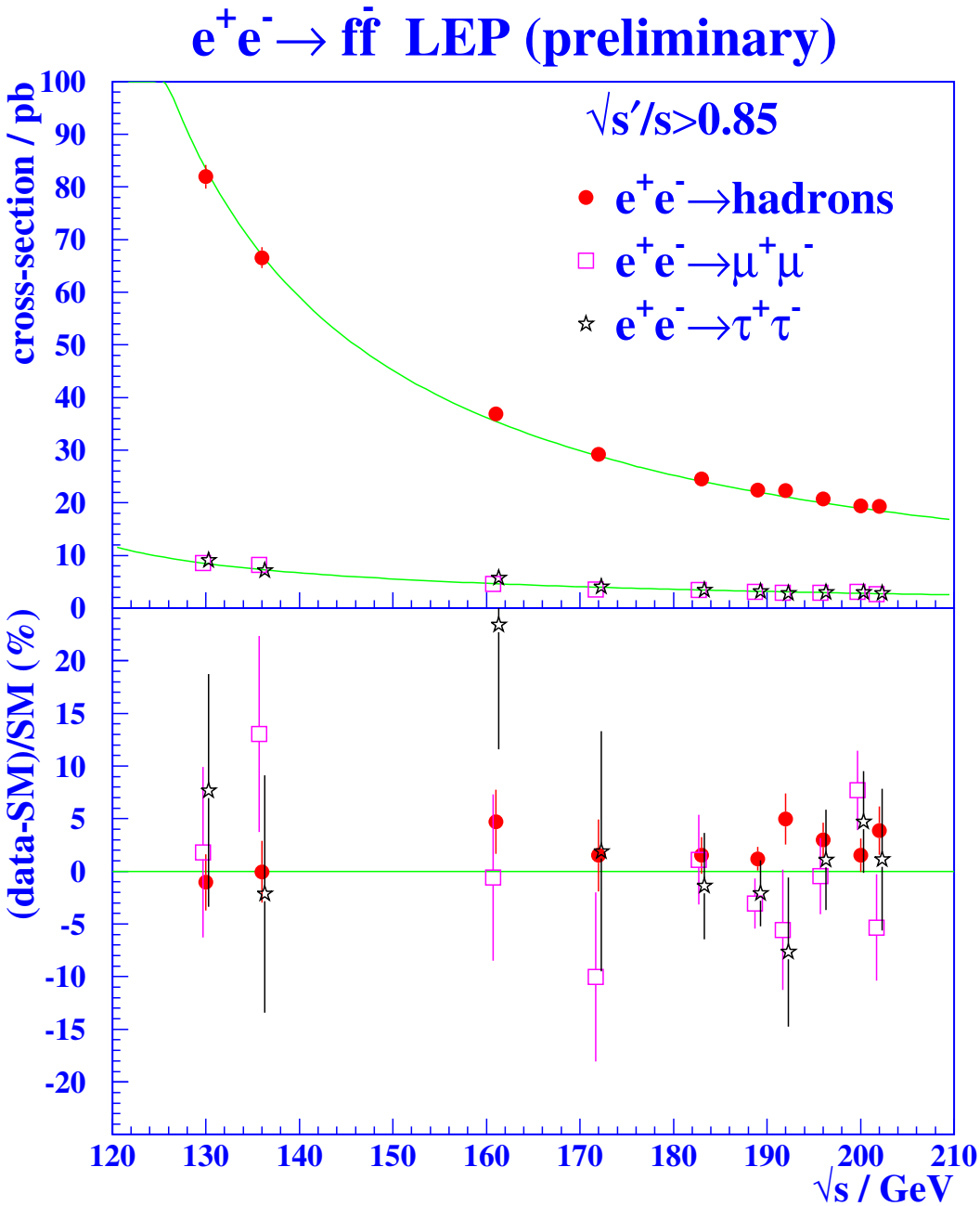
Jahr	$\sqrt{s}$	$\int \mathcal{L}\,dt$
1995	$130 - 140$ GeV	5 pb^{-1}
1996	$161/172$ GeV	21 pb^{-1}
1997	183 GeV	55 pb^{-1}
	$130/136$ GeV	7 pb^{-1}
1998	189 GeV	180 pb^{-1}
1999	$192 - 202$ GeV	230 pb^{-1}
2000	$200 - 206$ GeV	> 25 pb^{-1}



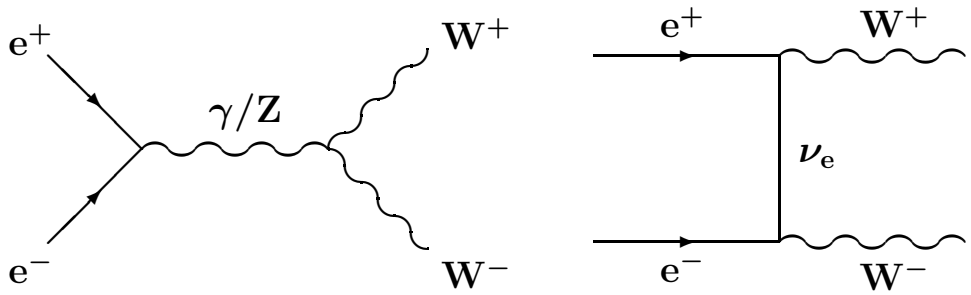
500 pb^{-1} pro Experiment oberhalb der WW-Schwelle!

Messung des totalen Wirkungsquerschittes und der Vorwärts-Rückwärts-Asymmetrie in $e^+e^- \to f\bar{f}$

Kombination der LEP Experimente:



In niedrigster Ordnung tragen 3 Feynman Diagramme bei:



Die Einzelbeiträge von Neutrino-, Photon- und Z-Austausch divergieren!

z.B. Austausch eines Elektron-Neutrinos:

$$\sigma_\nu = \frac{\pi\alpha^2\, s}{96\ \sin^4\vartheta_W m_W^4} \to s \qquad (s \gg m_W^2)$$

Im SM heben sich diese Divergenzen auf:

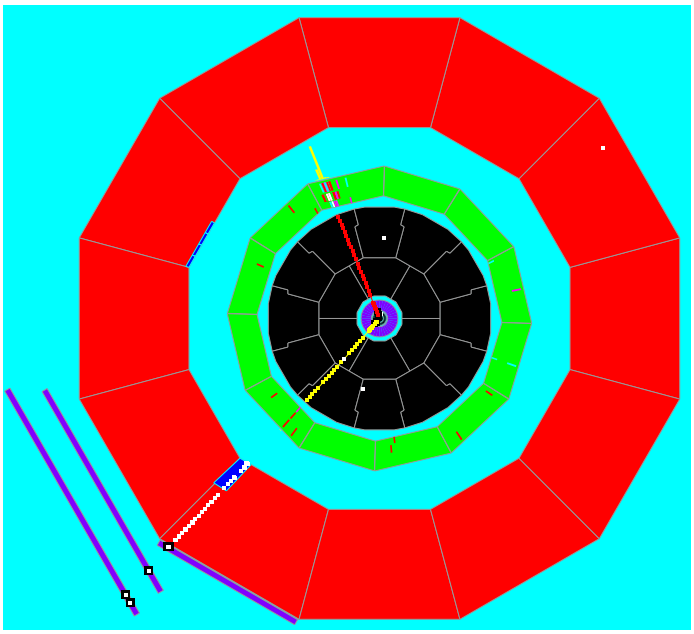
$$\begin{aligned}\sigma \;=\; & \frac{\pi\,\alpha^2\,\beta}{2\,\sin^4\vartheta_W\, s}\left\{\left[1+\frac{2\,m_W^2}{s}+\frac{2\,m_W^4}{s^2}\right]\frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)-\frac{4}{5}\right.\\ & +\frac{m_Z^2(1-2\,\sin^2\vartheta_W)}{s-m_Z^2}\left[2\left(2\,\frac{m_W^2}{s}+\frac{m_W^4}{s^2}\right)\frac{1}{\beta}\ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)-\frac{s}{12\,m_W^2}-\frac{5}{3}-\frac{m_W^2}{s}\right]\\ & \left.+\frac{m_Z^4\left(8\,\sin^4\vartheta_W-4\,\sin^2\vartheta_W+1\right)\beta^2}{48\left(s-m_Z^2\right)^2}\left[\frac{s^2}{m_W^4}+20\,\frac{s}{m_W^2}+12\right]\right\}\end{aligned}$$

$$\sigma_{SM} = \frac{\pi\alpha^2}{2\sin^4\vartheta_W}\,\frac{1}{s}\ln\frac{s}{m_W^2} \qquad (s \gg m_W^2)$$

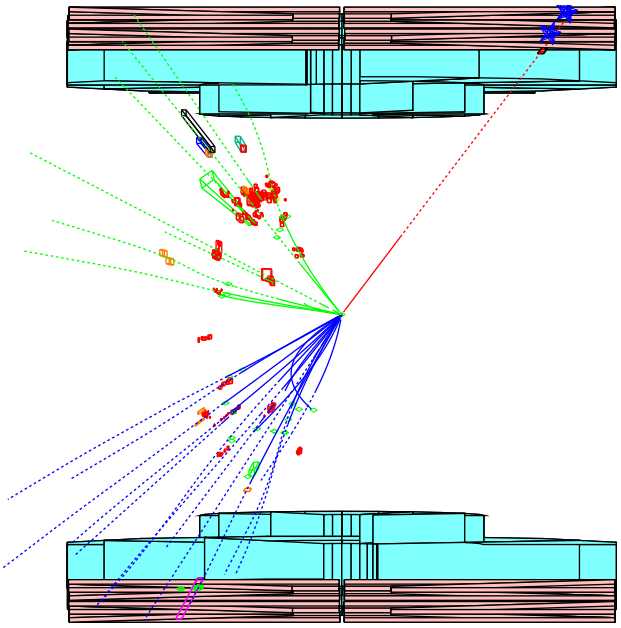
Erfordert die Existenz der Kopplungen γWW and ZWW!

$e^+e^- \to W^+W^-$ Kandidaten bei $\sqrt{s} = 189$ GeV

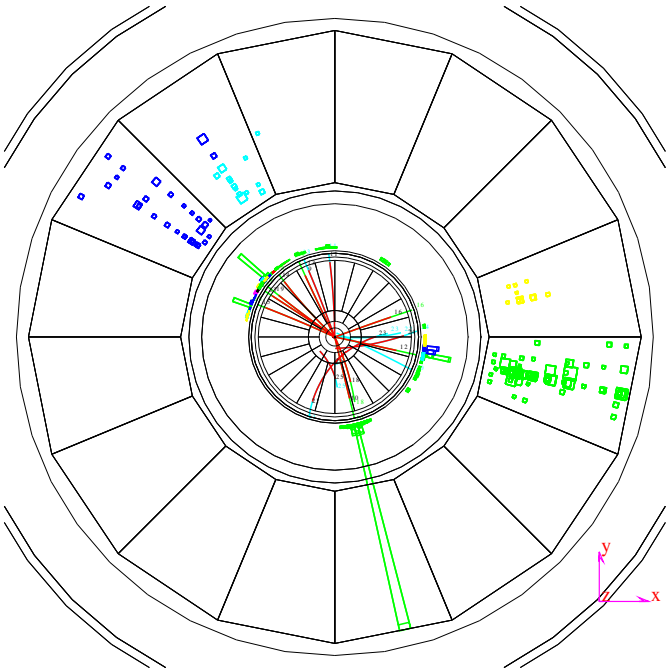
$e^+e^- \to \ell\nu\ell\nu$



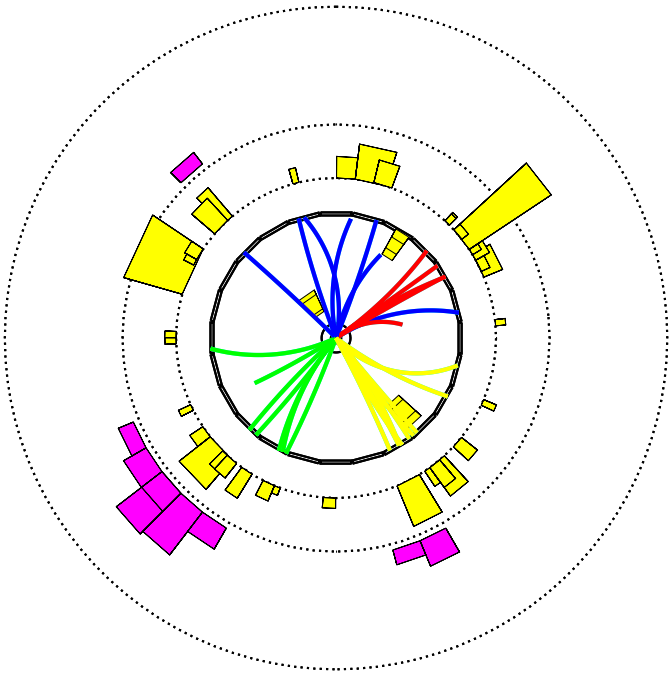
$e^+e^- \to q\bar{q}\mu\nu$



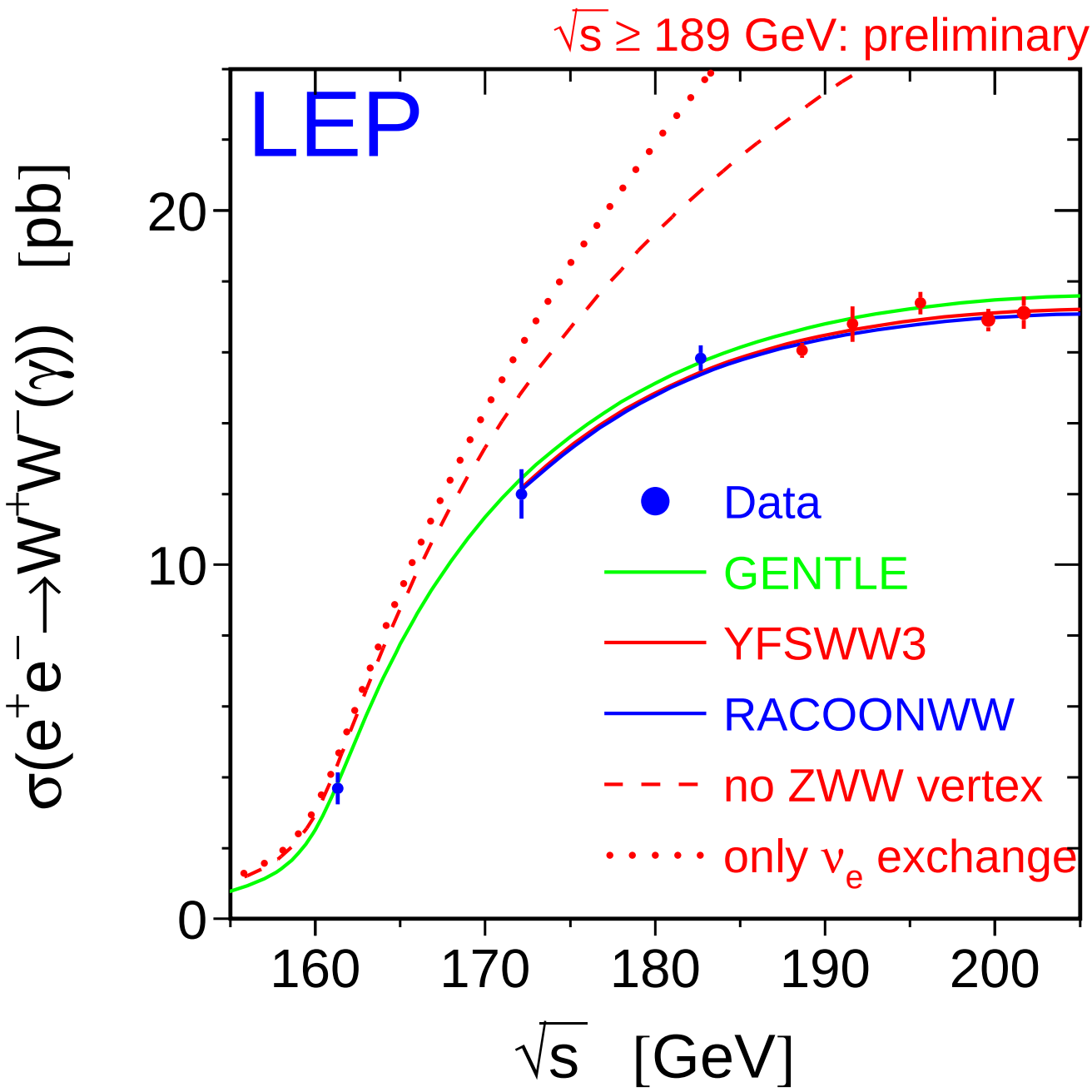
$e^+e^- \to q\bar{q}e\nu$



$e^+e^- \to q\bar{q}q\bar{q}$



Kombinierte LEP Messung des Wirkungsquerschittes $e^+e^- \to W^+W^-$:

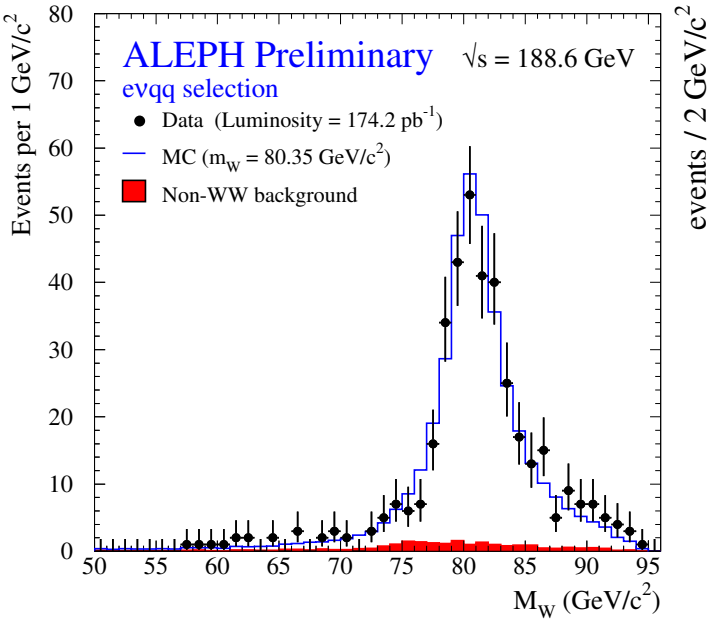


- **Sehr gute Übereinstimmung mit dem SM**
- **Der Vertex ZWW existiert**

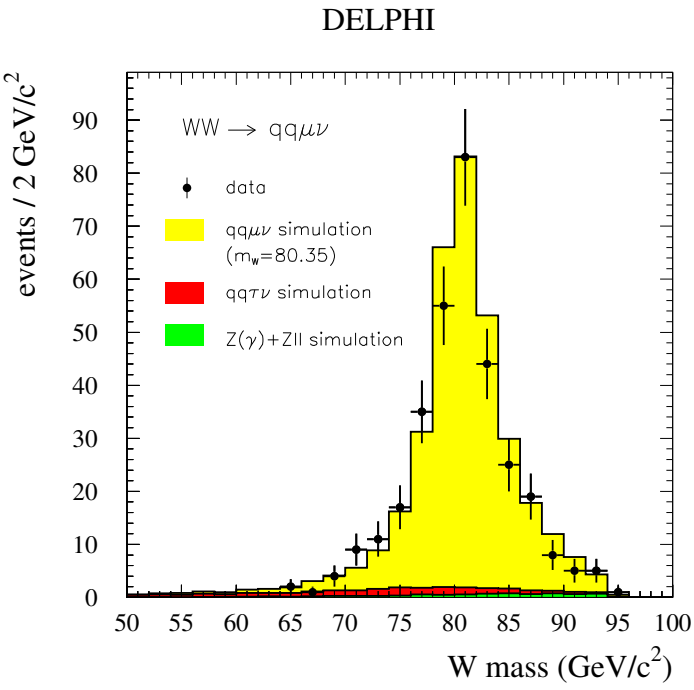
Die W-Kopplungen sind mit ±3% Genauigkeit gemessen (Totaler und differentielle Wirkungsquerschitte)

Rekonstruierte invariante Masse ($\sqrt{s} = 189$ GeV):

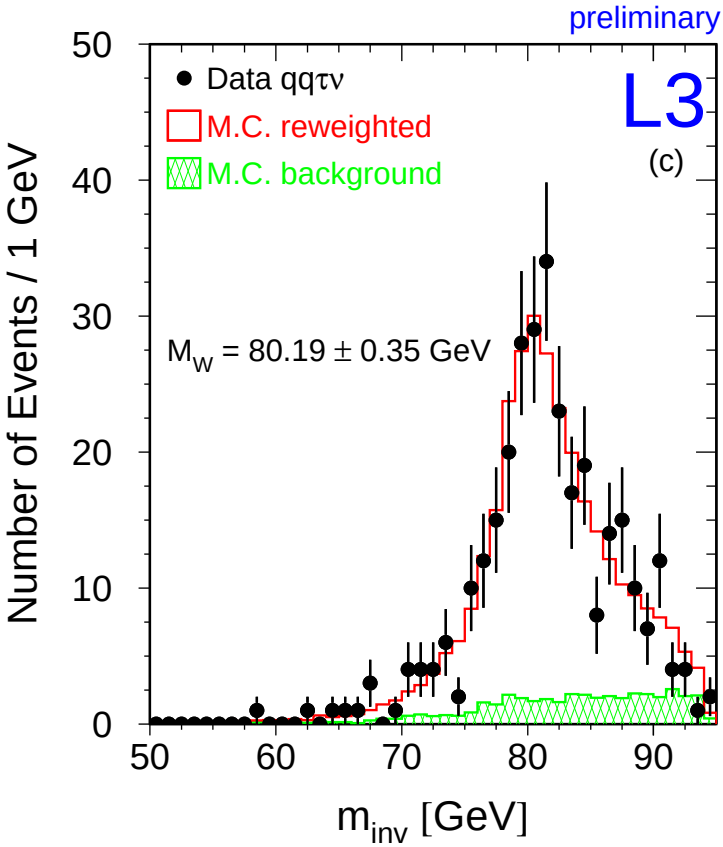
$WW \to q\bar{q}\, e\nu$



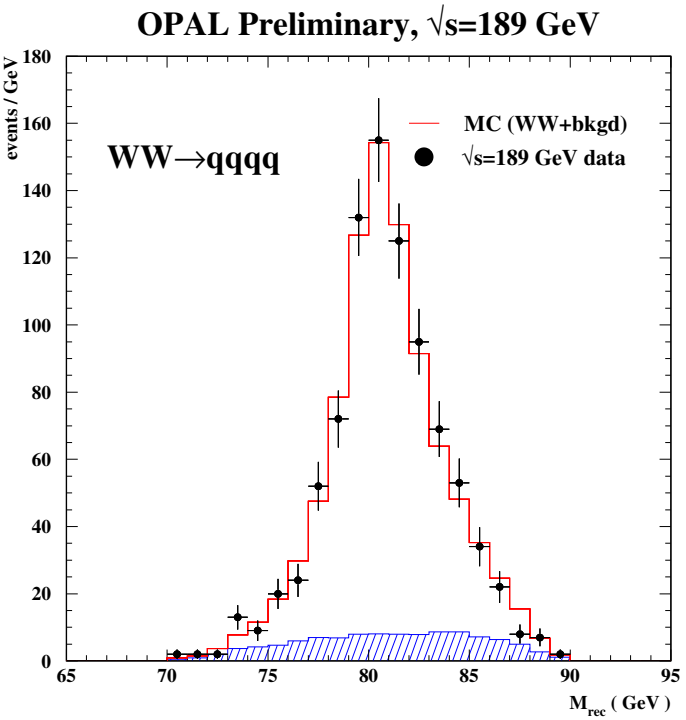
$WW \to q\bar{q}\, \mu\nu$



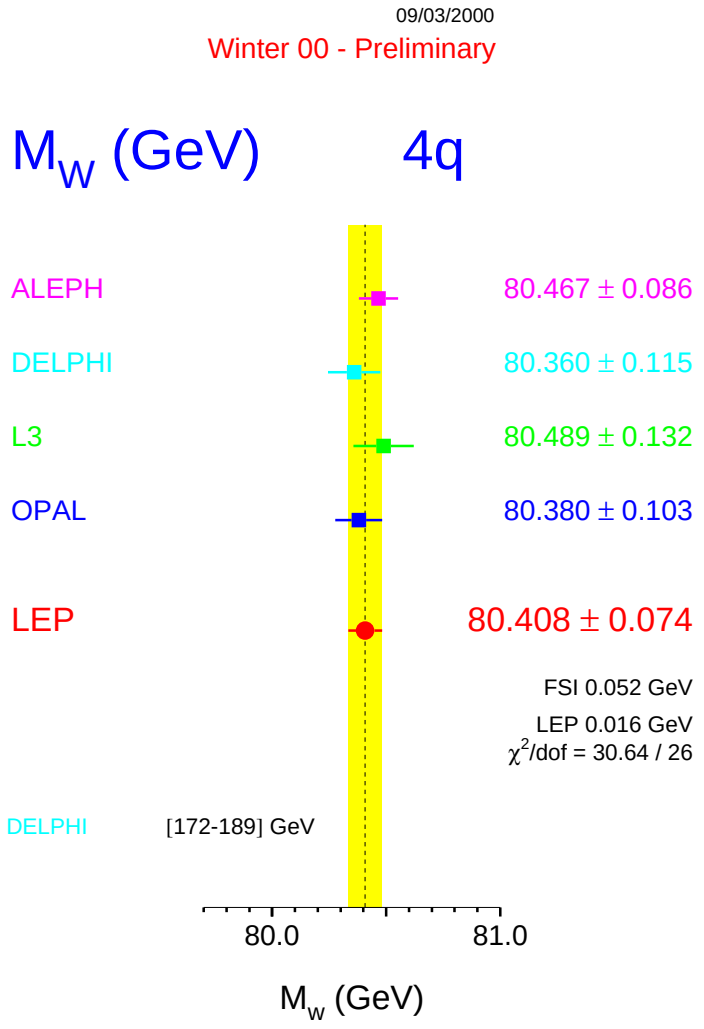
$WW \to q\bar{q}\, \tau\nu$

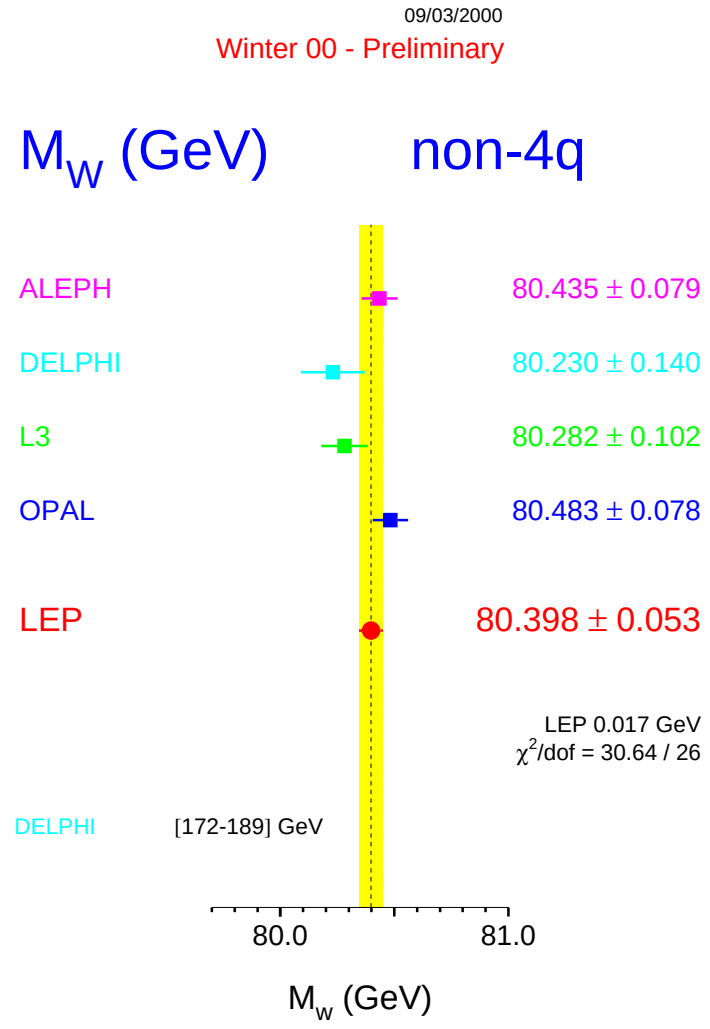


$WW \to q\bar{q}\, q\bar{q}$



Resultate der W Masse von LEP





LEP $\sqrt{s} \leq 202$ GeV:

$$m_W = 80.401 \pm 0.048 \text{ GeV}$$

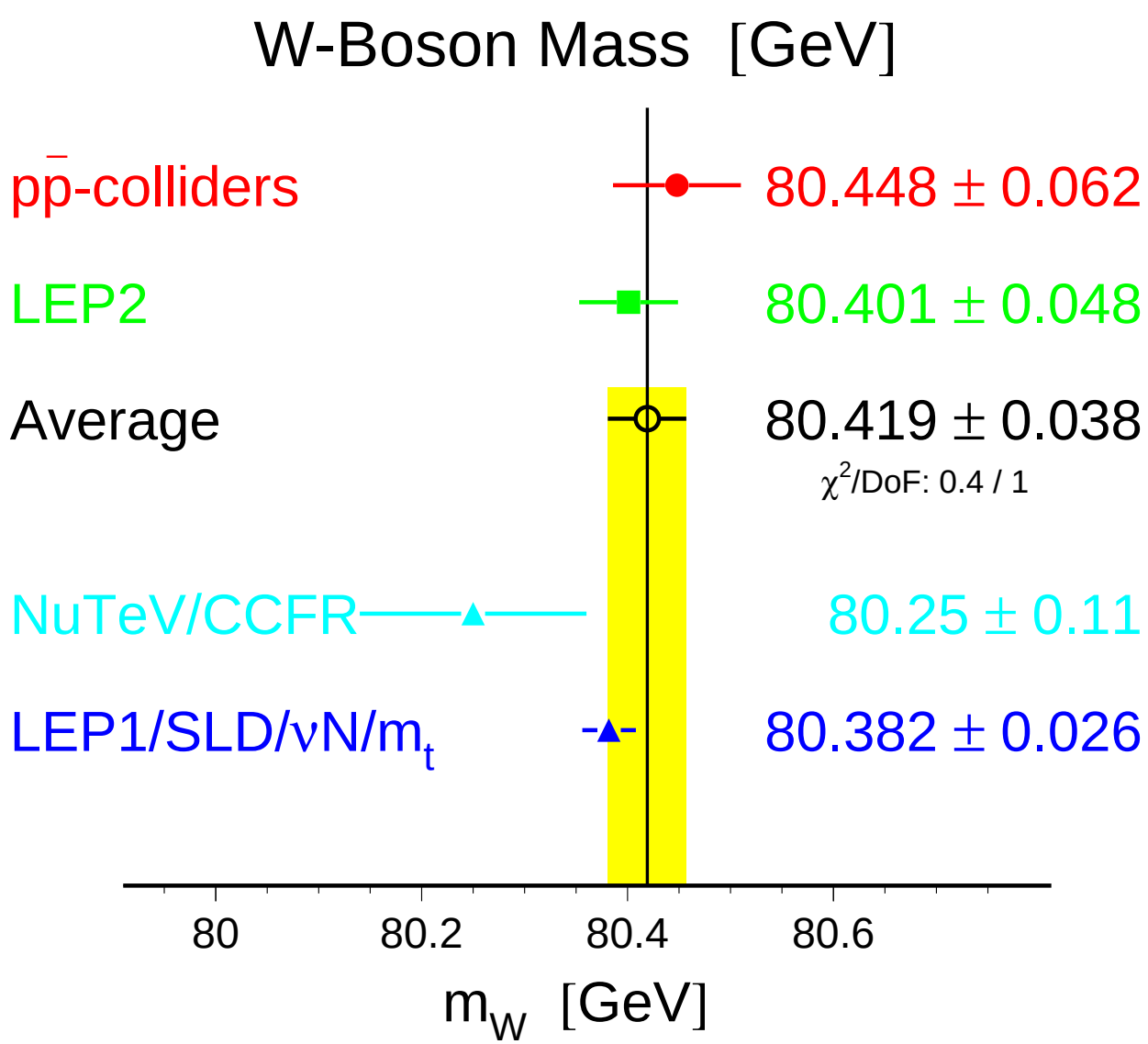
I. m_{W} **aus Rekonstruktion der invarianten Masse der Zerfallsprodukte**

