W-Physik und Suche nach neuen Teilchen bei LEP-2

Michael Kobel

Fakultät für Physik, Universität Freiburg

Email: `Michael.Kobel@cern.ch`

DPG Frühjahrstagung 1997

21. März 1997

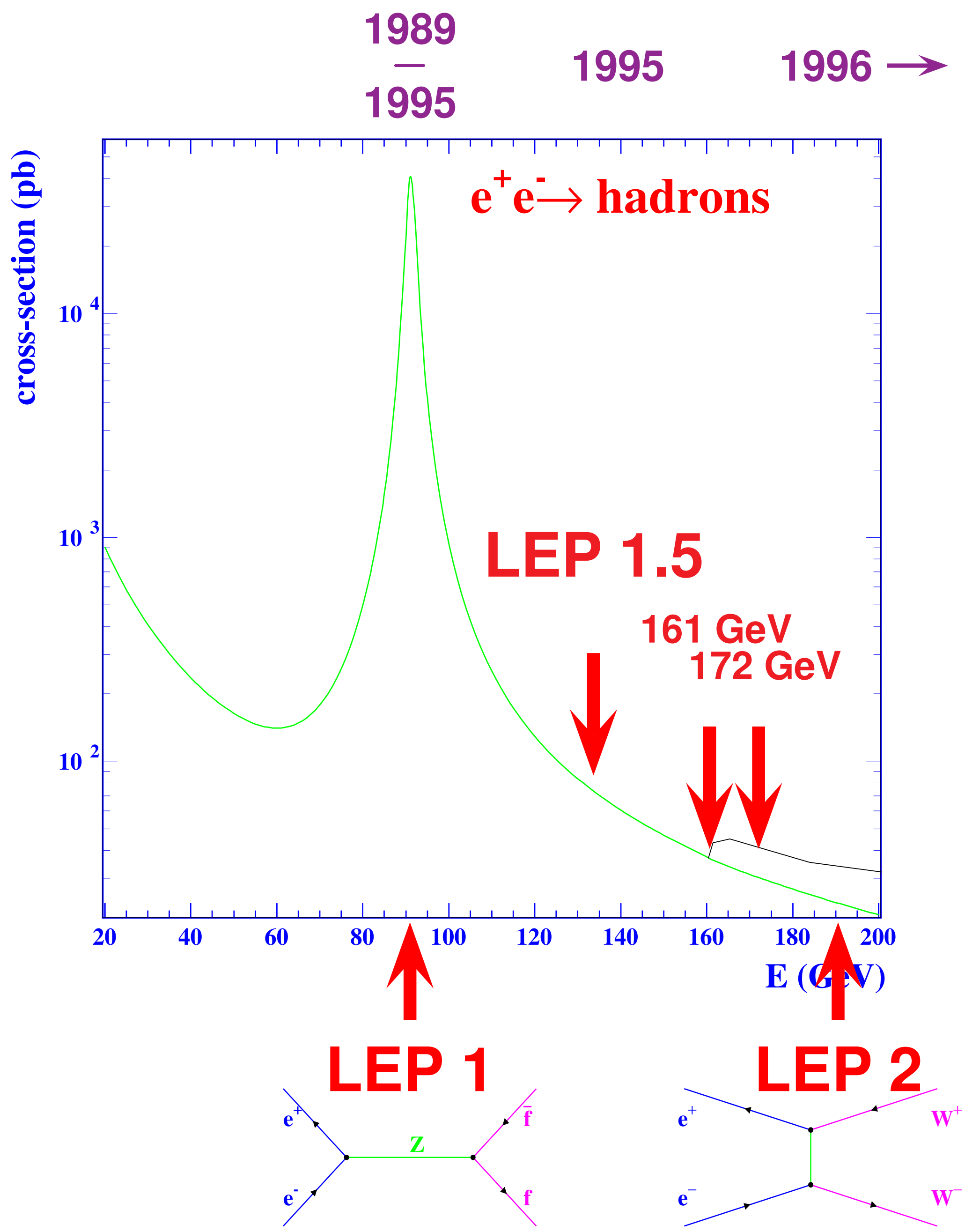
Vielen Dank an alle LEP Kollaborationen,
besonderen Dank an die LEP Elektroschwache Arbeitsgruppe
(Bob Clare, Christoph Paus, et al.)

Inhalt

- LEP oberhalb der Z^0 Resonanz
- W-Physik
  - W^+W^--Wirkungsquerschnitte
  - W-Verzweigungsverhältnisse
  - W-Masse
  - Anomale 3-Boson Kopplungen (Paar- oder Einzelproduktion)
- Suchen nach neuen Teilchen
  - Higgs
  - ALEPH 4-Jet Anomalie
  - Ein wenig Supersymmetrie
  - Keine Angeregten / Schweren Leptonen
  - Aber vielleicht Leptoquarks?
- Zusammenfassung und Ausblick

Auslassungen unvermeidlich $\longrightarrow$ Fachvorträge !

LEP oberhalb der Z^0 Resonanz



- Wirkungsquerschnitte:

1000 – 10000 pb: eγ und $\gamma\gamma$ Kollisionen

10 – 100 pb: ee$\longrightarrow$ff (El-schwach,QCD)

1 – 10 pb: W-Physik

0.1 – 1 pb: Suchen nach neuer Physik

Verfügbare Datenmengen pro Experiment

nb Regime

LEP-1	$\sqrt{s} \approx M_Z$	$\int \mathcal{L}dt \approx 150$ pb^{-1}

200.000 $Z^0 \rightarrow \ell^+\ell^-$ 4.000.000 $Z^0 \rightarrow q\bar{q}$

pb Regime

LEP-1.5	$\sqrt{s} \approx 133$ GeV	$\int \mathcal{L}dt \approx 5$ pb^{-1}
	40 $\ell^+\ell^-$	350 $q\bar{q}$
	65 $\gamma Z^0 \longrightarrow \gamma\ell^+\ell^-$	1200 $\gamma Z^0 \longrightarrow \gamma q\bar{q}$

LEP-2	$\sqrt{s} \approx 161$ GeV	$\int \mathcal{L}dt \approx 10$ pb^{-1}
30 W^+W^-	40 $\ell^+\ell^-$	300 $q\bar{q}$
	70 $\gamma Z^0 \longrightarrow \gamma\ell^+\ell^-$	1200 $\gamma Z^0 \longrightarrow \gamma q\bar{q}$

LEP-2	$\sqrt{s} \approx 172$ GeV	$\int \mathcal{L}dt \approx 10$ pb^{-1}
100 W^+W^-	35 $\ell^+\ell^-$	250 $q\bar{q}$
	60 $\gamma Z^0 \longrightarrow \gamma\ell^+\ell^-$	1000 $\gamma Z^0 \longrightarrow \gamma q\bar{q}$

- noch zu erwarten
  - $\sqrt{s} \approx 184$ GeV, $\int \mathcal{L}dt = 50 - 100$ pb^{-1}
  - $\sqrt{s} \approx 192$ GeV, $\int \mathcal{L}dt = 300 - 400$ pb^{-1}

Verständnis der LEP-2 Maschine

- **133 GeV:**
  Beweis der Funktionsfähigkeit
  - Nur 4 Tage Anlaufdauer
  - Routinemäßige Segmentierung der Elektronenpakete (‘bunch-trains’)

- **161-172 GeV:**
  Erfahrungen (und Bierflaschen) **gesammelt**
  - Strahloptik:
    Modell vs. Realität getestet
  - Peak-Luminositäten:
    vielversprechend $\sim 3 \times 10^{31}$ cm^{-2}s^{-1}

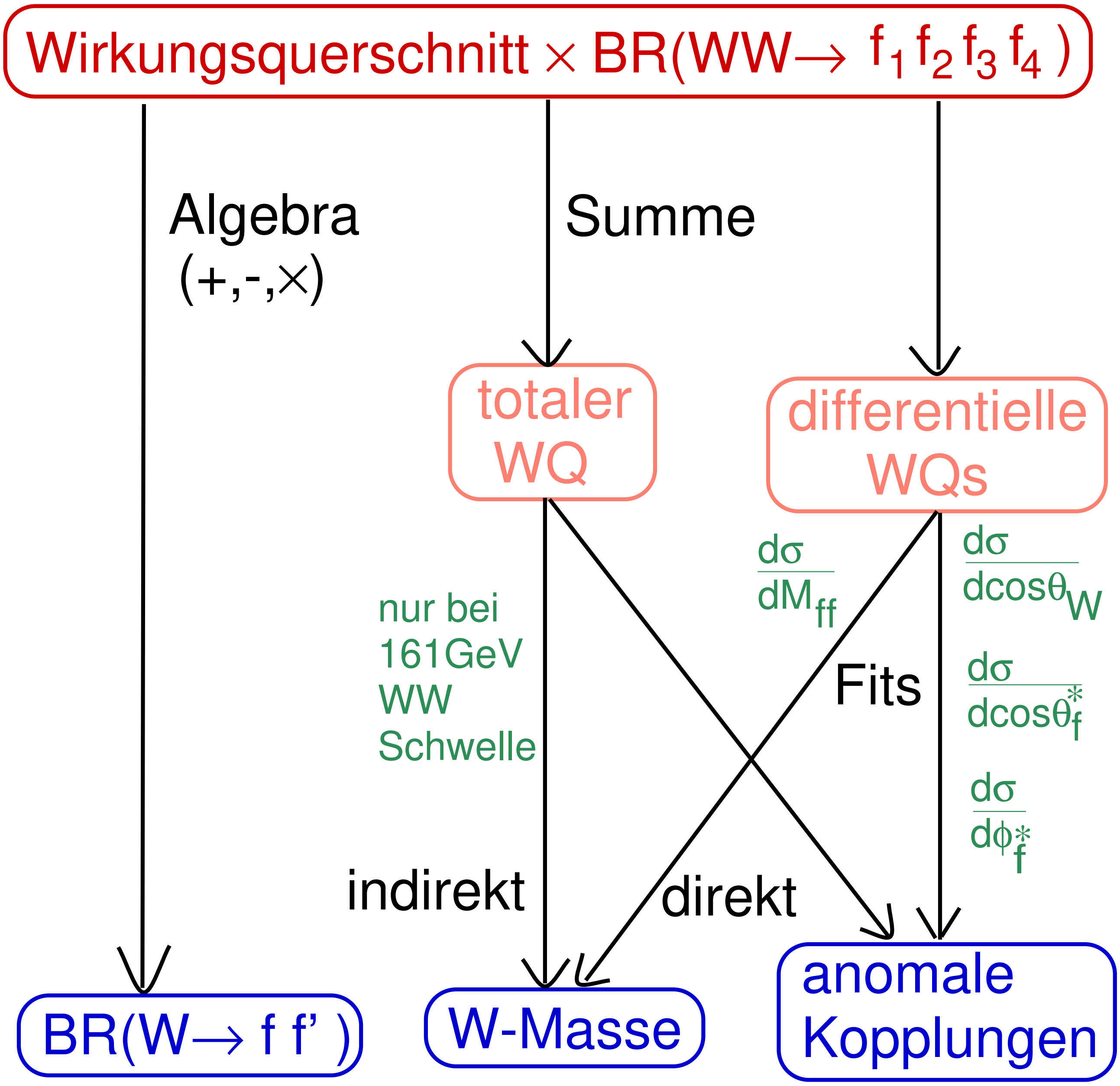
- $\triangle$ **Strahlenergie** $\leftrightarrow$ $\triangle$ **W-Masse**

$\sqrt{s}$/GeV	161	172	> 180
$\Delta(E_{\mathrm{Strahl}})$	27 MeV	30 MeV	17 MeV?