LEP II und $\mathrm{p\bar{p}}$-Experimente

II. Im SM bestimmen die Massen der Eichbosonen die elektroschwachen Kopplungen: $\cos\vartheta_{\mathrm{W}} = m_{\mathrm{W}}/m_{\mathrm{Z}}$

$\Rightarrow$ **m_{W} kann am Z-Pol gemessen werden, z.B.**

$$\Gamma_\ell = \frac{\alpha\, m_{\mathrm{Z}}}{12\,\sin^2\vartheta_{\mathrm{W}}\cos^2\vartheta_{\mathrm{W}}}\left[(g_{\mathrm{A}}^\ell)^2 + (g_{\mathrm{V}}^\ell)^2\right] \qquad g_{\mathrm{A}}^\ell = -1/2 \quad g_{\mathrm{V}}^\ell = g_{\mathrm{A}}^\ell + 2\sin^2\vartheta_{\mathrm{W}}$$



Bestätigung der SM Vorhersage

Für den ρ-Parameter gilt $\rho = 1$ (plus Strahlungskorrekturen)

Elektroschwache Kopplungen bei niedriger Energie, z.B. Fermi-Konstante aus Myonlebensdauer

$$G_{\mathrm{F}} = 1.166\,39(1) \cdot 10^{-5}\ \mathrm{GeV}^{-2}$$

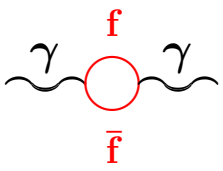
Relation zwischen m_{W} und G_{F}:

$$\frac{G_{\mathrm{F}}}{\sqrt{2}} = \frac{\pi\alpha}{2}\,\frac{1}{m_{\mathrm{W}}^2 \sin^2\vartheta_{\mathrm{W}}}\,\frac{1}{1-\Delta r}$$

Elektroschwache Korrekturen Δr
(Laufen der Kopplungskonstanten)

$$1 - \Delta r \approx (1 - \Delta\alpha)\,(1 - \Delta r_{\mathrm{w}})$$

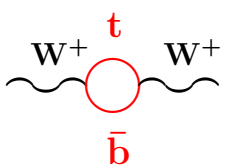
a) QED Kopplungskonstante:

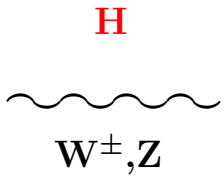


$$\begin{aligned} \alpha(m_{\mathrm{Z}}) &= \alpha(Q^2{=}0)/(1-\Delta\alpha) \\ \alpha(Q^2{=}0)^{-1} &= 137.035\,989\,5(61) \\ \alpha(m_{\mathrm{Z}})^{-1} &= 128.896 \pm 0.09 \qquad (7 \cdot 10^{-4}) \end{aligned}$$

Fehler auf $\alpha(m_{\mathrm{Z}})$ bestimmt durch Beiträge der 5 leichten Quarks

b) Schwache Strahlungskorrekturen





$$\Delta r_{\mathrm{W}} \approx \Delta r_{\mathrm{W}}(m_{\mathrm{t}}^2, \log m_{\mathrm{H}})$$

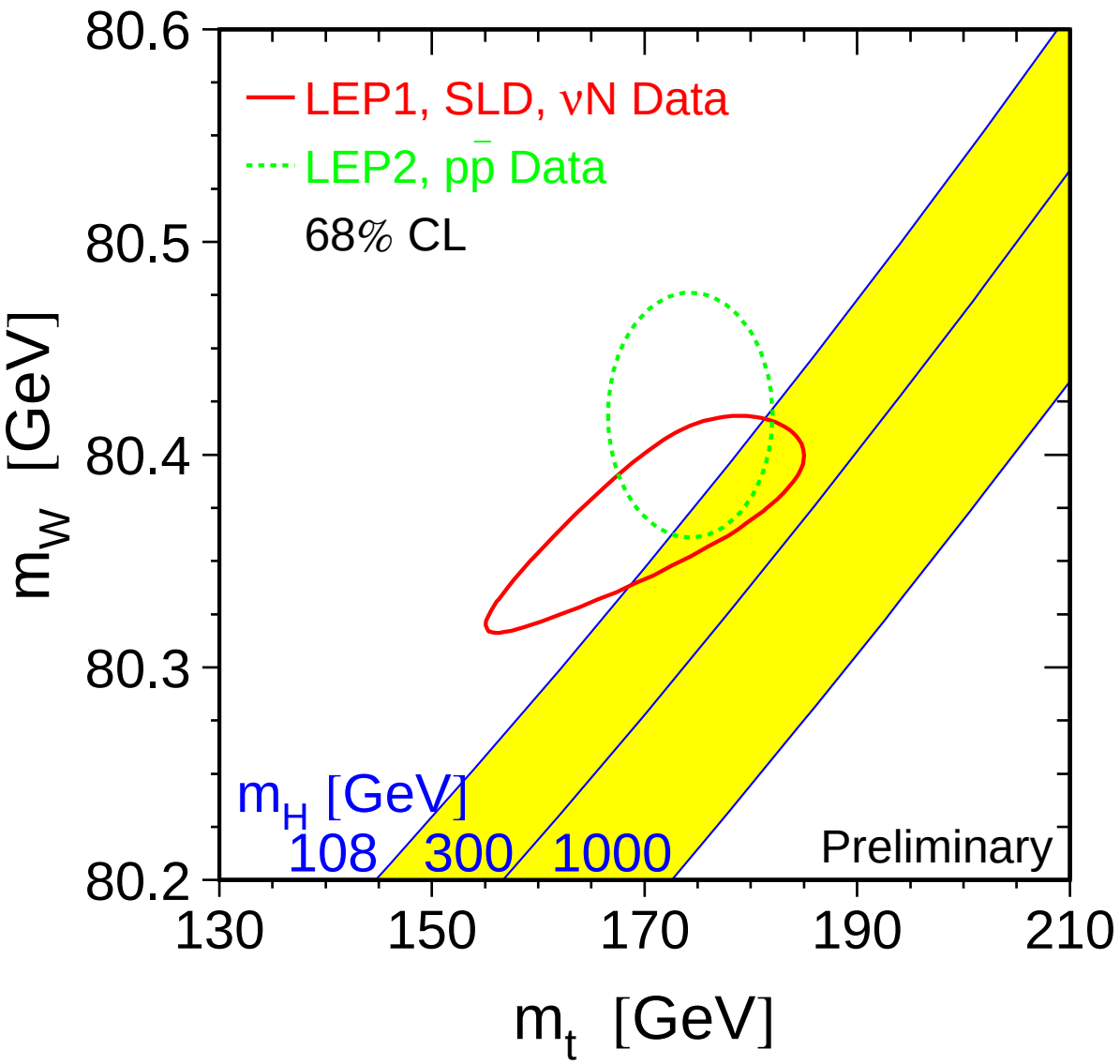
Anpassungsrechnung im SM an LEP I und SLD Messungen
$\Rightarrow$ Masse des Top Quarks

$$m_{\mathrm{t}} = 167\,^{+10}_{-8}\ \mathrm{GeV}$$

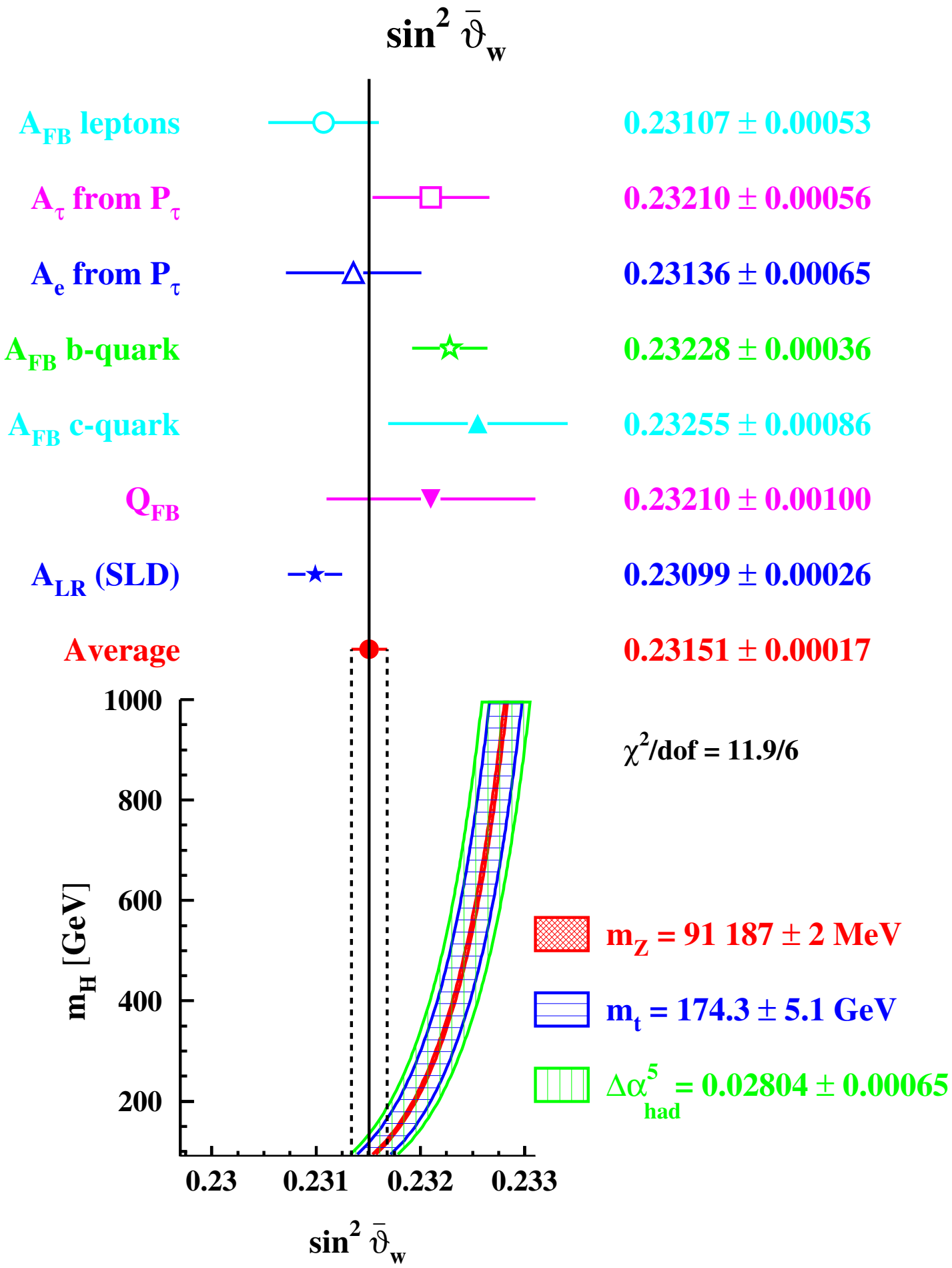
(Fehler enthält Unwissen über m_{H})

Vergleich mit direkter Messung (CDF & DØ)

$$m_{\mathrm{t}} = 174.3 \pm 5.1\ \mathrm{GeV}$$



- SM korrekt '1-Loop'
- Leichtes Higgs Boson?


sin² ϑ̄w
A_FB leptons
0.23107 ± 0.00053
A_τ from P_τ
0.23210 ± 0.00056
A_e from P_τ
0.23136 ± 0.00065
A_FB b-quark
0.23228 ± 0.00036
A_FB c-quark
0.23255 ± 0.00086
Q_FB
0.23210 ± 0.00100
A_LR (SLD)
0.23099 ± 0.00026
Average
0.23151 ± 0.00017
χ²/dof = 11.9/6
m_Z = 91 187 ± 2 MeV
m_t = 174.3 ± 5.1 GeV
Δα⁵_had = 0.02804 ± 0.00065
m_H [GeV]
1000
800
600
400
200
0.23
0.231
0.232
0.233
sin² ϑ̄w

Indirekte Bestimmung von m_{H} durch Messungen schwacher Strahlungskorrekturen:

Annahme:

schwache Strahlungskorrekturen wie vom SM vorausgesagt

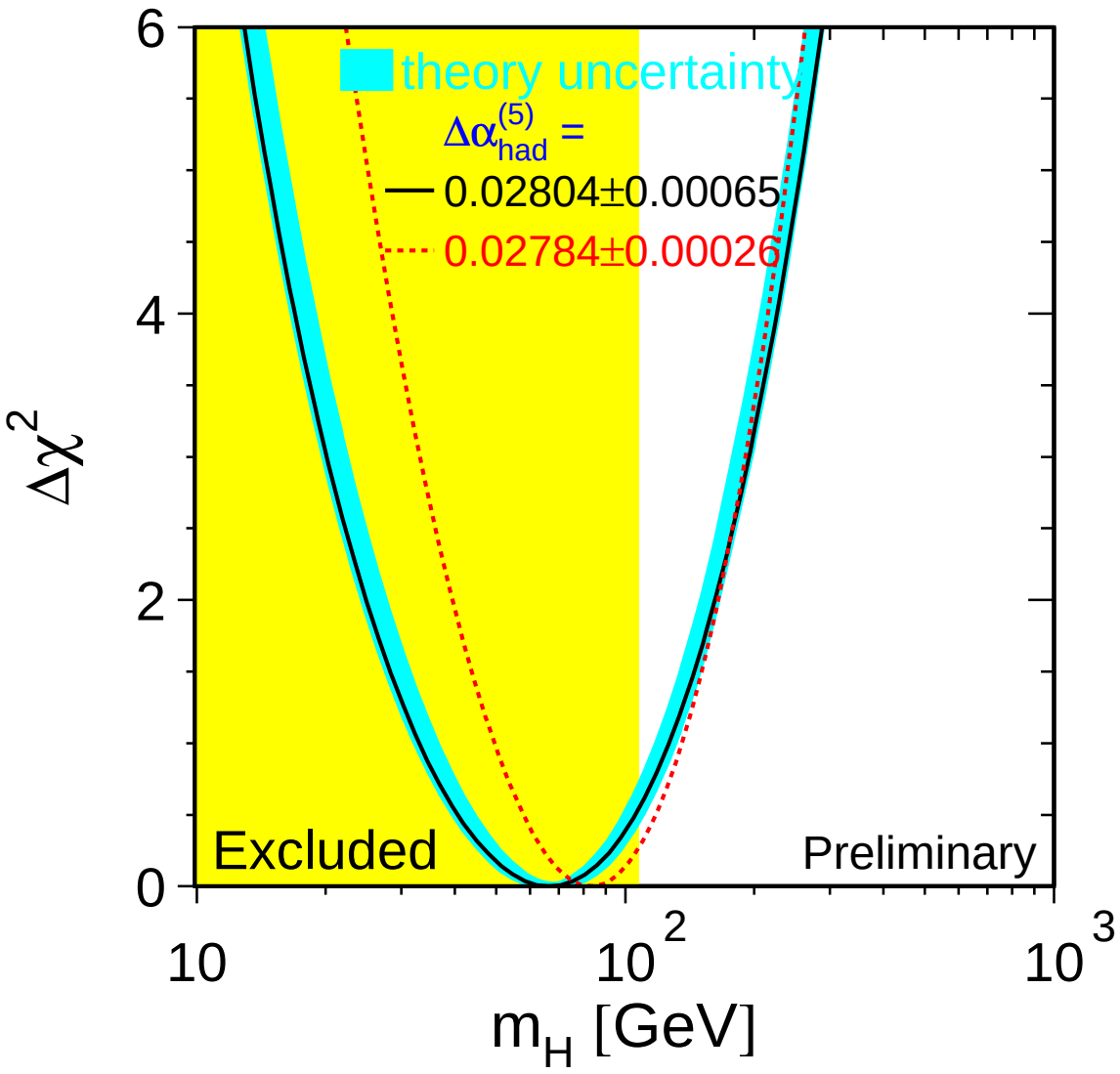
keine virtuellen Beiträge von nicht-SM Teilchen