Beeindruckende Leistungen der Maschinen- und Energiegruppe

W-Physik

Prinzip der Messungen

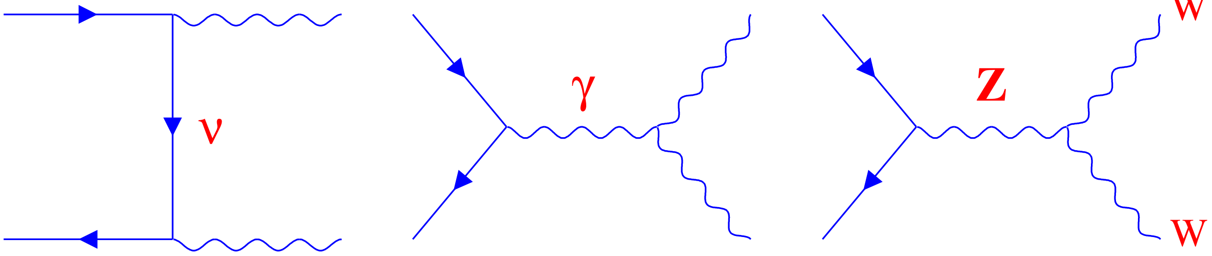


W-Physik

Messung des W^+W^- Wirkungsquerschnitts

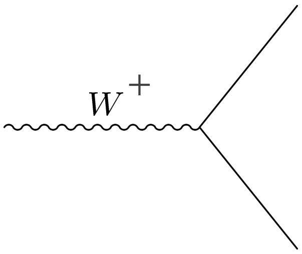
Produktion

$e^+e^- \to W^+W^-$ **Diagramme (CC03)**



Signal $\equiv$ Summe dieser Diagramme

Zerfall



u, u, u, c, c, c, ν_e, ν_μ, ν_τ

jeweils zu 1/9

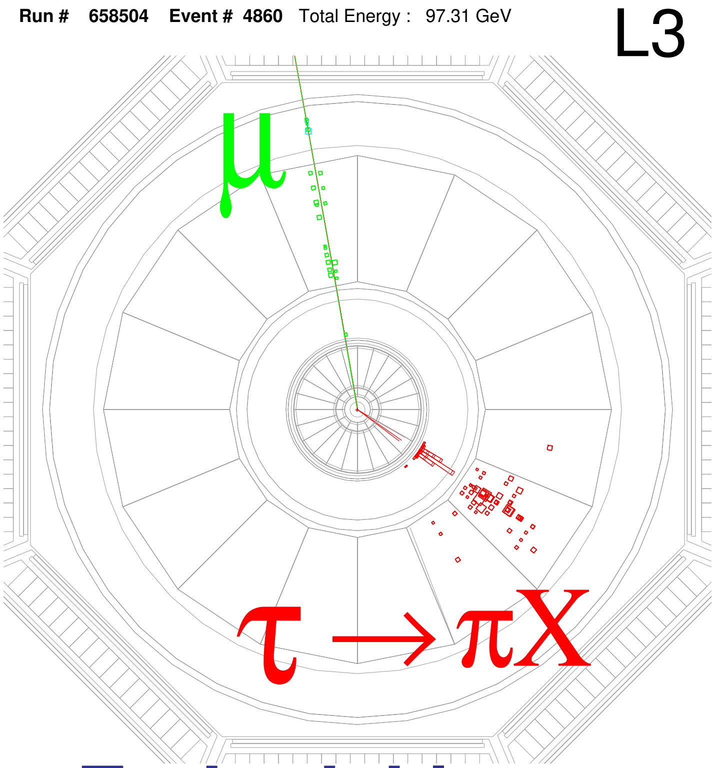
$\bar{d}$, $\bar{d}$, $\bar{d}$, $\bar{s}$, $\bar{s}$, $\bar{s}$, e^+, μ^+, τ^+

- **qqqq : 45%**
- **qq$\ell\nu$: 44%**
- **$\ell\nu_\ell\ell'\nu_{\ell'}$: 11%**

$\longrightarrow$ **10 verschiedene Endzustände**

W-Physik

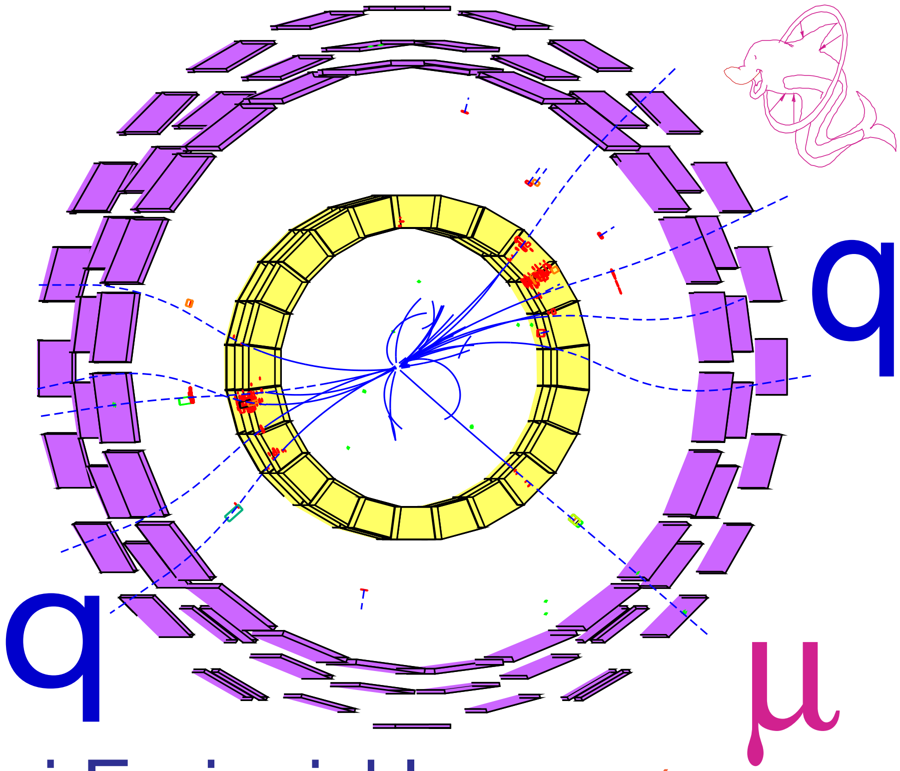
$\ell\nu_\ell\ell'\nu_{\ell'}$ Selektion



- **Sechs Ereignisklassen**
  (ee, $\mu\mu$, $\tau\tau$, $e\mu$, $e\tau$, $\mu\tau$)
- **Gemeinsame Eigenschaften**
  - Starke Akoplanarität
  - Hohe sichtbare Masse $m_{\ell\ell'}$
  - Identifizierung von e und μ möglich
- **Dominante Untergrundprozesse**
  - Radiative Leptonpaare: $\gamma\ell\ell$
  - Neutrale Ströme: $\nu\nu\ell\ell$, eeZ/γ^*
  - 2-Photon Physik $\gamma\gamma \to \ell\ell$

W-Physik

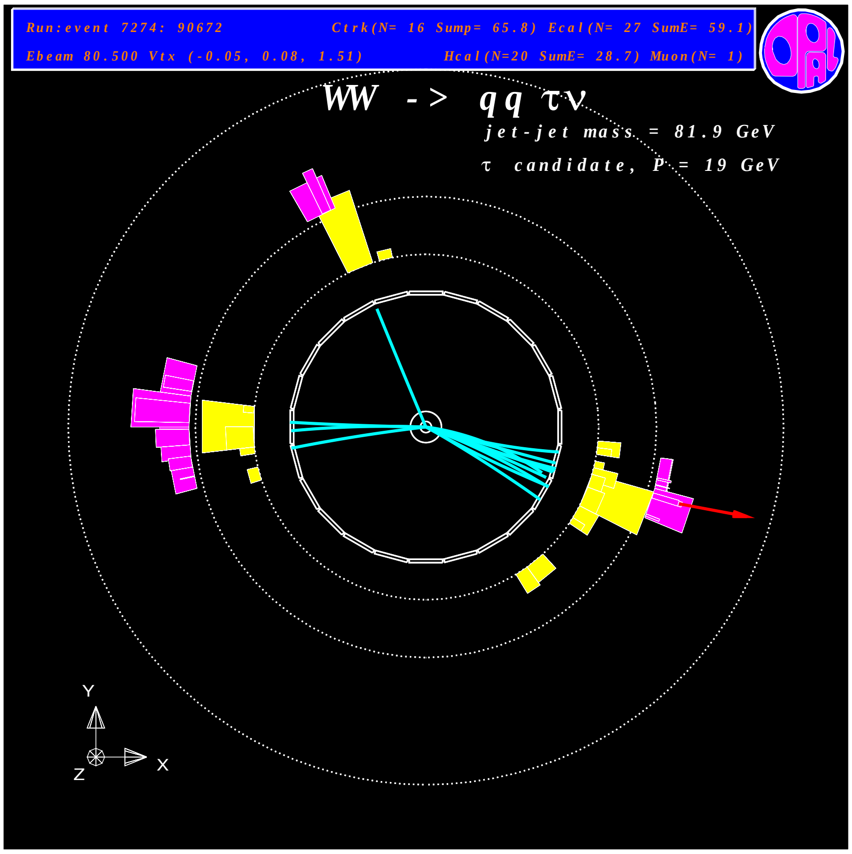
$qq\ell\nu_\ell$ (ℓ =e,μ) Selektion



- Zwei Ereignisklassen ($qqe\nu$,$qq\mu\nu$)
- Gemeinsame Eigenschaften
  - **Zwei Jets**
  - **Isoliertes Lepton**
  - **Fehlender Transversalimpuls**
- Dominante Untergrundprozesse
  - **Radiative Quarkpaare: γqq**
  - **Neutrale Ströme: $\ell\ell$qq**