Benutze auch direkte Messungen von m_{W} und m_{t}

$\Rightarrow$ m_{H} ist der letzte unbestimmte Parameter

$$\log_{10} m_{\mathrm{H}}/\mathrm{GeV} = 1.82\,^{+0.28}_{-0.30}$$

$$\text{oder } m_{\mathrm{H}} = 67\,^{+60}_{-33}\ \mathrm{GeV}$$



$m_{\mathrm{H}} < 188$ GeV 95% CL

Erzeugung der Massen der schweren Eichbosonen $W^{\pm}$ und Z durch spontane Symmetriebrechung

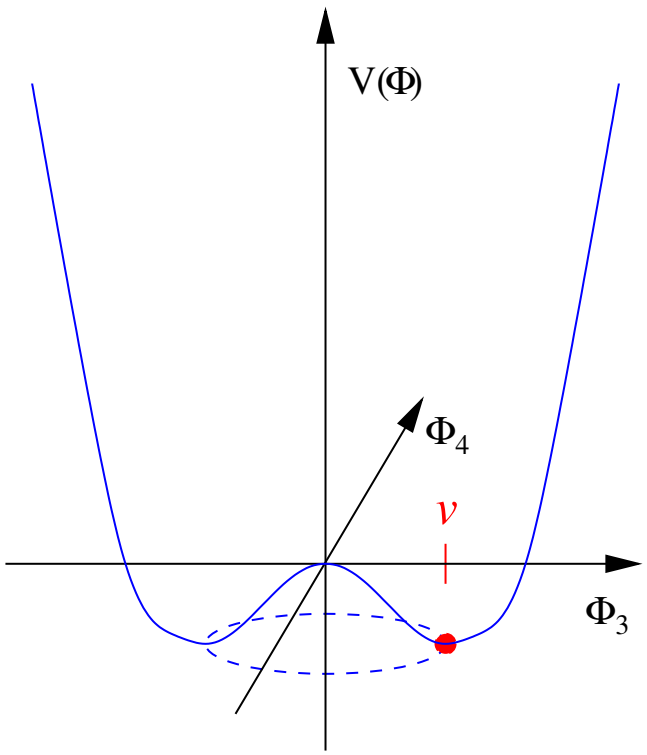
Einführung eines komplexen, skalaren Feldes

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \Phi_1 + i\Phi_2 \\ \Phi_3 + i\Phi_4 \end{pmatrix}$$

mit Potential

$$V(\Phi) = \mu^2\, \Phi^\dagger \Phi + \lambda \left(\Phi^\dagger \Phi\right)^2$$

$$\mu^2 < 0 \qquad \lambda > 0$$



$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v + \eta(x) \end{pmatrix}$$

Vakuumerwartungswert $v = \sqrt{-\mu^2/\lambda}$

$$V(\eta) = -\frac{\mu^4}{4\lambda} - \mu^2\, \eta^2 + \lambda v\, \eta^3 + \frac{1}{4}\lambda\, \eta^4$$

Forderung nach lokaler $SU(2) \times U(1)$ Eichinvarianz führt zu Massentermen in der Lagrange-Funktion:

$$m_{\mathrm{W}} = \frac{1}{2} g\, v \qquad m_{\mathrm{Z}} = \frac{1}{2} \sqrt{g^2 + g'^2}\, v \qquad m_\gamma = 0$$

$SU(2) \times U(1)$ Kopplungskonstanten:

$$g \sin \vartheta_{\mathrm{W}} = g' \cos \vartheta_{\mathrm{W}} = e$$

- Higgs-Mechanismus liefert Erklärung für die Massen der Fermionen
- Kopplung des Higgs an Fermionen ist proportional zu deren Masse
$$m_{\mathrm{f}} = g_{\mathrm{f}} \frac{v}{\sqrt{2}}$$
- Massen der Fermionen sind freie Parameter Yukawa-Kopplungen g_{f}

Hier: minimales Standardmodell mit einem Higgs-Dublett

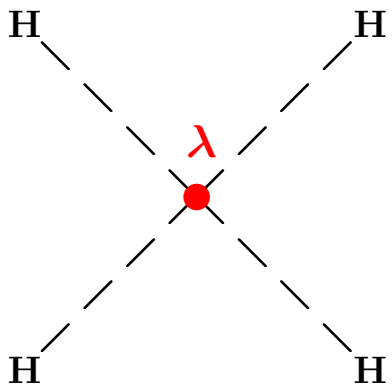
Higgs-Boson ist das letzte noch nicht nachgewiesene Teilchen des SM!

Higgs-Masse ist freier Parameter:

$$m_{\mathrm{H}} = \sqrt{2\lambda}\, v$$

$v = 247$ GeV durch Messung von m_{Z}, m_{W}

λ Kopplung am 4-Higgs Boson Vertex

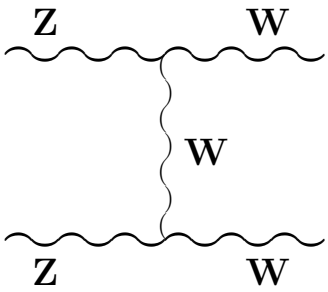


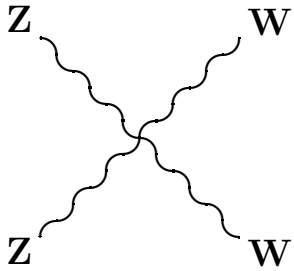
- Störungsrechung $\lambda < 1$
  $\Rightarrow$ obere Grenze für m_{H}

- Vakuumstabilität $\lambda > 0$
  $\Rightarrow$ untere Grenze für m_{H}
  (Strahlungskorrekturen)

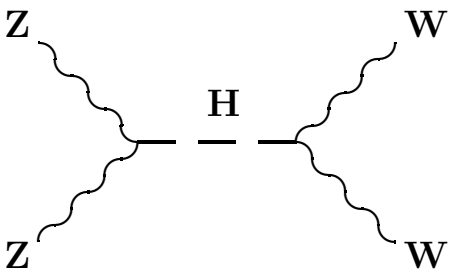
Obere Grenze für m_{H} aus Unitarität

Streuung von schweren Eichbosonen, z.B. :





Divergenter Wirkungsquerschnitt $\sigma \propto \dfrac{s}{m_{\mathrm{W}}^4}$



$$\mathcal{M}_{\mathrm{H}} = -i \frac{e^2}{4 m_{\mathrm{W}}^2 \sin^2\vartheta_{\mathrm{W}}} \frac{s^2}{s - m_{\mathrm{H}}^2}$$

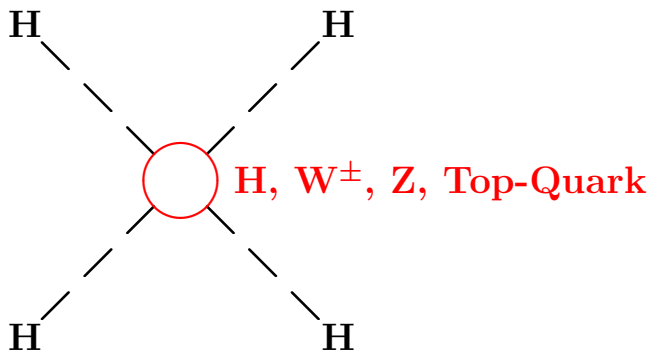
Gesamter Wirkungsquerschnitt

$$\sigma_{\mathrm{ZZ}\to\mathrm{WW}} = \frac{\pi\alpha^2}{16 \sin^4\vartheta_{\mathrm{W}}} \left(\frac{m_{\mathrm{H}}}{m_{\mathrm{W}}}\right)^4 \frac{s}{\left(s - m_{\mathrm{H}}^2\right)^2}$$

Unitariät: $\sigma \leq \dfrac{16\pi}{s}$ für $s \to \infty$

$$m_{\mathrm{H}} \leq \frac{4 \sin\vartheta_{\mathrm{W}}}{\sqrt{\alpha}} m_{\mathrm{W}} \approx 1 \text{ TeV}$$

Beiträge zum Higgs-Potential durch höhere Ordnungen:



- Obere Grenze für m_{H} aus Laufen der Kopplung λ (Energieskala Λ)

$$\lambda(\Lambda) = \frac{\lambda}{1 - \frac{3}{2\pi^2}\lambda \ln(\sqrt{2}\Lambda/v)} \qquad (\text{nur Higgs}-\text{Schleifen},\ \Lambda \gg m_{\mathrm{H}})$$

Analogie zum Landau-Pol in der QED

- Untere Grenze aus Vakuumstabilität
effektives Potential:

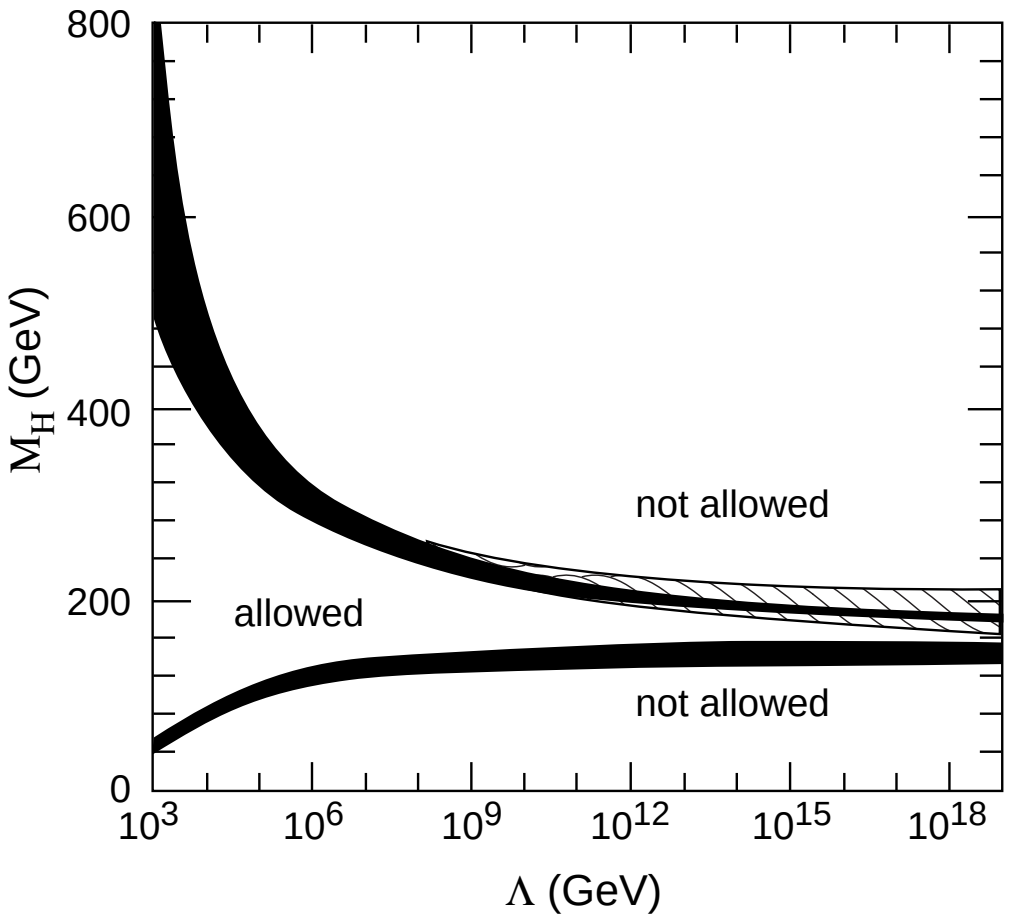
$$\begin{aligned} V(\Phi) &= \mu^2 \Phi^\dagger\Phi + \lambda \left(\Phi^\dagger\Phi\right)^2 \\ &+ \gamma \left(\Phi^\dagger\Phi\right)^2 \left(\ln\left(\Phi^\dagger\Phi\right)^2/v^2 - 1/2\right) \\ \gamma &= \frac{1}{16\pi^2 v^4}\left(m_{\mathrm{H}}^4 + 3m_{\mathrm{Z}}^4 + 6m_{\mathrm{W}}^4 - 12m_{\mathrm{t}}^4\right) \end{aligned}$$

a) $V(v) < 0$ (Minimum des Potentials)
$\Rightarrow m_{\mathrm{H}}^2 > \gamma\, v^2$ oder $m_{\mathrm{H}} > 7$ GeV (für $m_{\mathrm{t}} = 0$)

(Linde-Weinberg Grenze)

b) $V(\Phi) \to +\infty$ für $|\Phi| \to \infty$
$\Rightarrow m_{\mathrm{H}}$ muß mit m_{t} wachsen

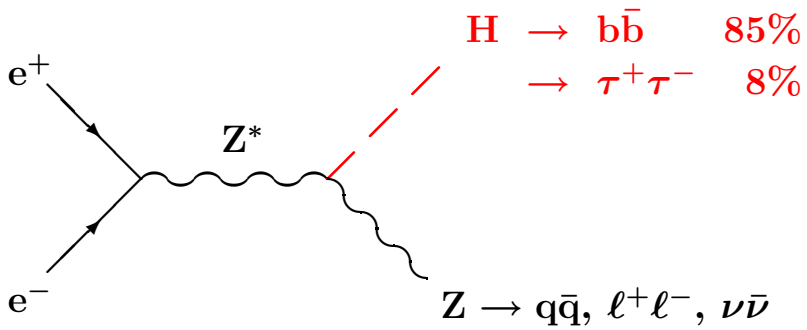
T. Hambye, K. Riesselmann, Phys. Rev. D 55 (1997) 7255



- **Leichtes Higgs ($100\ \text{GeV} \leq m_\text{H} \leq 200\ \text{GeV}$)**
  Standardmodell gültig bis zu großen Energien Λ ?
- **Schweres Higgs ($m_\text{H} \geq 500\ \text{GeV}$)**
  Neue Physik bei 1 TeV

In Modellen mit mehreren Higgs-Dubletts
Grenzen gültig für mittlere Higgs-Masse

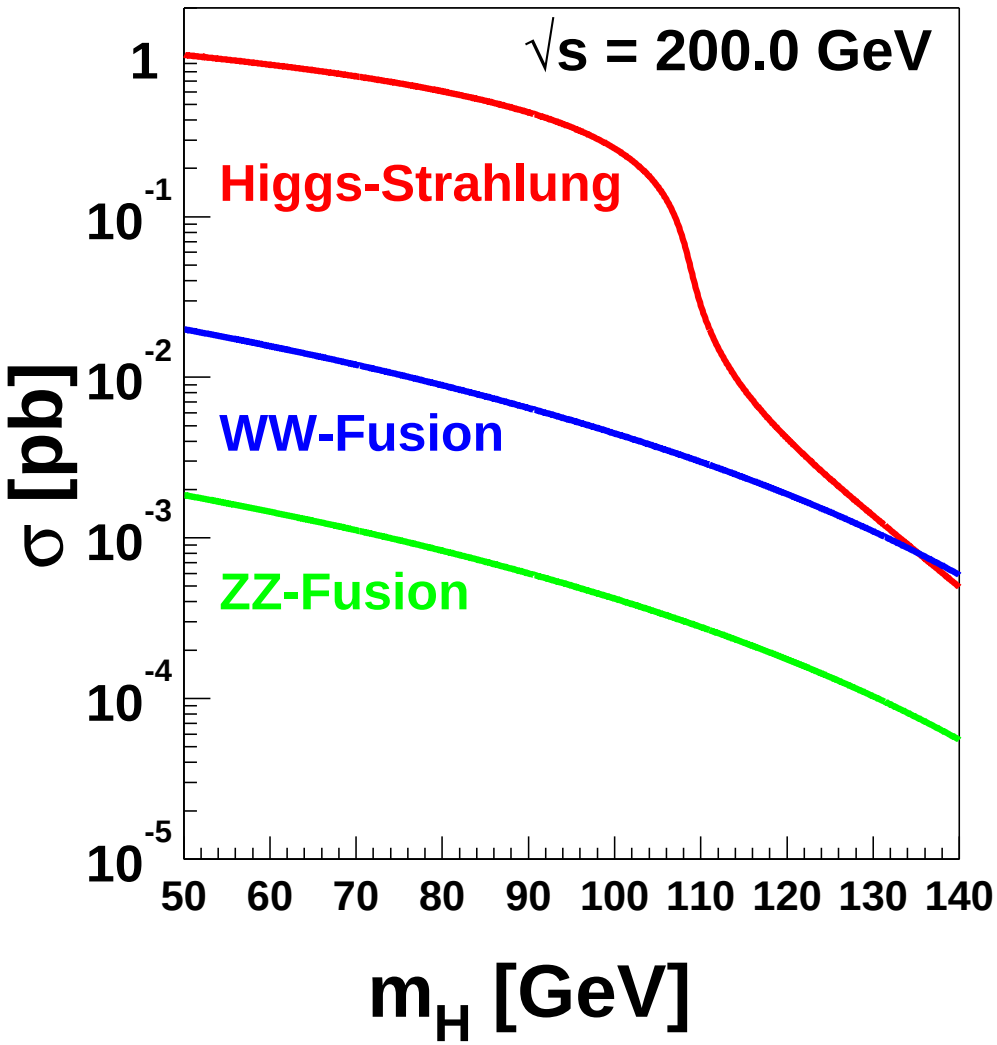
Produktion von Higgs Bosonen bei LEP durch Higgs-Strahlung:



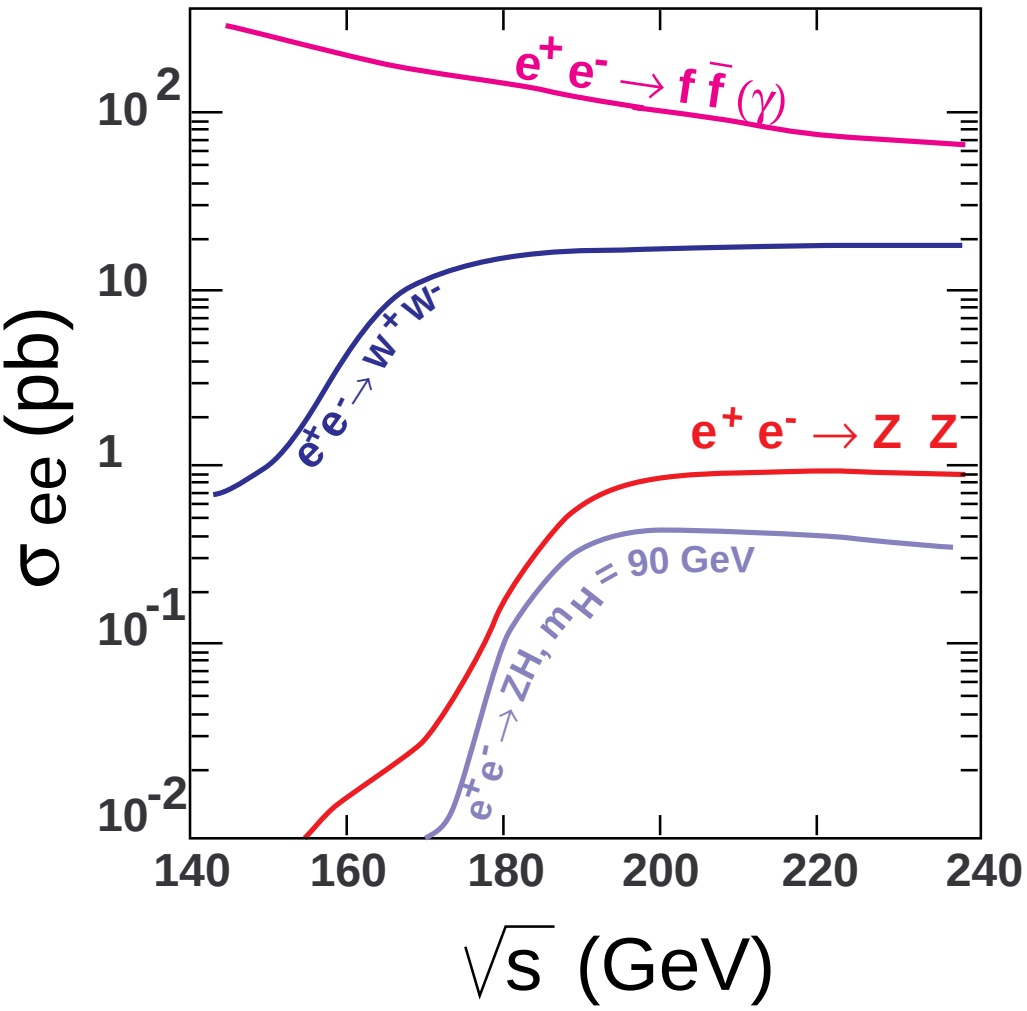
Produktion eines reellen Z bosons

+ Masseninformation $m_{f\bar{f}} \approx m_Z$ (Auflösung, Γ_Z)

– Suche möglich bis maximal $m_H \approx \sqrt{s} - m_Z$



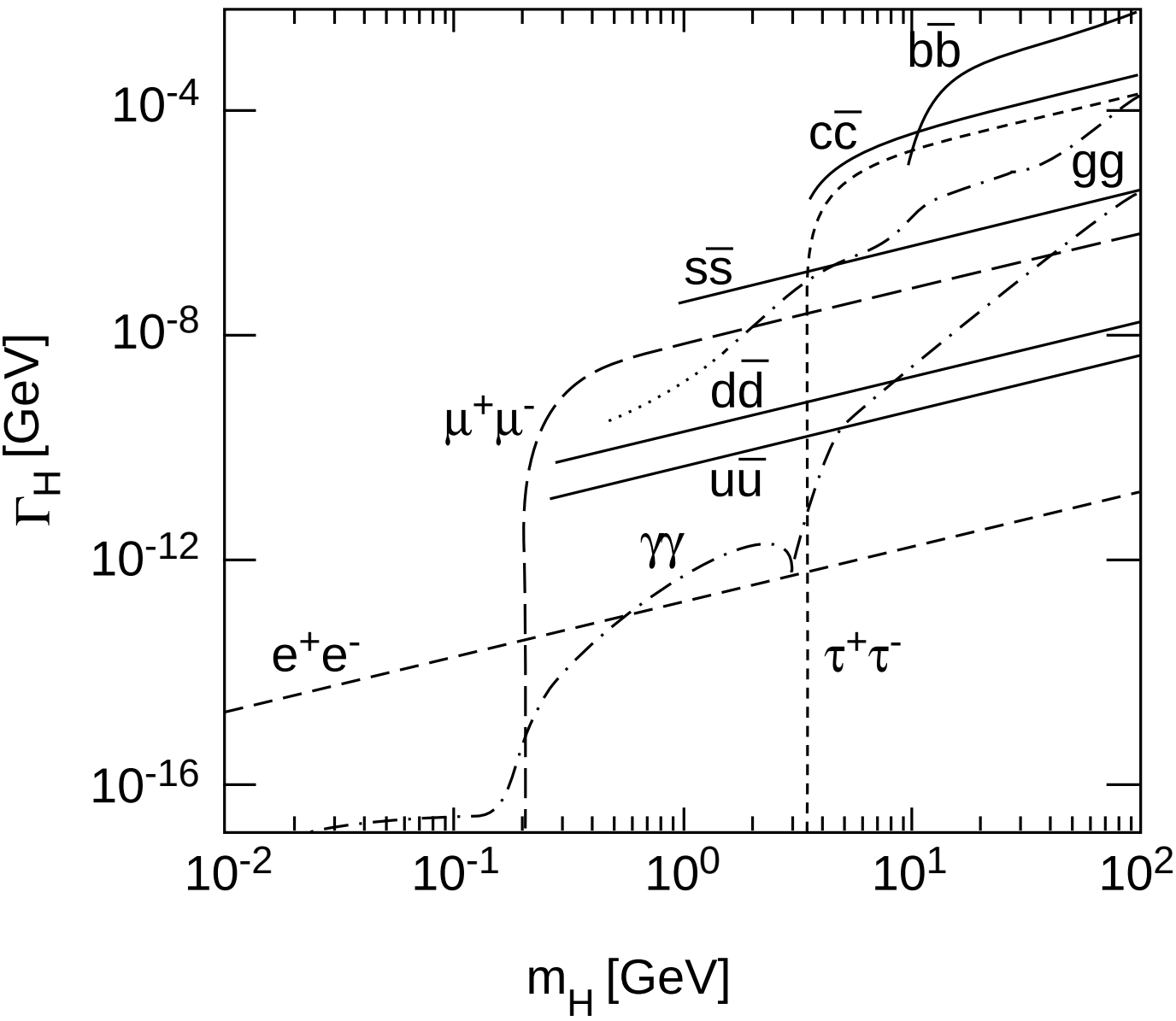
Vergleich von SM Wirkungsquerschnitten:



- Beachtlicher Wirkungsquerschnitt $e^+e^- \to HZ$
- Besseres Signal-Untergrundverhältnis als bei LEP I

Zerfallsbreite des Higgs Boson:

$$\Gamma(\mathrm{H} \to \mathrm{f\bar{f}}) = \frac{N_c\, g^2}{32\,\pi}\,\frac{m_\mathrm{H}}{m_\mathrm{W}^2}\, m_\mathrm{f}^2\, \beta_\mathrm{f}^3 \qquad \beta_\mathrm{f}=\sqrt{1-4\,m_\mathrm{f}^2/m_\mathrm{H}^2}$$



Für Massen $m_\mathrm{H} \gtrsim 160$ GeV werden Higgs-Zerfälle in Eichbosonen $\mathrm{H} \to \mathrm{W^+W^-}$, ZZ dominant

Signal $e^+e^- \to HZ$:

- 4 Topologien des Endzustandes

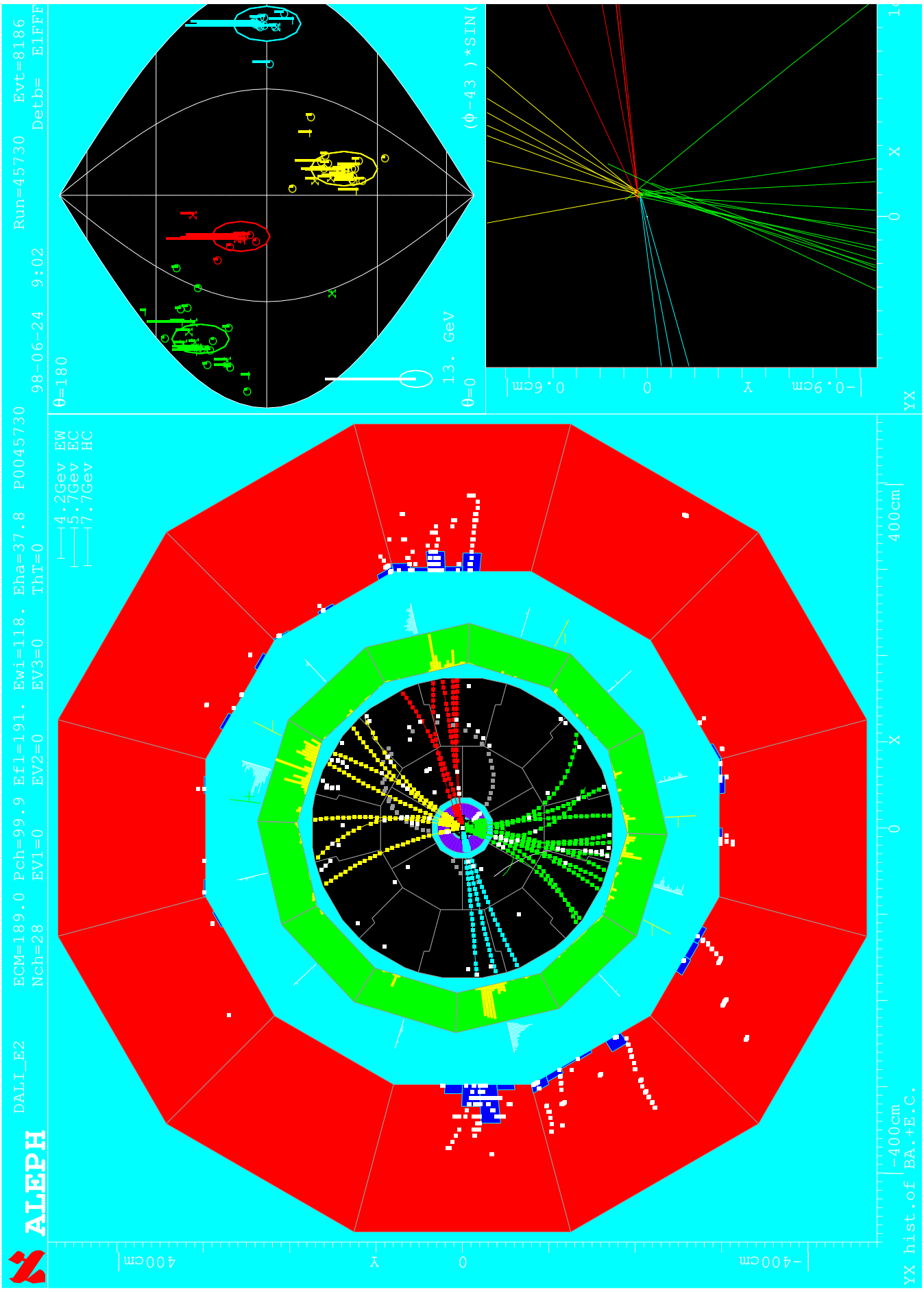
$b\bar{b}\,q\bar{q}$	- 4 Jets
$b\bar{b}\,\nu\bar{\nu}$	- 2 akoplanare Jets
$b\bar{b}\,e^+e^-$, $b\bar{b}\,\mu^+\mu^-$	- 2 Jets, 2 Leptonen
$\tau^+\tau^- q\bar{q}$	- 2 Tau-Leptonen, 2 Jets