W-Physik

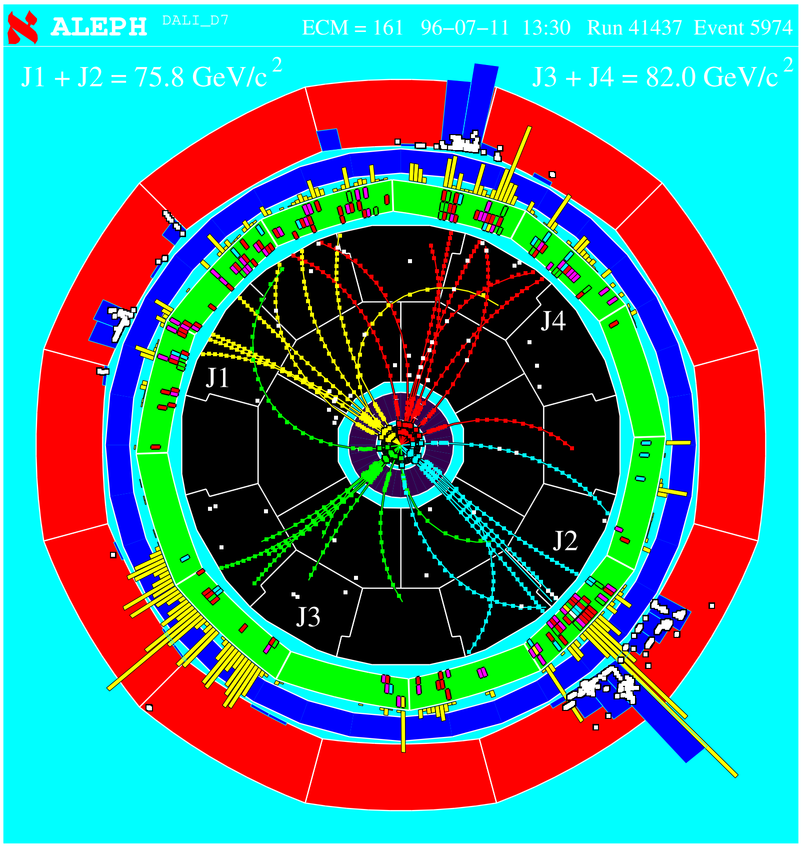
qq$\tau\nu_\tau$ Selektion



- **Charakteristik**
  - Drei Jets (einschließlich τ Jet)
  - Fehlende Masse ($\nu\nu$), fehlendes p_t
  - Globale und Likelihood-Selektionen
- **Dominante Untergrundprozesse**
  - Radiative Quarkpaare: γqq, qqg
  - Neutrale Ströme: $\ell\ell$qq

W-Physik

qqqq Selektion



- Charakteristik
  - Vier Jets
  - Keine fehlende (Energie,Impuls)
  - Globale Fits und Wahrscheinlichkeits-Selektionen

- Dominanter Untergrundprozess
  - QCD Jets: qqg(g)

W-Physik

Verzweigungsverhältnisse

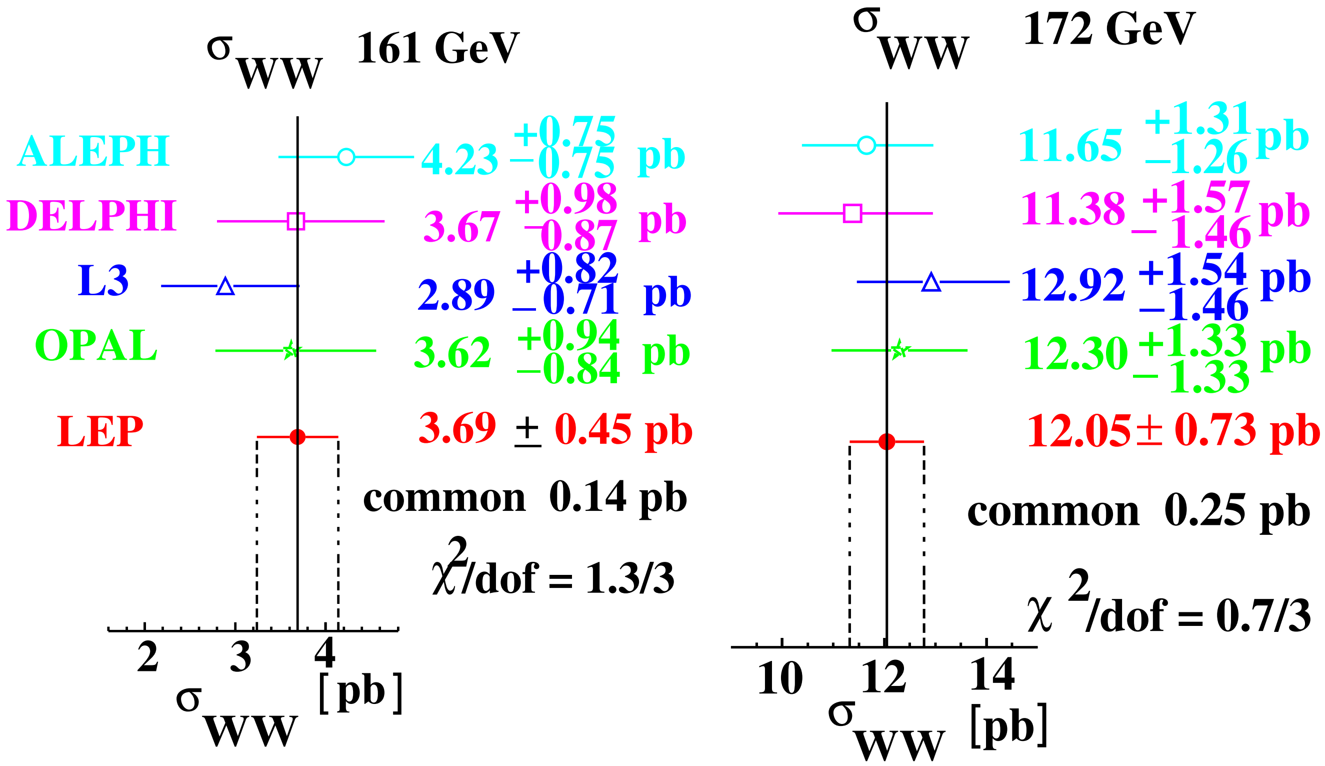
- Effizienzen $\varepsilon = \varepsilon$ (Endzustand)
  Reinheiten $p = p$ (Endzustand)
- Deutliche Verbesserung der Effizienzen von 161 GeV $\longrightarrow$ 172 GeV
- Höhere Reinheiten bei 172 GeV "gratis"

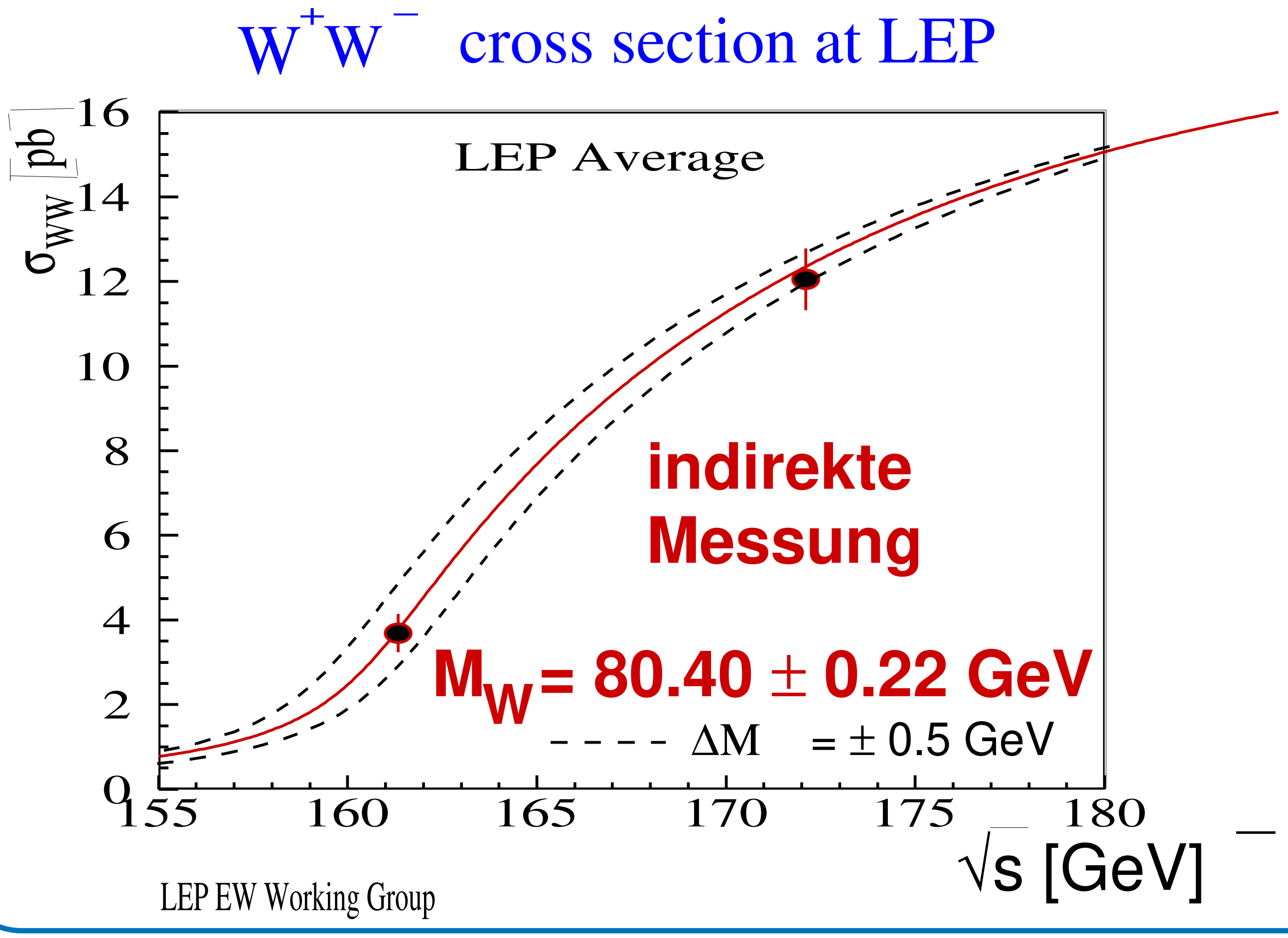
	$\ell\nu_\ell\ell'\nu_{\ell'}$	e/$\mu\nu$q	$\tau\nu_\tau qq$	qqqq
ε(161 GeV)	40 – 75%	71 – 86%	27 – 50%	57 – 61%
ε(172 GeV)	44 – 80%	72 – 92%	27 – 72%	76 – 83%
p(161 GeV)	**77 – 93%**	**95 – 97%**	**60 – 84%**	**64 – 74%**
p(172 GeV)	**91 – 97%**	**96 – 99%**	**80 – 95%**	**71 – 79%**
#(161 GeV)	2 – 6	5 – 12	3 – 7	9 –15
#(172 GeV)	3 – 10	29 – 34	10 – 22	55 – 64