- $H \to b\bar{b}$ dominant
  Erkennung von b-Quarks durch Sekundärvertices
- Masseninformation
  $m_{f\bar{f}} \approx m_Z$ (experimentelle Auflösung, Breite des Z)

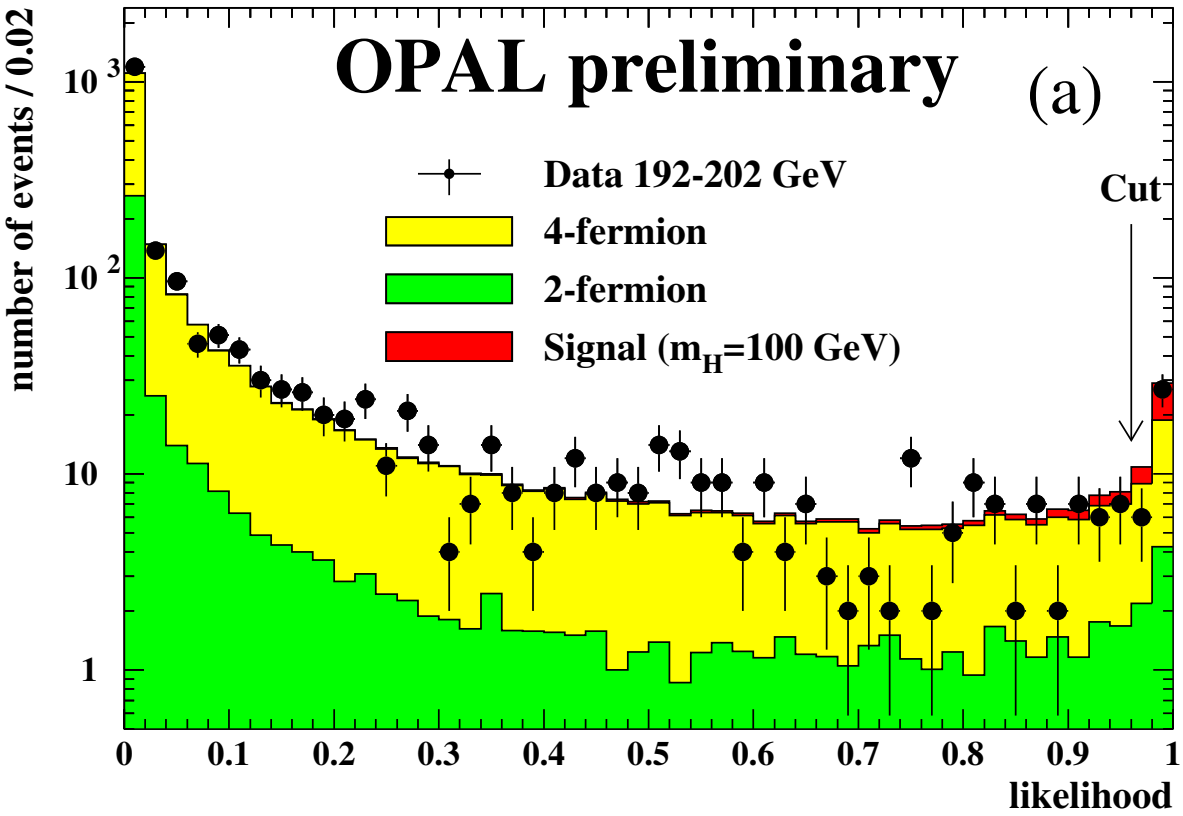
Untergrund:

- Fermionpaare, besonders $e^+e^- \to Z/\gamma \to q\bar{q}(\gamma)$
- Einzel W-Produktion $e^+e^- \to W\,e\nu$ (für $H\nu\bar{\nu}$)
- Boson-Paare $e^+e^- \to W^+W^-$
  und besonders $e^+e^- \to ZZ$:
  $\Gamma(Z \to b\bar{b})/\Gamma(Z \to \text{Hadronen}) = 0.22$

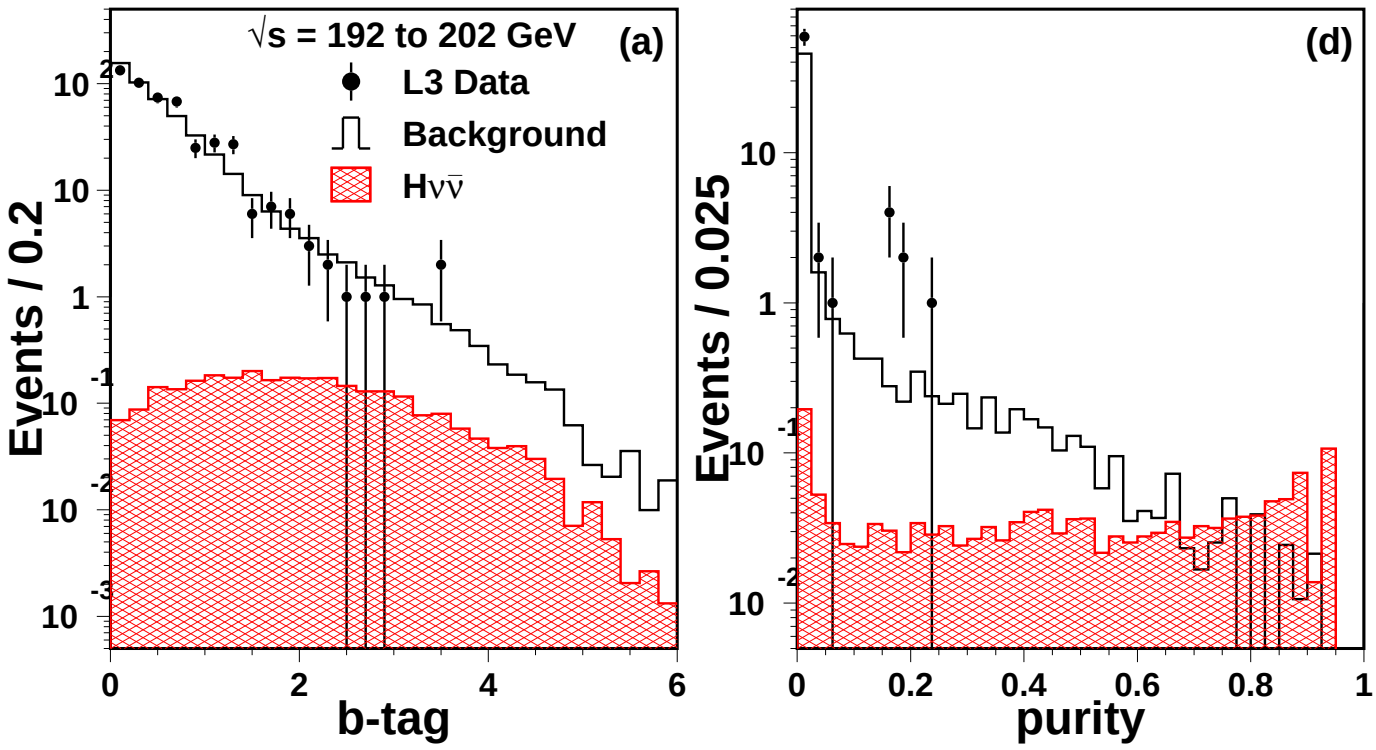
Higgs Kandidat $e^+e^- \rightarrow HZ \rightarrow 4$ Jets



- OPAL $e^+e^- \to b\bar{b}\,q\bar{q}$ Analyse



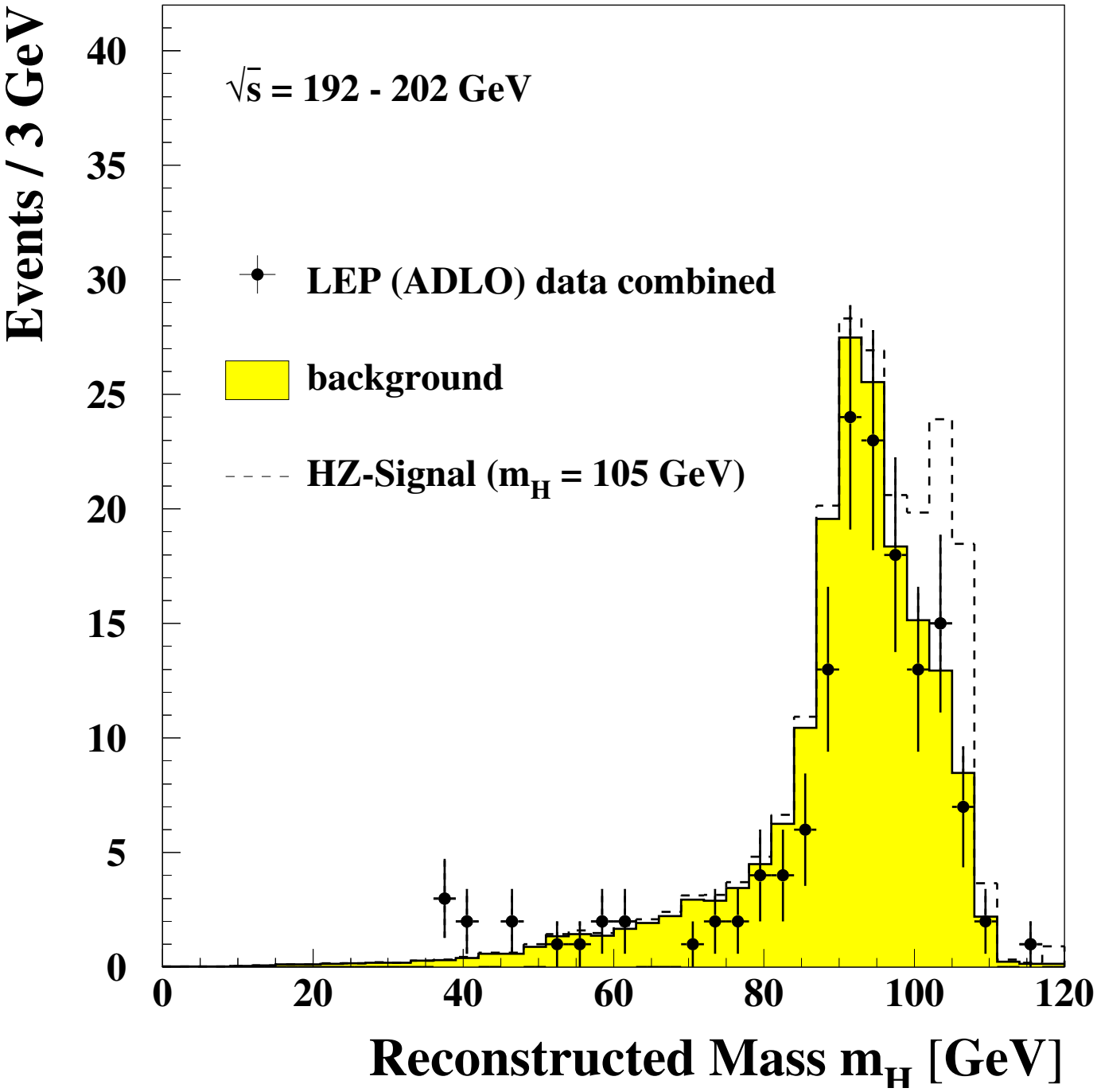
- L3 $e^+e^- \to b\bar{b}\,\nu\bar{\nu}$ Analyse



Vorläufige Kombination der LEP Experimente durch

LEP Working Group

Massenspektrum der besten SM Higgs Kandidaten in 1999:



- Massenauflösung
- Signal- und Untergrundwahrscheinlichkeit

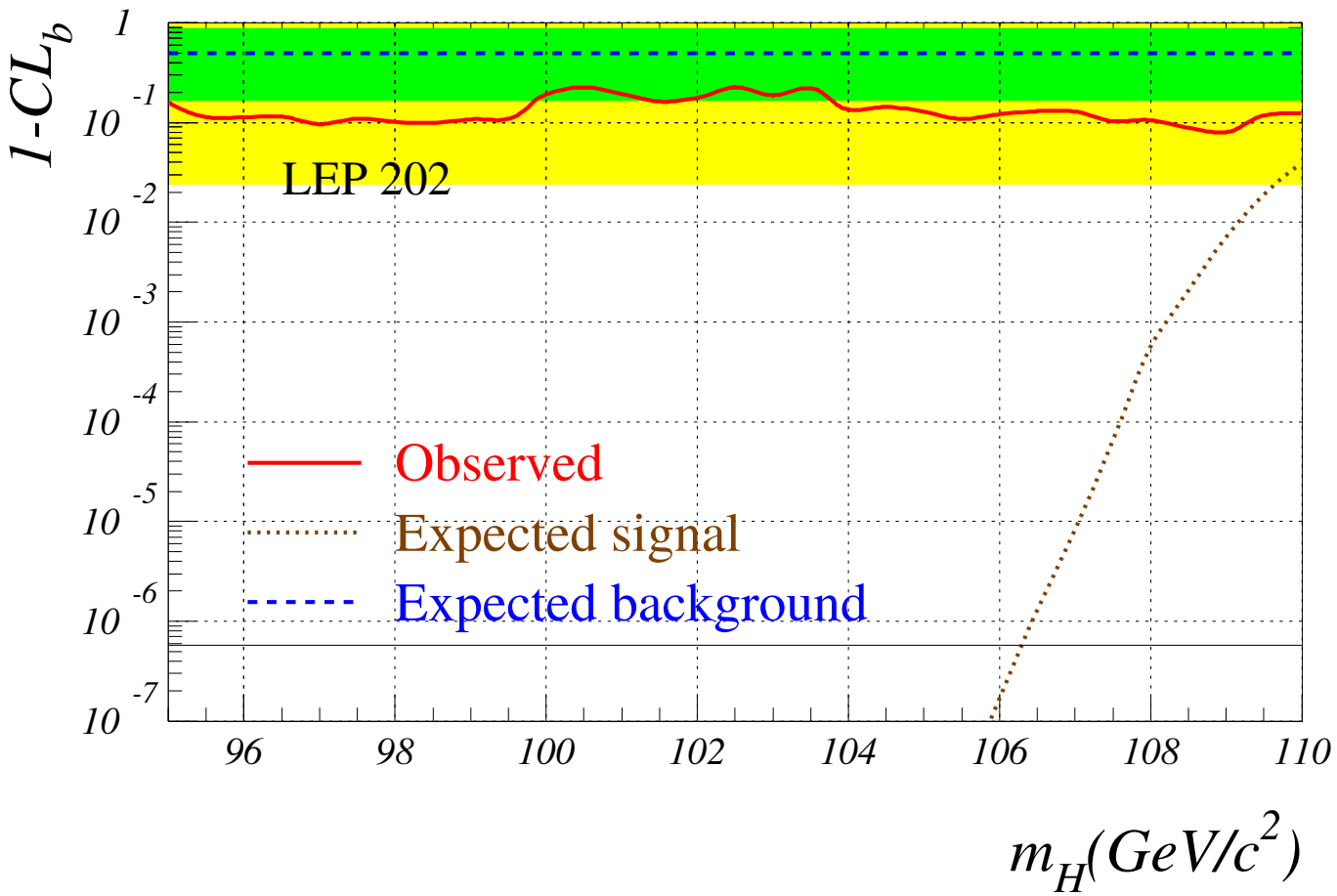
der einzelnen Kandidaten

Konfidenzgrenzen für

- Untergrund (b)
- Signal plus Untergrund (s+b)