- BR(W$\longrightarrow$qq,eν,$\mu\nu$,$\tau\nu$)
  Annahme: Leptonuniversalität
- Fit zu allen Ereignissen mit **1** Parameter
- BR(W$\longrightarrow$ $\ell\nu$) = 12.6$\pm$1.3$\pm$0.3% (L3)
  BR(W$\longrightarrow$ $\ell\nu$) = 10.4$\pm$1.3$\pm$0.3% (DELPHI)
  BR(W$\longrightarrow$ $\ell\nu$) = 10.2$\pm$1.2$\pm$0.3% (ALEPH)
- BR(W$\longrightarrow$eν) = 10.9$\pm$0.3$\pm$0.3% (CDF,indirekt)
  SM Vorhersage 10.8%

W-Physik

Wirkungsquerschnitte

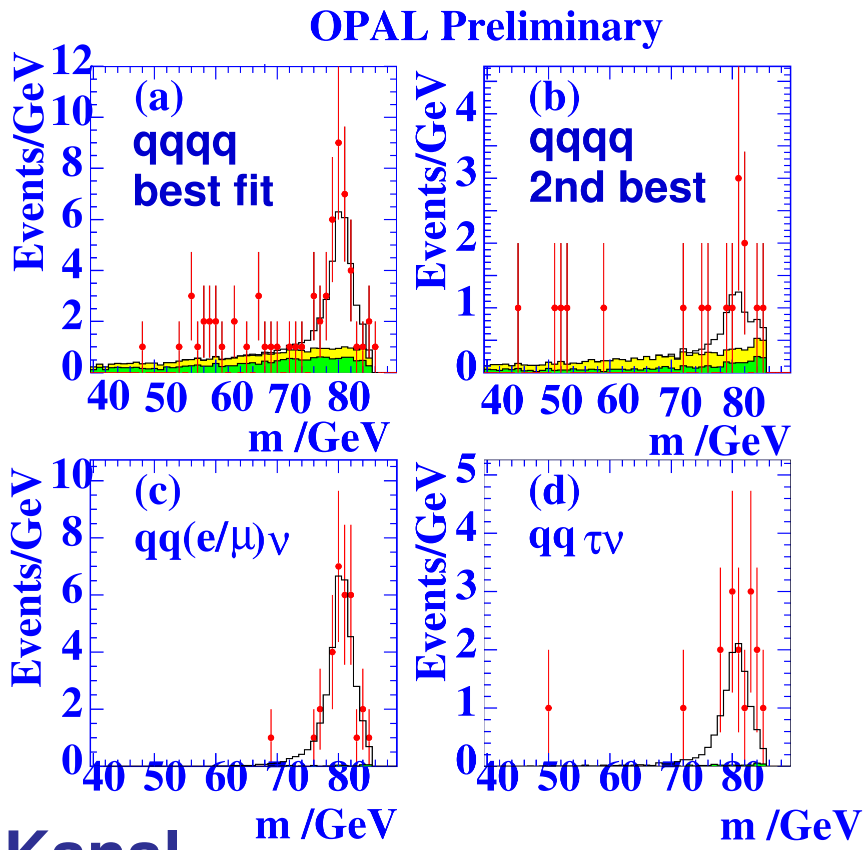




W-Physik

Direkte Massenbestimmung bei 172 GeV

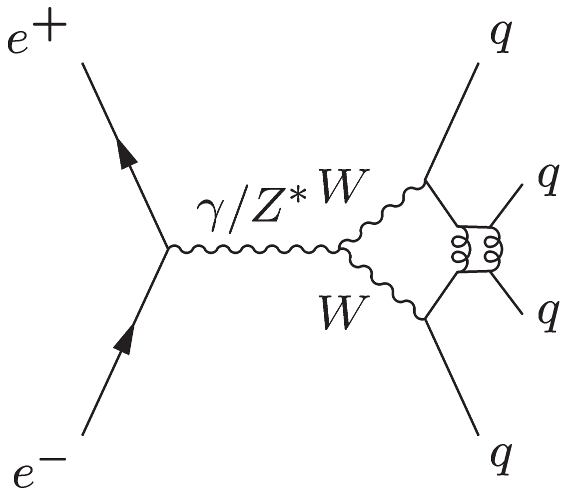
- Schwache $\sigma_{\mathrm{WW}}(M_{\mathrm{W}})$ Abhängigkeit
  $\longrightarrow$ direkte Rekonstruktion aus $M_{\mathrm{ff'}}$
- qqqq Kanal
  - Kinematischer Fit unter (E,p)-Erhaltung, ($M_{\mathrm{W1}}=M_{\mathrm{W2}}$)
  - Untergrund Parametrisierung
  - Kombinatorik (beste *und* zweitbeste Kombination)
  - Bias Korrektur aus MC (ISR, Detektor)



- $\mathrm{qq}\ell\nu$ Kanal
  - Kinematischer Fit ohne Neutrino Impuls
  - Für qq$\tau\nu$ Randbedingung $E\mathrm{qq} = E_{\mathrm{Strahl}}$

W-Physik

Theoretische Unsicherheiten

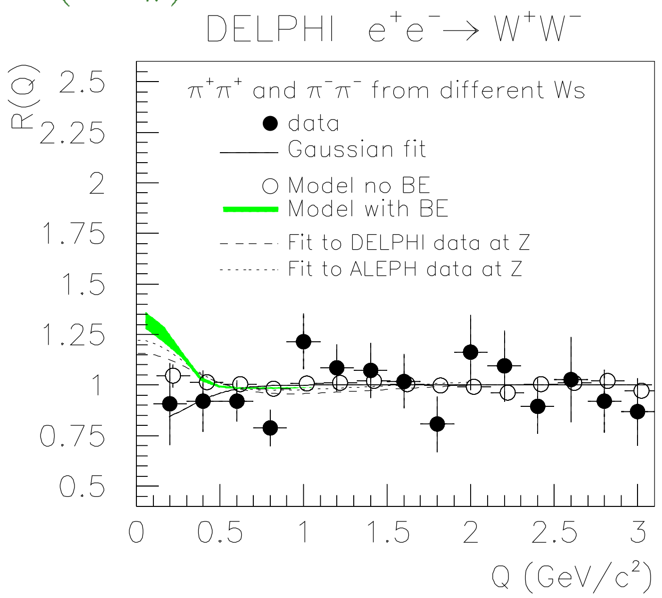


- **Starke Endzustands-WW *nur* in qqqq**
  - Gluonenaustausch ('color reconnection')
  - Bose-Einstein Korrelationen, z.B. $\pi^+\pi^+$ aus verschiedenen W Zerfällen
- **Einfluß auf M_{W}-Messung unbekannt**
  - (hoffentlich) konservative Schätzung: $|\Delta M_{\mathrm{W}}| < 100$ MeV

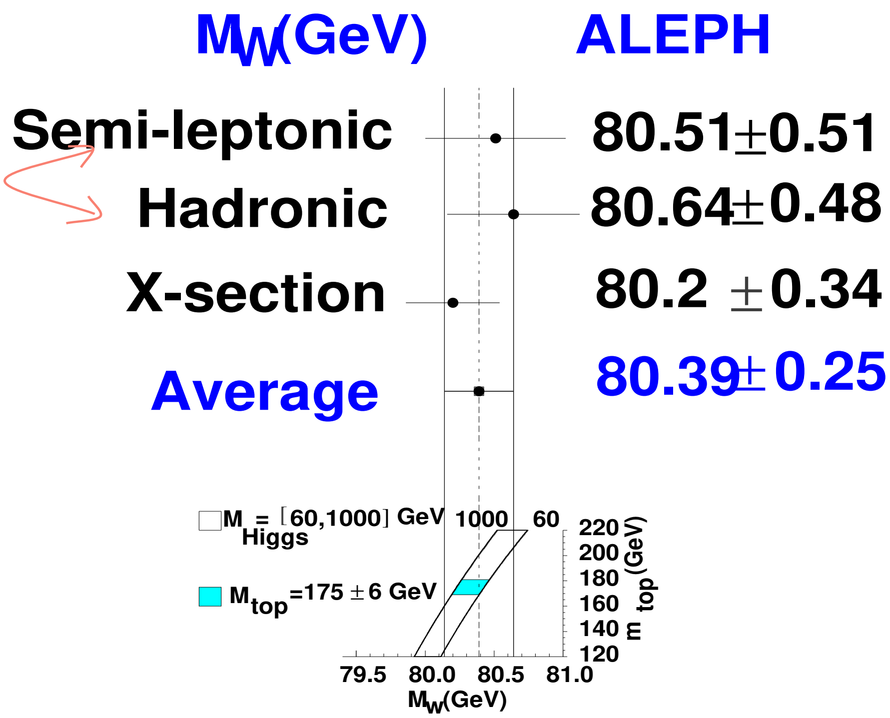
W-Physik

Endzustands-WWirkungen

- Erste Studien anhand der Daten beginnen
  - Direkte Suche nach BE Korrelationen
  - Korrelation identischer Bosonen bei $Q^2 = M^2_{\pi\pi} - (2m_\pi)^2 \approx 0$?



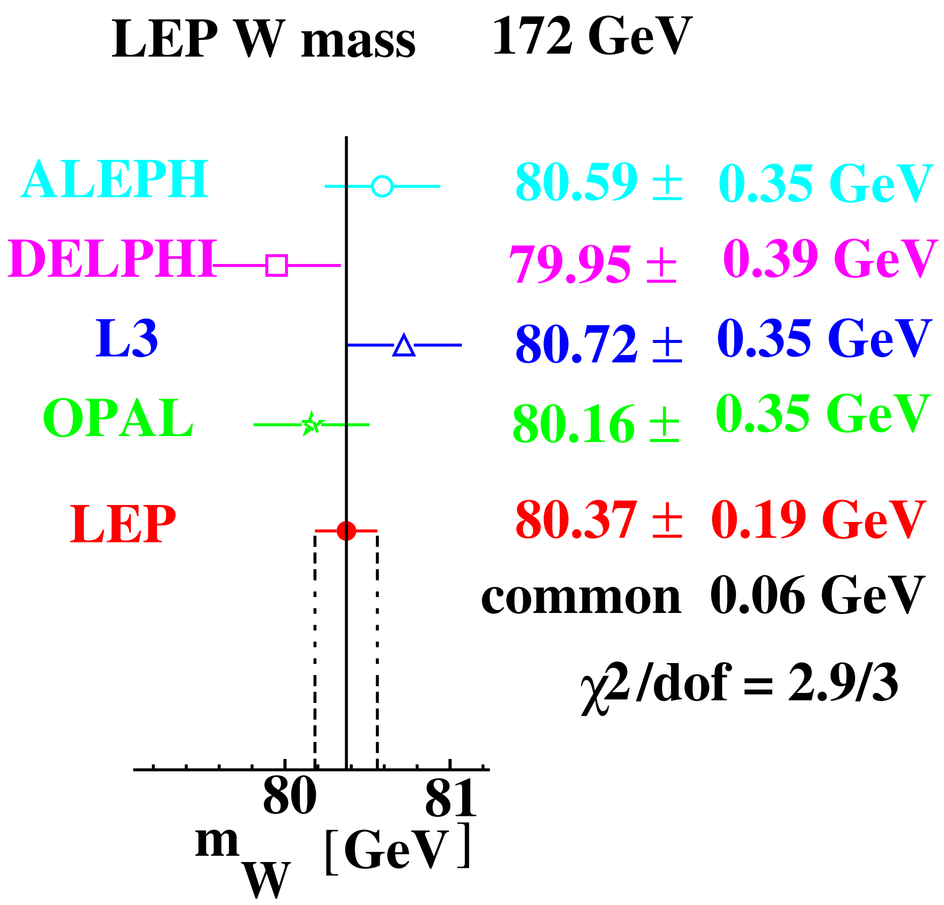
  - Vergleich der Massen $qq\ell\nu \leftrightarrow$ qqqq



W-Physik

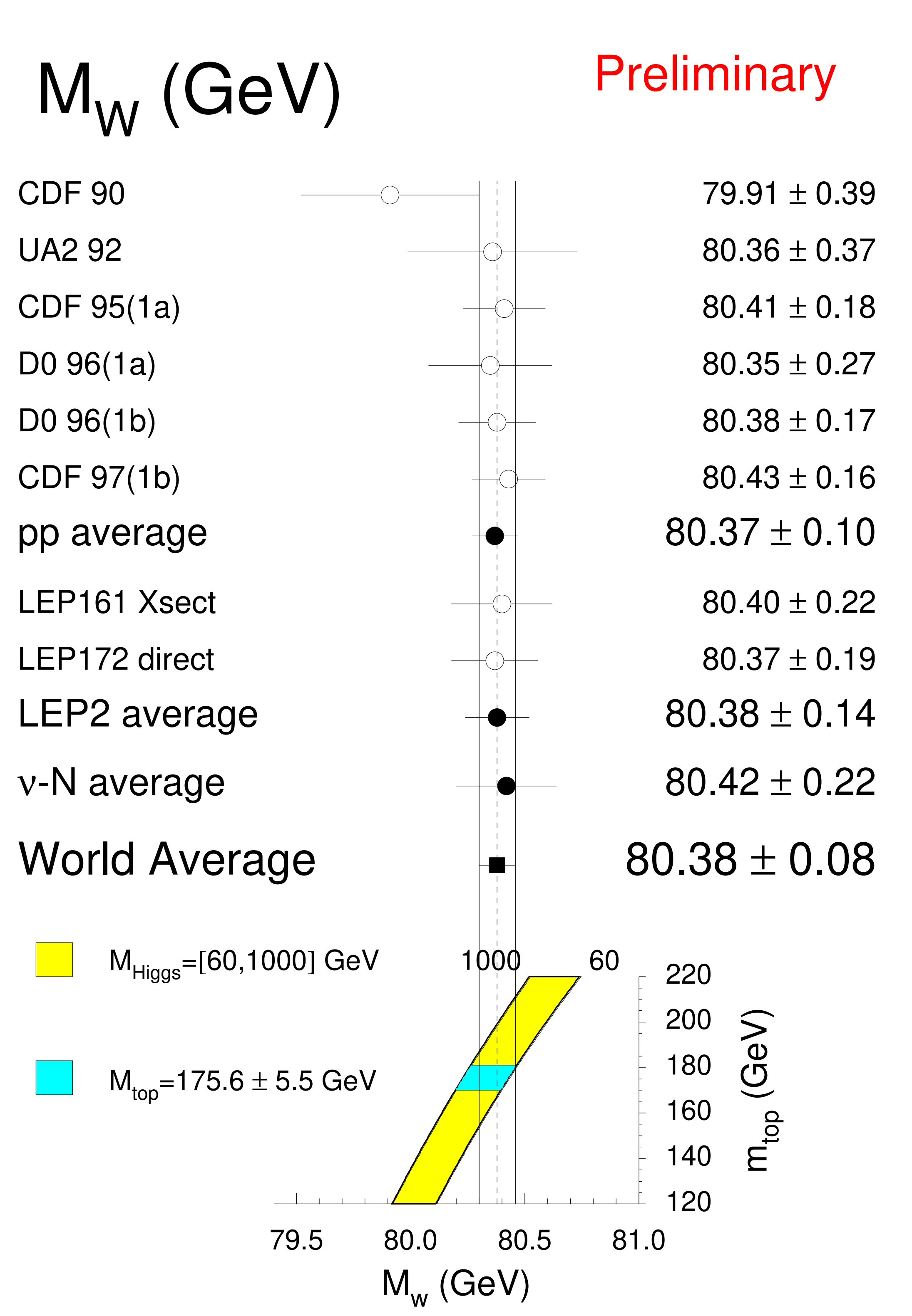
Direkte Messung der W Masse

- Typische Unsicherheiten der einzelnen Experimente
  - 0.34 GeV Statistisch
  - 0.09 GeV Exp. Systematik (Detektor, Untergrund)
  - 0.05 GeV Theor. Systematik (Endzustands-WWirkungen)
  - 0.03 GeV LEP Strahl Energie



W-Physik

Alle Messungen der W Masse



W-Physik

Bedeutung der W Massenmessung

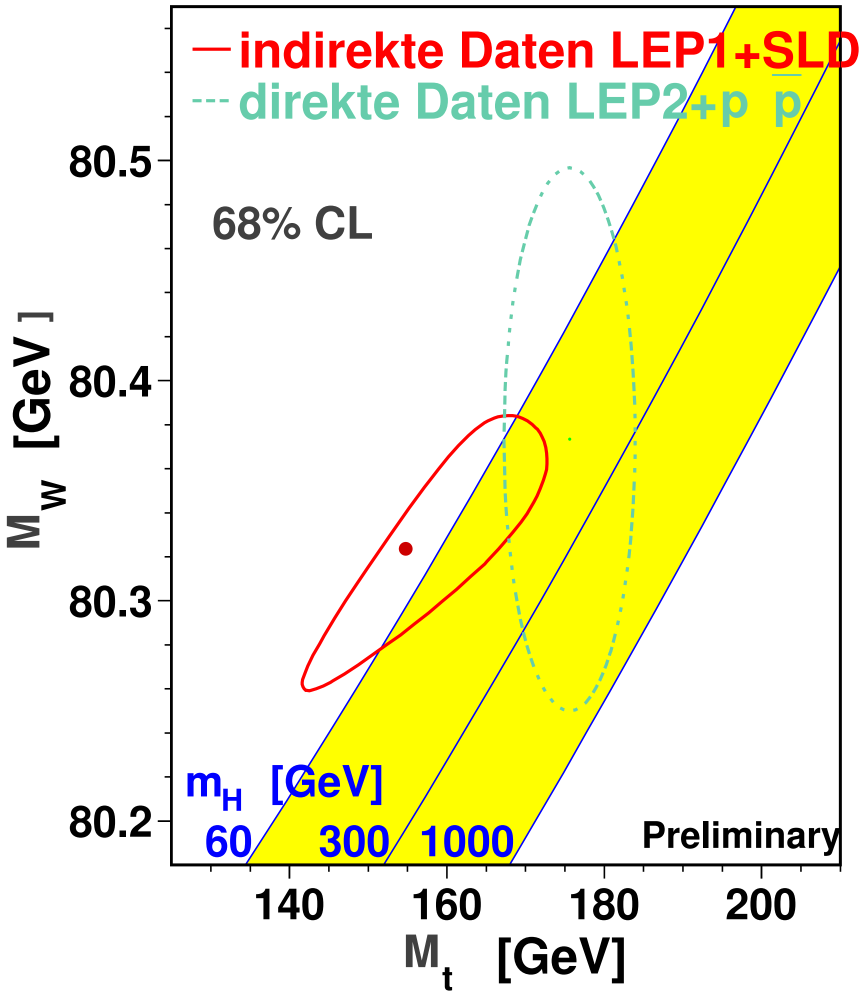
- **Fundamentaler Test des SM**

  $M_W = f_{Born}(\alpha_{em}, G_\mu, M_Z) + f_{corr}(M_t, \log M_H)$

  – $M_W = 80.32 \pm 0.04$ **GeV**
  Vorhersage **aus El-schwachem Fit**

  – $M_W = 80.37 \pm 0.08$ **GeV**
  Direkte Messungen $p\bar{p}$, **LEP-2**

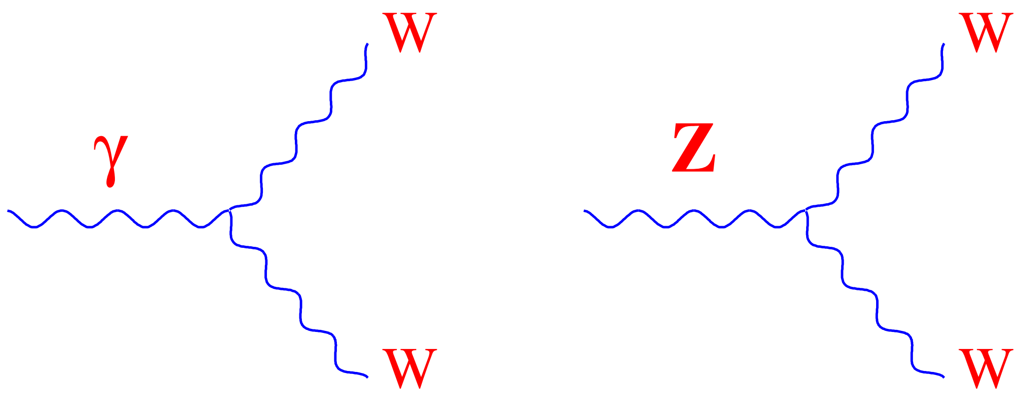
- **Erlaubt Eingrenzung des Higgs (im SM)**



Triple Gaugeboson Vertex

Noch ein TGV Effekt?