Erwartungswerte aus vielen simulierten Experimenten

Kombination der LEP Experimente $\sqrt{s} \leq 202$ GeV:



$1 - CL_{\mathrm{b}} = 5.7 \cdot 10^{-7}$ entpricht 5σ Entdeckung

- LEP Daten sind mit dem Untergrund verträglich
- Higgs-Entdeckung bis $m_{\mathrm{H}} = 106$ GeV möglich

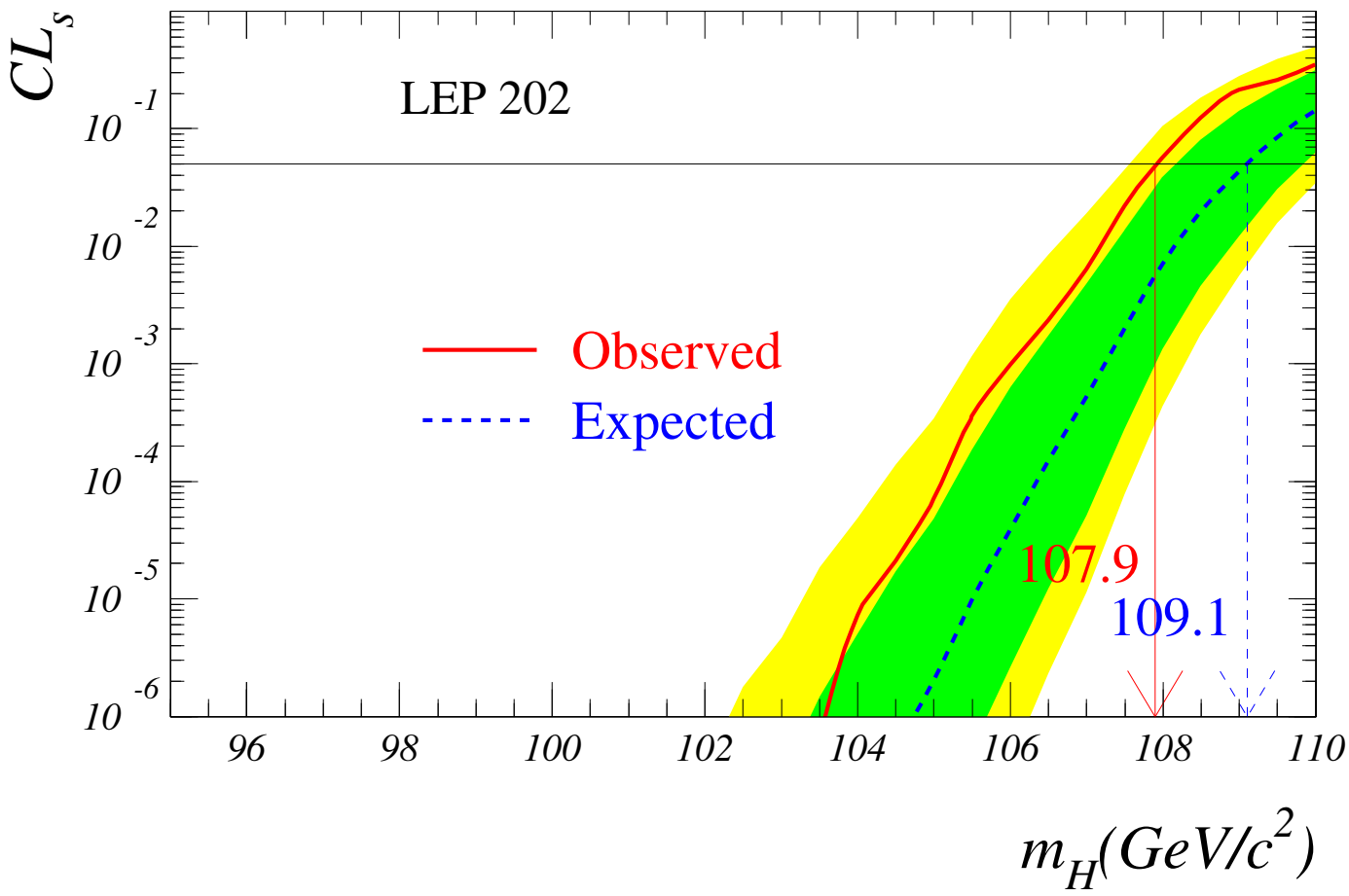
Signalwahrscheinlichkeit

$$CL_{\mathrm{s}}(m_{\mathrm{H}}) = \frac{CL_{\mathrm{s+b}}}{CL_{\mathrm{b}}} < 0.05$$

Resultate der LEP Experimente ($\sqrt{s} \leq 202$ GeV):

	95% CL Grenze:	Erwartet:
ALEPH	$m_{\mathrm{H}} > 107.7$ GeV	107.7 GeV
DELPHI	$m_{\mathrm{H}} > 103.9$ GeV	106.3 GeV
L3	$m_{\mathrm{H}} > 106.0$ GeV	105.3 GeV
OPAL	$m_{\mathrm{H}} > 103.0$ GeV	105.2 GeV

Kombination der LEP Experimente:



LEP : $m_{\mathrm{H}} > 107.7$ GeV

(inkl. systematischem Fehler)

Higgs Bosonen im MSSM:

2 Higgs-Dubletts $\Rightarrow$ 5 beoachtbare Higgs Bosonen

- **Neutral :** CP $+1$ **h, H** $(m_{\mathrm{h}} \leq m_{\mathrm{H}})$
  CP -1 **A**
- **Geladen:** $\mathrm{H}^{\pm}$

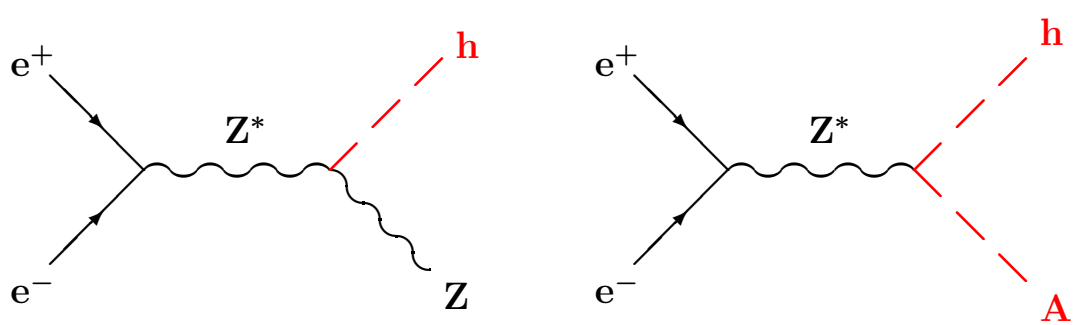
Theoretische Vorhersagen für die Massen:

- **In niedrigster Ordnung** $m_{\mathrm{h}} < m_{\mathrm{Z}}$
  Strahlungskorrekturen $(m_{\mathrm{t}}^4,\ \log m_{\tilde{\mathrm{t}}})$**:**

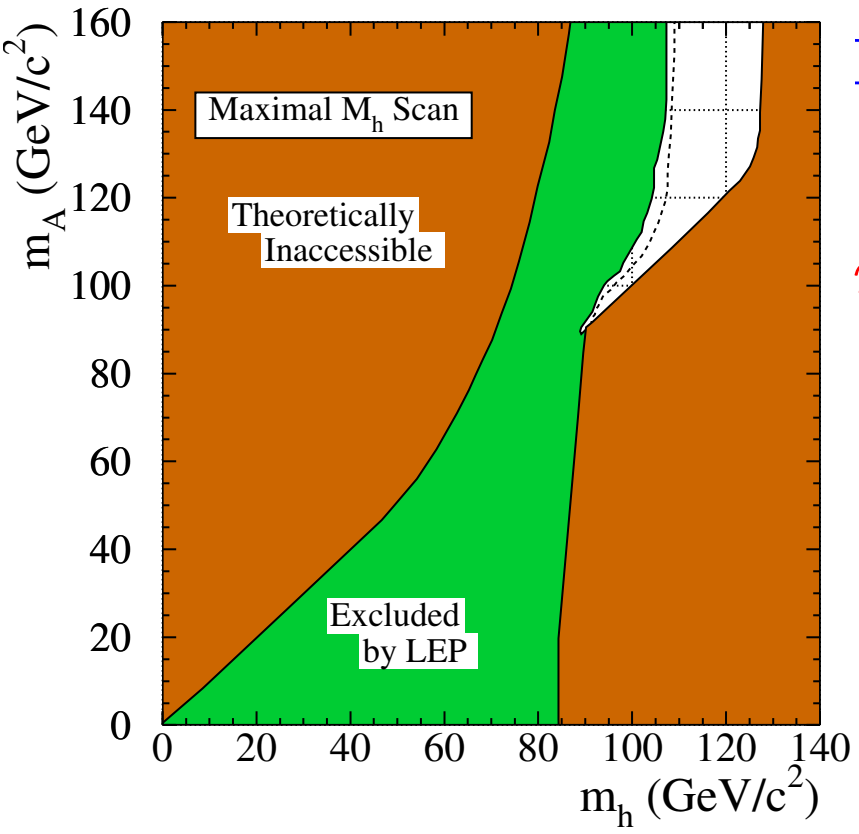
  $$m_{\mathrm{h}} \lesssim 130 \text{ GeV}$$
- **Geladene Higgs:** $m_{\mathrm{H}^{\pm}} > m_{\mathrm{W}}$

Wirkungsquerschnitt für h und A Bosonen abhängig von
β **Verhältnis der VEW** $(= \tan\beta)$ **und**
α **CP** $+1$ **Mischungswinkel:**

$\sigma \propto \sin^2(\beta - \alpha)$: $\sigma \propto \cos^2(\beta - \alpha)$:



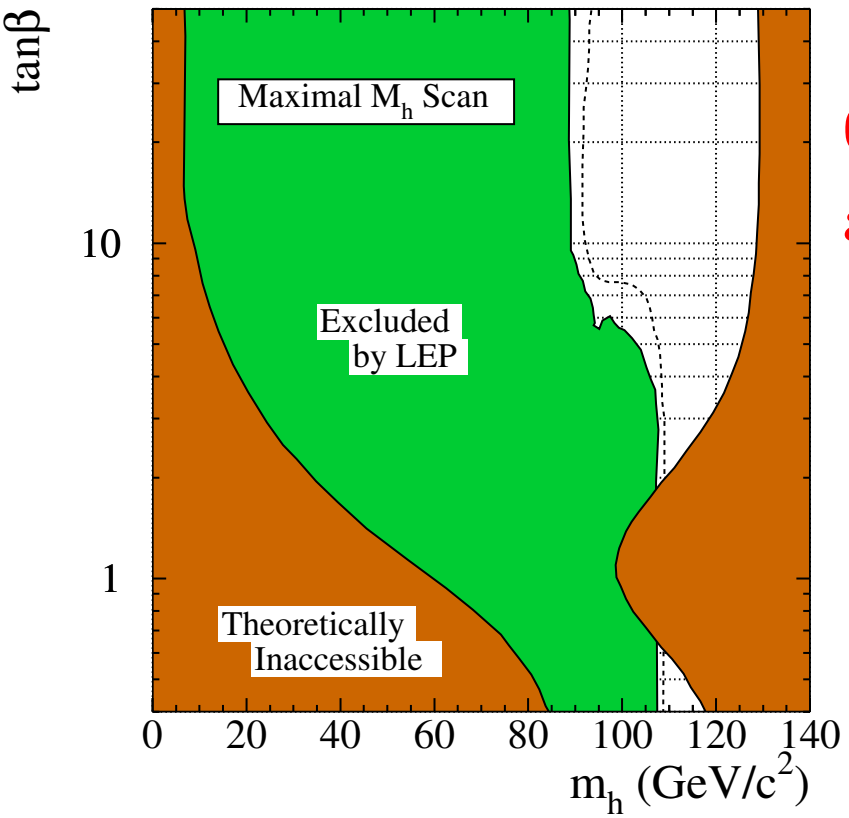
$\mathrm{e^+e^-} \to$ **hZ: gleiche Signatur wie SM Higgs**
$\mathrm{e^+e^-} \to$ **hA: 4 b-Quarks im Endzustand**



LEP:

$m_{\mathrm{h}} > 88.3$ GeV

$m_{\mathrm{A}} > 88.4$ GeV



$0.7 \leq \tan\beta \leq 1.8$ ausgeschlossen

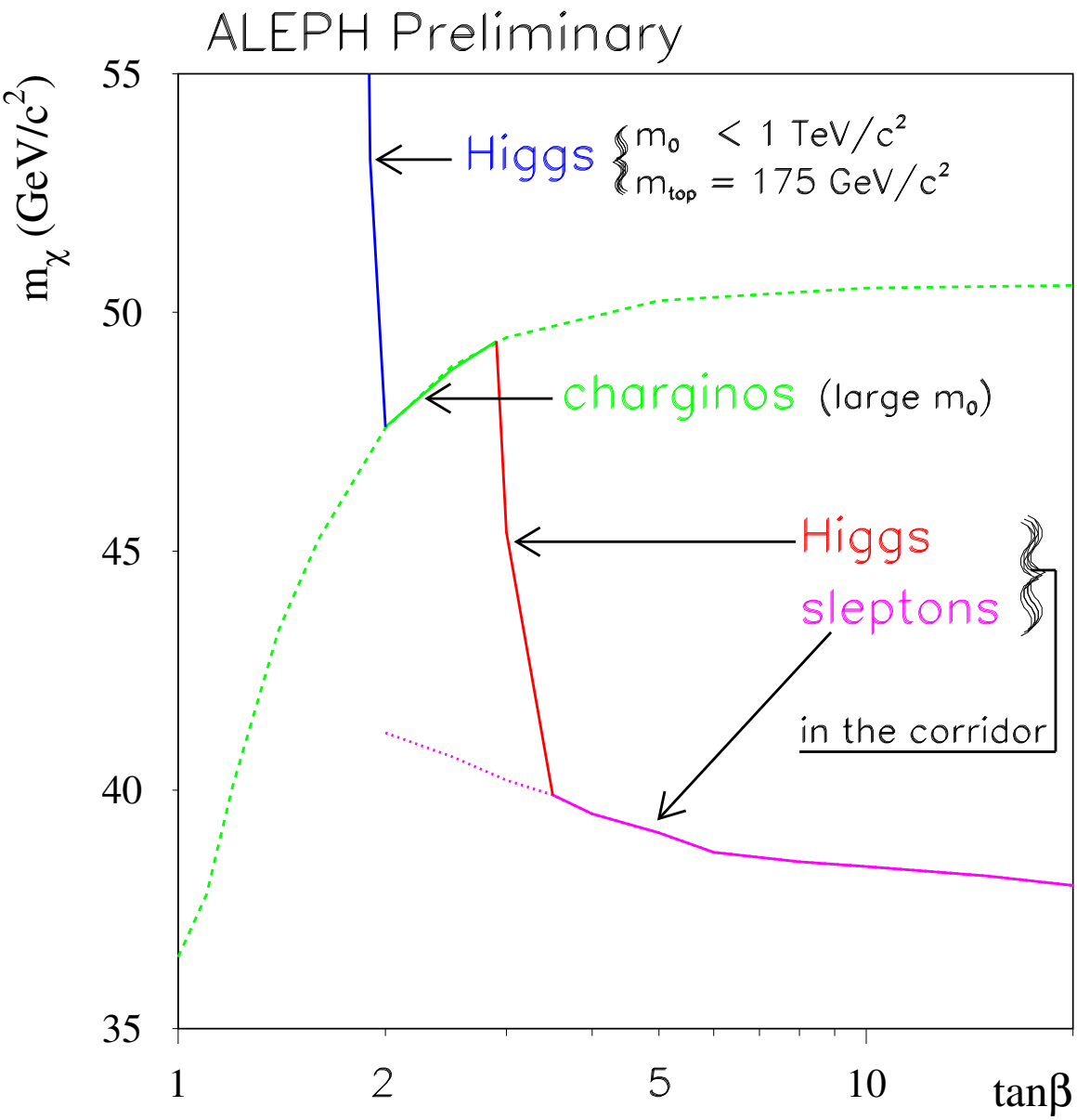
($m_{\mathrm{t}} = 174.3$)