- W Erzeugung ermöglicht präzise Tests des 3-Eichbosonen Vertex
- C,P,CP Erhaltung $\longrightarrow$ 5 freie Parameter in WWirkungs-Langrangefunktion L
  (in Mono-, Di-, und Quadrupoltermen L_0, L_1, L_2)
- Alle 5 Parameter sind Null im SM



$$
\begin{aligned}
L_{\text{eff}} = L_0^{\gamma\mathrm{WW}} &\times 1 & +L_0^{\mathrm{ZWW}} &\times (\cot\theta_w + \delta_\mathrm{Z}) \\
+L_1^{\gamma\mathrm{WW}} &\times (1 + x_\gamma) & +L_1^{\mathrm{ZWW}} &\times (\cot\theta_w + \delta_\mathrm{Z} + x_\mathrm{Z}) \\
+L_2^{\gamma\mathrm{WW}} &\times y_\gamma & +L_2^{\mathrm{ZWW}} &\times y_\mathrm{Z}
\end{aligned}
$$

- Zusätzliche Forderungen
  - Boson-Schleifen konsistent mit LEP-1
    $x_\mathrm{Z} \leftrightarrow x_\gamma, y_\mathrm{Z} \leftrightarrow y_\gamma$ $\longrightarrow$ 3 Parameter
  - Kein Quadrupolterm L_2 (dim 6)
    $y_z = y_\gamma = 0$ $\longrightarrow$ 2 Parameter

Triple Gaugeboson Vertex

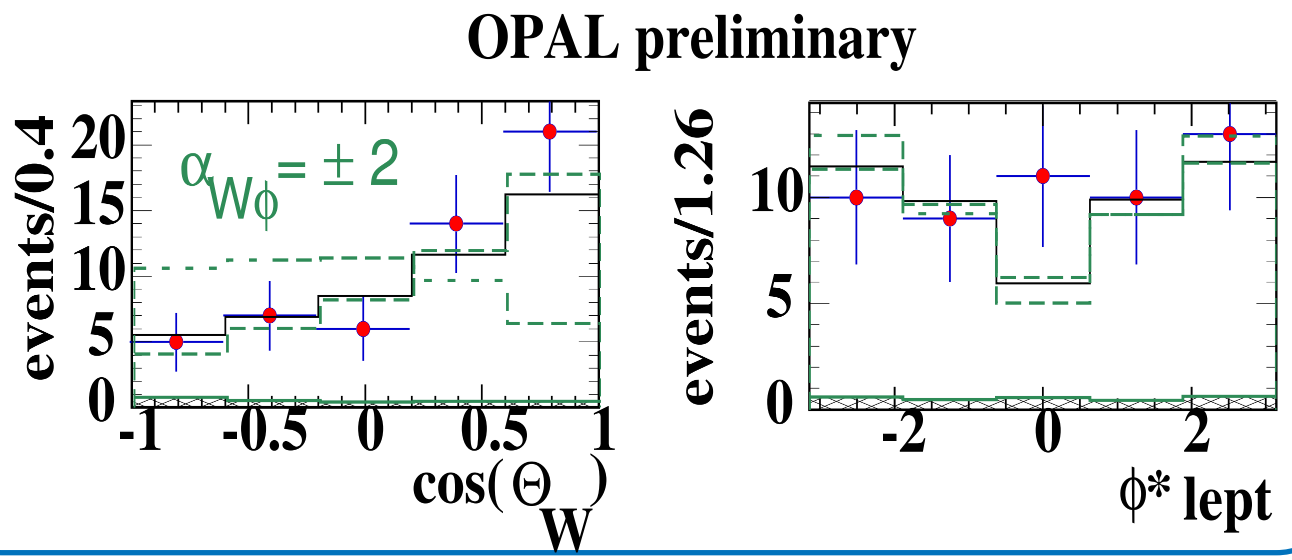
Parametrisierungen bei LEP-2

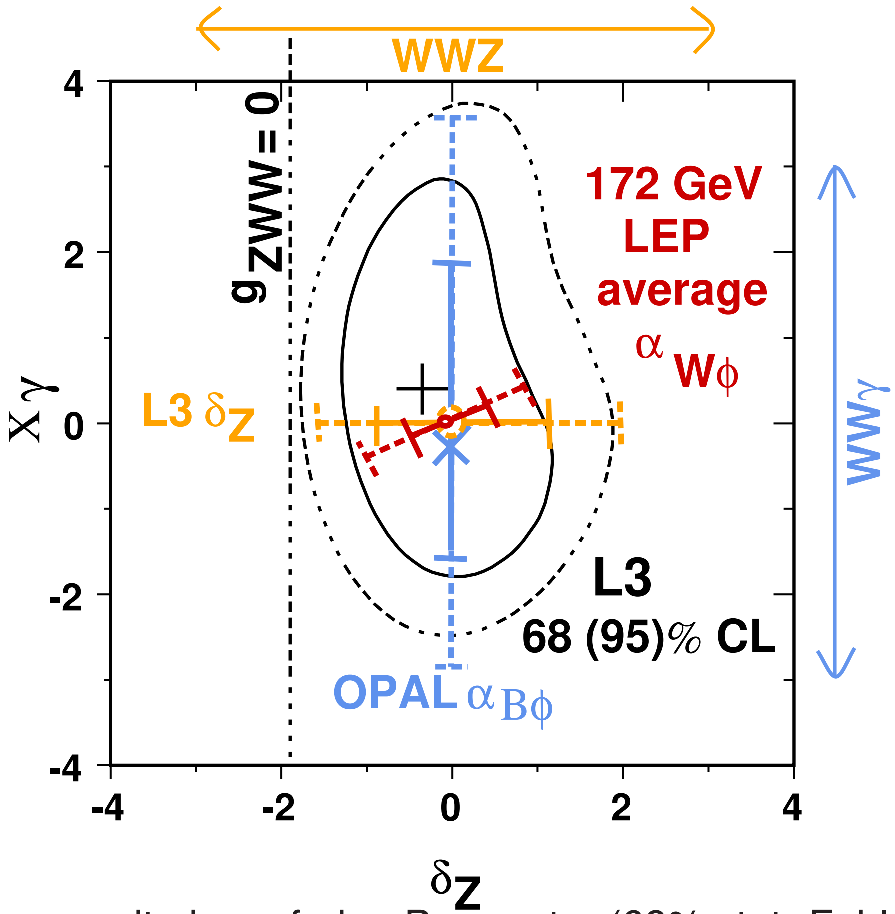
- Zwei anomale Kopplungen
  - γWW Vertex: x_γ
  - ZWW Vertex: δ_Z
- z.B. durch anomale Higgskopplungen

  an Eichfeld B mit Parameter $\alpha_{B\phi}$

  an Eichfeld $\vec{W}$ mit Parameter $\alpha_{W\phi}$
- manifest im
  - Totalen W^+W^- Wirkungsquerschnitt
  - Differentiellen W^+W^- Wirkungsquerschnitt (qq$\ell\nu$!)

$\longrightarrow$ Likelihood Anpassungen





- Messungen mit einem freien Parameter (68% stat. Fehler)

$$\delta_Z = 0.0^{+1.1}_{-0.9} \qquad \text{(L3)}$$

$$\alpha_{B\phi} = -0.2^{+1.9}_{-1.0} \qquad \text{(OPAL)}$$
$$\alpha_{B\phi} = -0.0^{+1.2}_{-0.9} \qquad \text{(ALEPH)}$$

$$\alpha_{W\phi} = -0.14^{+0.29}_{-0.26} \qquad \text{(ALEPH)}$$
$$\alpha_{W\phi} = 0.36^{+0.49}_{-0.43} \qquad \text{(DELPHI)}$$
$$\alpha_{W\phi} = -0.01^{+0.42}_{-0.36} \qquad \text{(L3)}$$
$$\alpha_{W\phi} = -0.07^{+0.34}_{-0.30} \qquad \text{(OPAL)}$$

$$\alpha_{W\phi} = -0.03^{+0.18}_{-0.16} \qquad \text{(LEP Mittelwert)}$$

- Grenzen für neue Physik
  - Schätze korrelierte Systematik $\Delta\alpha_{W\phi}$ = 0.13 (OPAL's Fehler für MC Generatoren, konservativ)

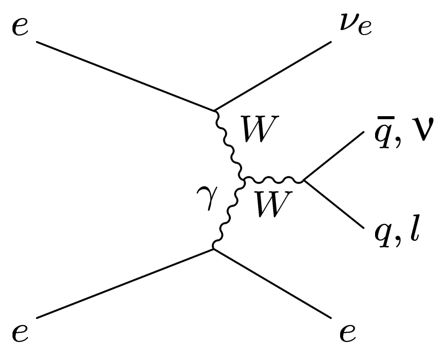
$$-0.4 < \alpha_{W\phi} < 0.4 \qquad \text{(95\% CL)}$$

  - Unitaritätsgrenze Λ_U in niedrigster Ordnung

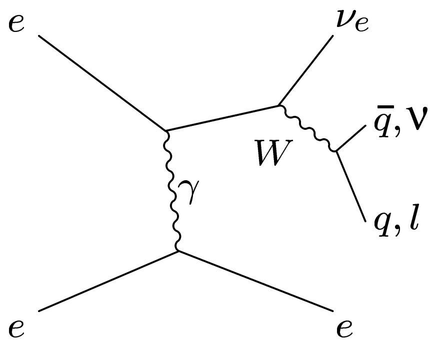
$$\Lambda_U > 500 \text{ GeV} \qquad \text{(95\% CL)}$$

Triple Gaugeboson Vertex

W-Boson Einzelproduktion

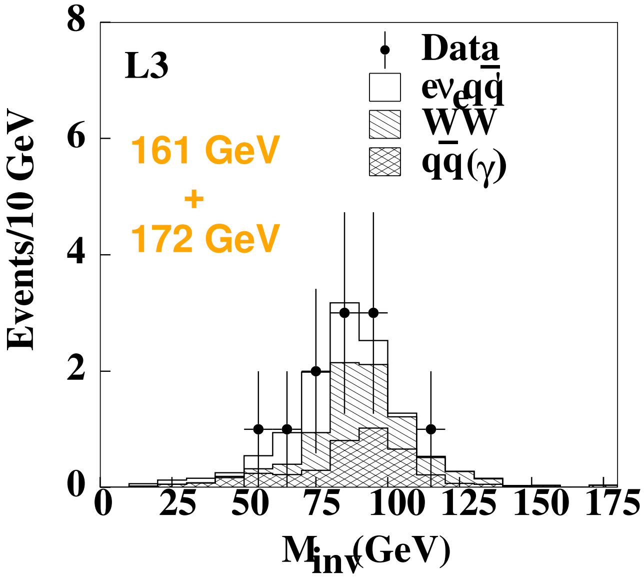


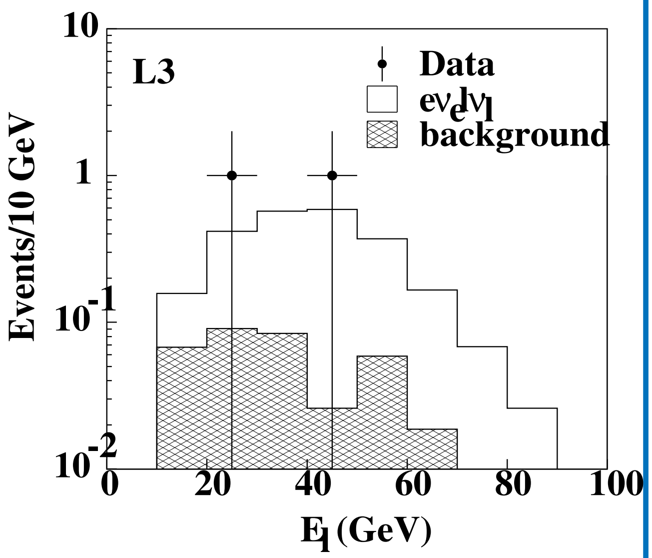
γWW Vertex



kein TGVertex

- Signatur: Wν + Elektron in Strahlrichtung
  2 Acoplanare Jets (BR groß, Untergrund groß) oder
  1 Lepton mit hohem p_t (BR klein, Untergrund klein)