MSSM Parameter:

Setze $M_{\mathrm{SUSY}} = 1$ TeV, $M_2 = 200$ GeV, $\mu = -200$ GeV und $\tilde{\mathrm{t}}_1$ Mischung um m_{h} zu maximieren

Einbeziehen der Higgs-Suche in Scan über MSSM Parameter

ALEPH Analyse:
Grenze für Neutralino-Masse



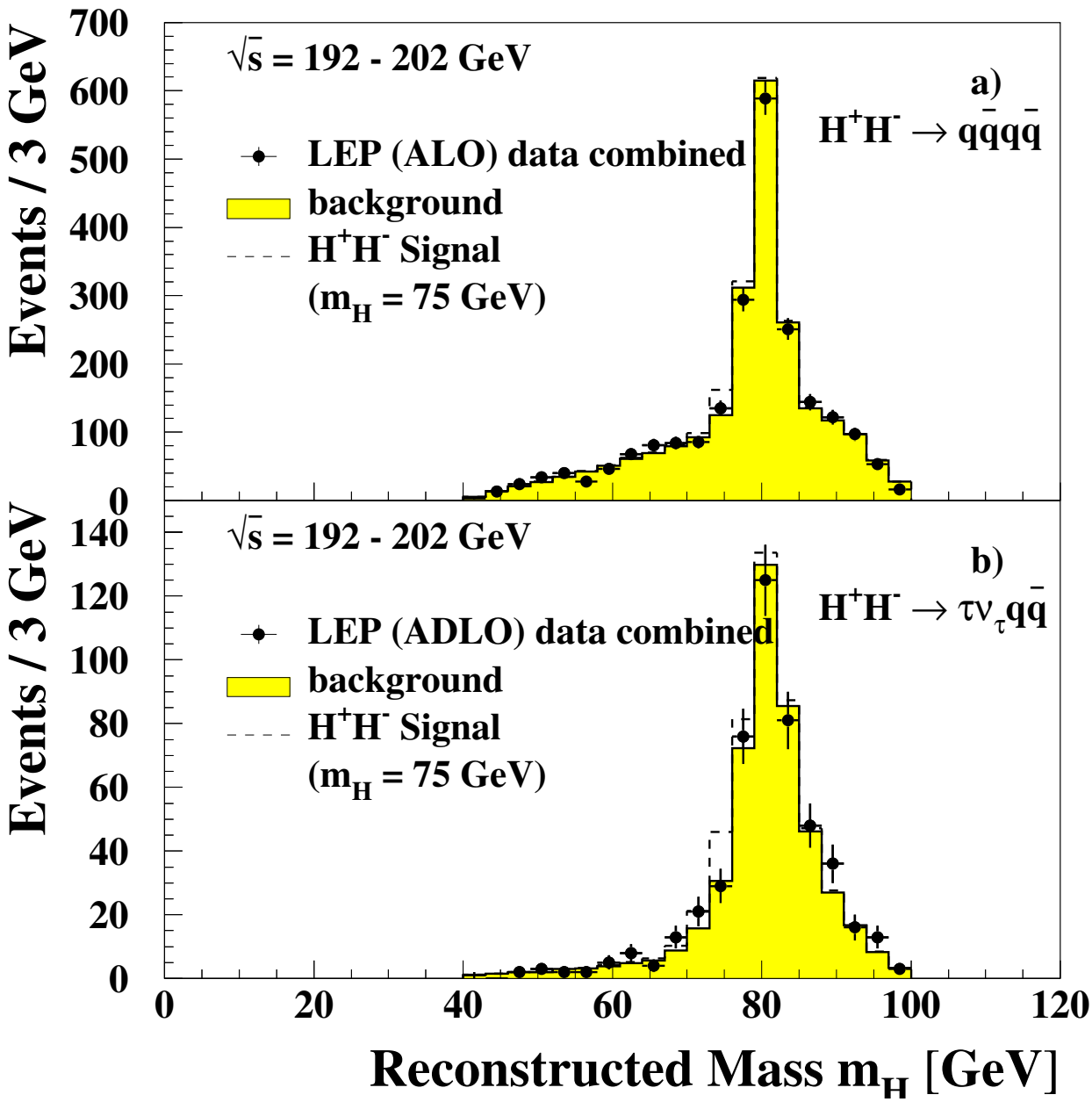
Modelle mit zwei Higgs-Dubletts
$\Rightarrow$ geladene Higgs Bosonen

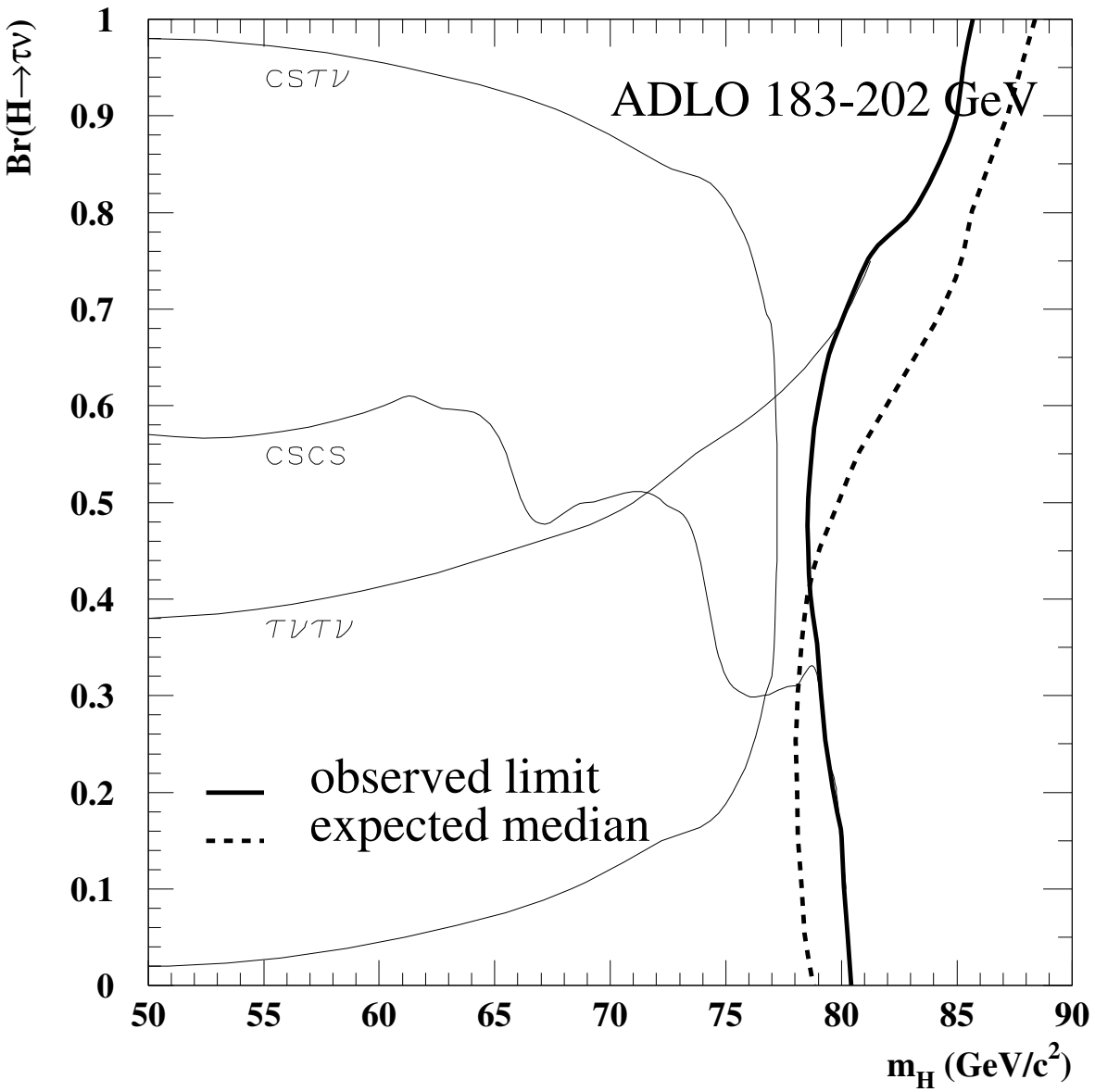
Suche bei LEP: $e^+e^- \rightarrow H^+H^-$

Einzige Annahme $H^+ \rightarrow c\bar{s}$ oder $H^+ \rightarrow \tau\nu_\tau$

Untergrund $e^+e^- \rightarrow W^+W^-$

Kombinierte Massenspektren der LEP Experimente:

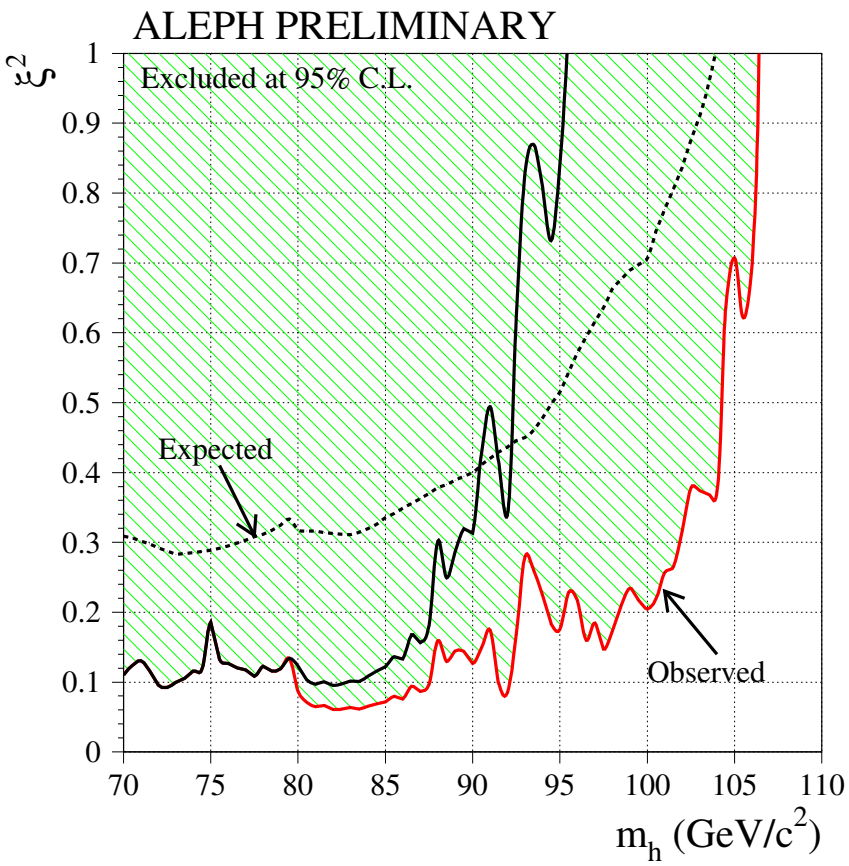




LEP : $m_{\mathrm{H}^{\pm}} > 78.6$ GeV

unabhängig vom Verzweigungsverhältnis $BR(\mathrm{H}^{+} \to \tau\nu_{\tau})$

- **Unsichtbare Higgs-Zerfälle, z.B. $h \to \tilde{\chi}_1^0\tilde{\chi}_1^0$**

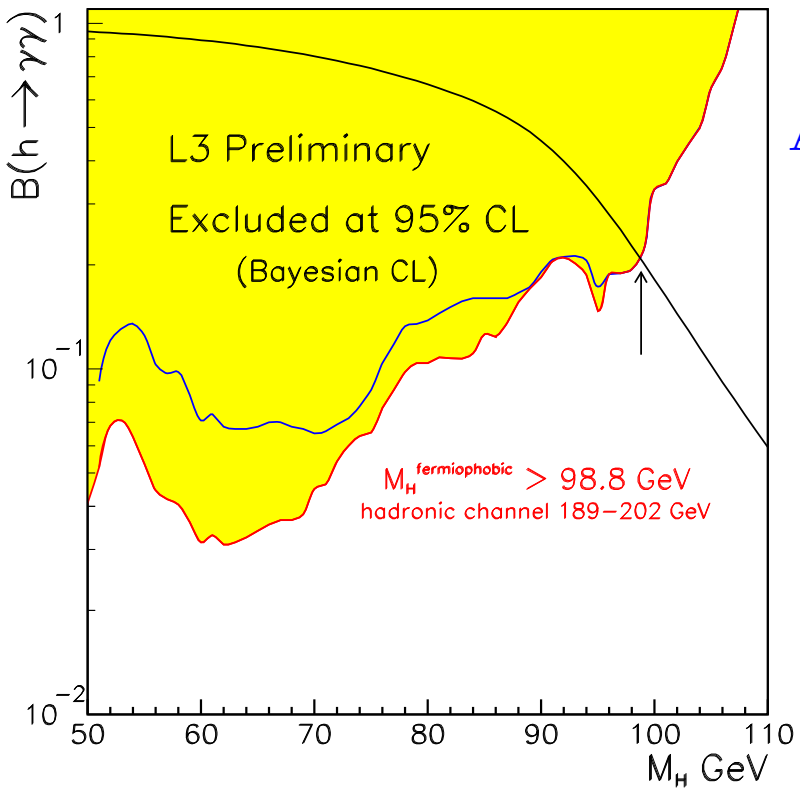


$\sigma = \zeta^2 \sigma_H^{SM}$

Für $\zeta = 1$

$m_h > 106.4$ GeV

- **Fermiophobisches Higgs, d.h. $h \not\to f\bar{f}$**



Analysis of $e^+e^- \to q\bar{q}\gamma\gamma$

$m_h > 98.8$ GeV

- LEP II: 500 pb^{-1} pro Experiment bei Energien bis zu $\sqrt{s} = 202$ GeV
- Das SM beschreibt alle Beobachtungen
- Suche nach dem SM Higgs Boson

$$m_{\mathrm{H}} > 107.7 \text{ GeV}$$

- Messung schwacher Strahlungskorrekturen

$$m_{\mathrm{H}} < 188 \text{ GeV}$$

- Letzter LEP Run: April - September 2000
- Weitere Erhöhung der Energie möglich

$\Rightarrow$ Ausdehnung des kinematischen Bereichs für die Suche nach dem Higgs Boson

- m_{H} aus Strahlungskorrekturen:
  Reduzierung der Fehler $\alpha(m_{\mathrm{Z}})$,m_{W} und m_{t} erwartet
  $\Rightarrow$ verbesserter Fehler auf $\log m_{\mathrm{H}}/\mathrm{GeV}$

Direkte Higgs-Suche nach LEP:

- TEVATRON Run II & III
  30 fb^{-1} bis zum Jahr 2007
  $m_{\mathrm{H}} \leq 180$ GeV
- ab 2005 LHC
  Abdeckung des gesamten Massenbereiches
  110 GeV $\leq m_{\mathrm{H}} \leq 1$ TeV