- WQuerschnitt: Reiner Test des γWW Vertex, (kein ZWW)
- kleinerer WQuerschnitt (0.4pb) als W^+W^- (4–12 pb)
- größere relative Erhöhung des WQs durch x_γ

$$-3.6 < x_\gamma < 1.5 \qquad \text{95\% CL (L3)}$$

(ähnliche Sensitivität wie W^+W^-)

Triple Gaugeboson Vertex

Vergleich mit Tevatron

- Tevatron: Anderer Satz von 5 Parametern
  $\Delta g_1^Z, \Delta\kappa_Z, \Delta\kappa_\gamma, \lambda_Z, \lambda_\gamma$
- Andere Bedingungen $\longrightarrow$ 2 Parameter
  $\Delta g_1^Z = 0,$
  $\Delta\kappa \equiv \Delta\kappa_Z = \Delta\kappa_\gamma$
  $\lambda \equiv \lambda_Z = \lambda_\gamma$
- Messung von einzelnen Parametern

$-0.3 < \lambda < 0.3$ (D0, 95%CL, $\Delta\kappa = 0$)
$-0.5 < \Delta\kappa < 0.6$ (CDF, 95%CL, $\lambda = 0$)

- LEP: Äquivalent dem α_W Fit
  $\Delta g_1^Z = 0,$
  $\Delta\kappa \equiv \Delta\kappa_Z = \Delta\kappa_\gamma = 0$
  $\lambda \equiv \lambda_Z = \lambda_\gamma$

$-0.9 < \lambda < 0.7$ (ALEPH, 95%CL, W^+,W^-)
$-1.0 < \lambda < 1.5$ (OPAL, 95%CL, W^+,W^-)
$-3.6 < \lambda < 3.6$ (L3, 95%CL, Weν)

- Ähnlich (nicht gleich) dem $\alpha_{W\phi}$ Fit
  $\Delta g_1^Z = \Delta\kappa / \cos^2\theta_w,$
  $\Delta\kappa \equiv \Delta\kappa_Z = \Delta\kappa_\gamma$
  $\lambda \equiv \lambda_Z = \lambda_\gamma$=0

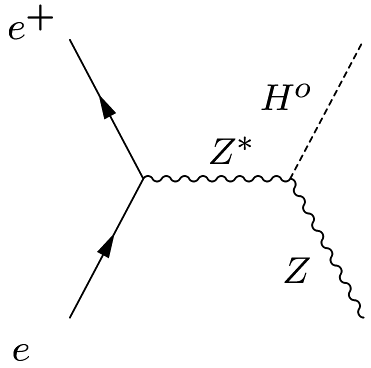
$-0.4 < \Delta\kappa < 0.4$ (LEP kombiniert, 95% CL)

Suchen nach neuen Teilchen

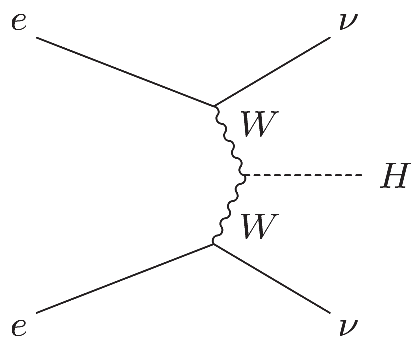
Standardmodell Higgs

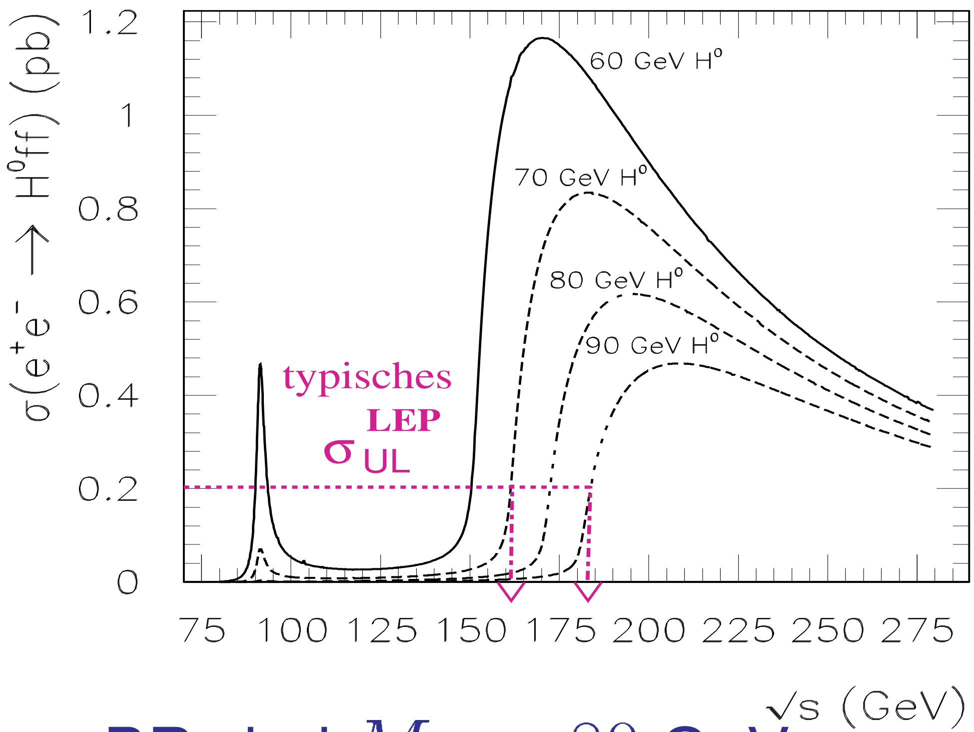
Produktion

dominant



kleiner Beitrag





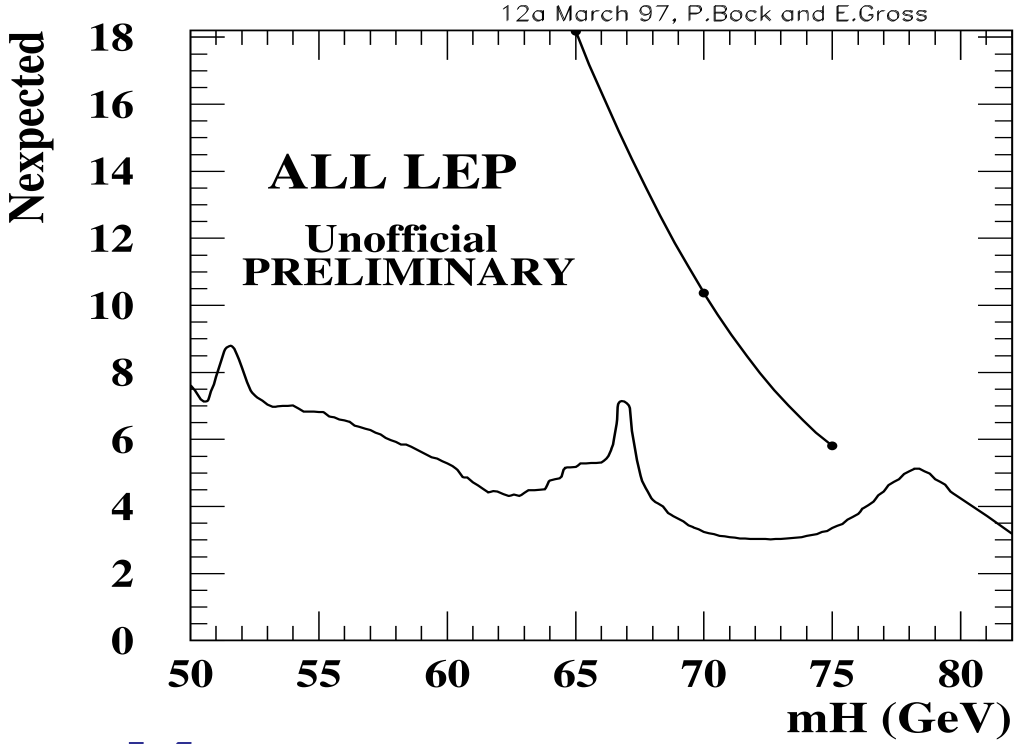
- Higgs BRs bei $M_{\mathrm{H}} = 80$ GeV
  $\mathrm{b\overline{b}}$: 85%, $\tau^+\tau^-$: 8%, $\mathrm{c\overline{c}}$: 4%, $\gamma\gamma$: 3%
- Higgs Signaturen:
  $\mathrm{e^+e^-} \longrightarrow \mathrm{H} + \mathrm{Z} \longrightarrow (\mathrm{b\overline{b}}, \tau^+\tau^-) + (\mathrm{q\overline{q}}, \ell^+\ell^-, \nu\nu)$
  hohe Akzeptanz(50–70%): $\mathrm{b\overline{b}}\ell^+\ell^-$, $\mathrm{b\overline{b}}\nu\nu$
  niedrigere Akzeptanz(20–30%), aber größtes BR: $\mathrm{b\overline{b}q\overline{q}}$ (4-jet)
  beides niedrig: $\tau^+\tau^-\mathrm{q\overline{q}}$ (but it's fun)

Suchen nach neuen Teilchen

Standardmodell Higgs Limits

$\sqrt{s}$=172 GeV	ALEPH	DELPHI	L3	OPAL	Summe
erwartet f. M=75 GeV	1.6	1.5	1.4	1.3	5.8
Untergrund	1.0	2.1	3.5	2.0	8.6
beobachtet	0	1	3	1	5

Summe Signal Beitrag von $\sqrt{s}$ = 91,133,161 GeV: ~ 0.5 Ereignisse
$\longrightarrow$ Limit kommt ausschliesslich von 172 GeV



- Sicher M_{H} >75 GeV !
- Effizienzen $>$ 75 GeV noch unbekannt

Höchst inoffizielle Extrapolation
$M_{\mathrm{H}} > 77$ GeV

Suchen nach neuen Teilchen

ALEPH 4-jet Anomalie

- Allgemeine 4-jet Selektion $\mathrm{e^+e^-} \to$ XY $\to$ $\mathrm{q_1q_2q_3q_4}$
- Suche nach zwei Teilchen gleicher (oder ähnlicher) Masse (zum Beispiel geladene Higgs, SUSY Higgs)
- Unterdrückung von $\mathrm{e^+e^-} \to (\gamma)\mathrm{q\overline{q}}$(g), ZZ/$\gamma^*$ (und $\mathrm{W^+W^-}$)
- Drei Massenkombinationen (12–34, 13–24, 14–23)
- Wähle Kombination mit kleinstem δM = $M_\mathrm{X} - M_\mathrm{Y}$
- Massensumme $\Sigma M = M_\mathrm{X} - M_\mathrm{Y}$ hat beste Auflösung

Anhäufung bei $\Sigma M = 106$ GeV,
Breite verträglich mit Detektorauflösung

* Erstmals bei $\sqrt{s}$=133 GeV beobachtet
* Weitere Daten bei $\sqrt{s}$ = 161, 172 GeV verstärken Signifikanz
* DELPHI, L3, OPAL haben ähnliche Sensitivität
* 'Emulation' der ALEPH analyse von 133–172 GeV ergibt

102 GeV$< \Sigma M <$ 108 GeV	ALEPH	DELPHI+L3+OPAL
erwartete Ereignisse	**3.1**	**9.2**
beobachtete Ereignisse	**18**	**9**

$\longrightarrow$ ALEPH 4-jet Daten signifikant verschieden von DELPHI+L3+OPAL

$\longrightarrow$ Untersuchung durch eine LEP-weite 4-Jet Arbeitsgruppe

Suchen nach neuen Teilchen

SUSY Teilchen

- Minimales Supersymmetrisches Standard Modell (MSSM)
- Higgs Sektor:
  - SM: 1 komplexes Higgs ’doublet’ Feld (1 Higgs Boson)
  - MSSM: 2 komplexe Higgs ’doublet’ Felder (5 Higgs Bosonen)
- jedes Boson erhält korrespondierendes Fermion:

$$\begin{array}{cc}
\mathrm{g} & \tilde{\mathrm{g}} \\
\mathrm{W}^{\pm} & \tilde{\mathrm{W}}^{\pm} \\
\mathrm{H}^{\pm} & \tilde{\mathrm{H}}^{\pm}
\end{array} \left.\vphantom{\begin{array}{c}a\\a\\a\end{array}}\right\rangle \text{mischen zu } \tilde{\chi}^{\pm}_{1,2} \text{ (Chargino)}$$

$$\begin{array}{cc}
\gamma & \tilde{\gamma} \\
\mathrm{Z}^0 & \tilde{\mathrm{Z}}^0 \\
\mathrm{h}^0,\ \mathrm{H}^0 & \tilde{\mathrm{h}}^0,\ \tilde{\mathrm{H}}^0 \\
\mathrm{A}^0 &
\end{array} \left.\vphantom{\begin{array}{c}a\\a\\a\\a\end{array}}\right\rangle \text{mischen zu } \tilde{\chi}^{0}_{1,2,3,4} \text{ (Neutralino)}$$

$$\begin{array}{cc}
\mathrm{G} & \tilde{\mathrm{G}}
\end{array}$$

- jedes Fermion erhält korrespondierendes Boson:

$$\begin{array}{cc}
\mathrm{q} & \tilde{\mathrm{q}}_{\mathrm{L}},\ \tilde{\mathrm{q}}_{\mathrm{R}} \\
\ell & \tilde{\ell}_{\mathrm{L}},\ \tilde{\ell}_{\mathrm{R}} \\
\nu & \tilde{\nu}
\end{array}$$

- Erhaltene Quantenzahl R-Parität $R = (-1)^{2S+L+3B}$

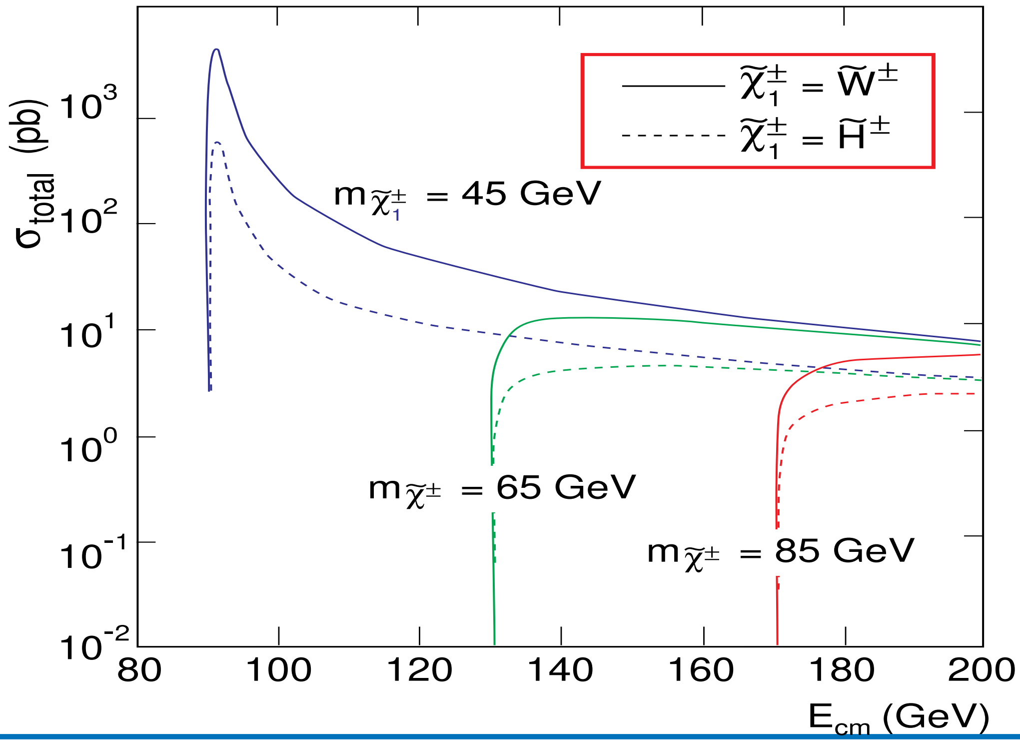
$\longrightarrow$ SUSY Teilchen (R = –1) entstehen nur in Paaren

$\longrightarrow$ Leichtestes SUSY Teilchen (LST) ist stabil

Suchen nach neuen Teilchen

Warum SUSY?

- Theoretische Argumente
  - **Natürlichkeits-Problem**
    Quadratische Divergenzen von skalaren Massen im SM
    Aufgehoben durch Fermion(-) Boson(+) Symmetrie
  - **Hierarchie- und Feinabstimmungs-Problem**
    Feinabstimmung von $\Lambda_{\mathrm{Elweak}} \ll \Lambda_{\mathrm{Planck}}$
    nicht mehr in jeder Ordnung neu.
- Kosmologische Argumente
  - Stabiles, schwach wechselwirkendes LST
    guter Kandidat für Dunkle Materie
- Experimentelle Argumente
  - Klare Signatur: fehlende LST-Energie
  - großer WQuerschnitt: O(5 pb)



Suchen nach neuen Teilchen

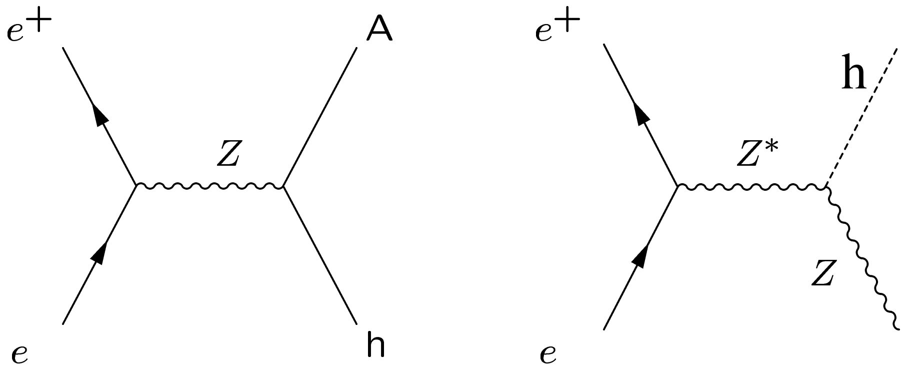
Minimale SUSY

- Minimaler SUSY Higgs Sektor
  (h,A,H,H^+,H^-) mit nur zwei Parametern

$\tan\beta$: Verhältnis der Vakuum Erwartungs Werte der beiden Doublets
m_{h} : Masse des (SM-ähnlichen) Higgs

- Paarproduktion von hA:

  $\sigma(hZ) + \sigma(hA) \neq f(\tan\beta) \approx$ const.,
  unabhängig von der Higgs Mischung α



- Nachweis von hA:

  Ähnliche BRs wie das SM Higgs $\Rightarrow$ b-Nachweis

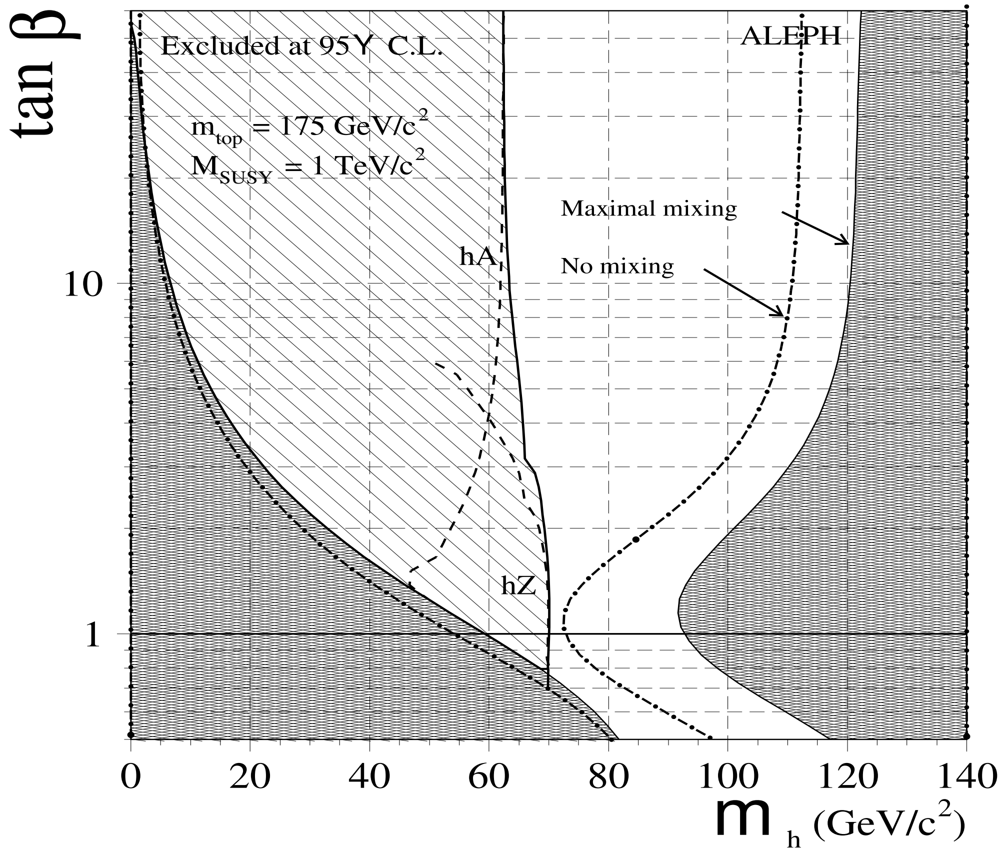
- Selektionseffizienzen:
  Untergrund pro Experiment $<$ 1 Ereignis

  $\mathrm{b\bar{b}b\bar{b}}$: 35–55%,

  $\mathrm{b\bar{b}}\tau\tau$: 20–45%

Suchen nach neuen Teilchen

MSSM Higgs



- ALEPH: Kombinierte hZ und hA Suchen:
  $m_{\mathrm{h}}, m_{\mathrm{A}} > 62.5$ GeV (95%CL)

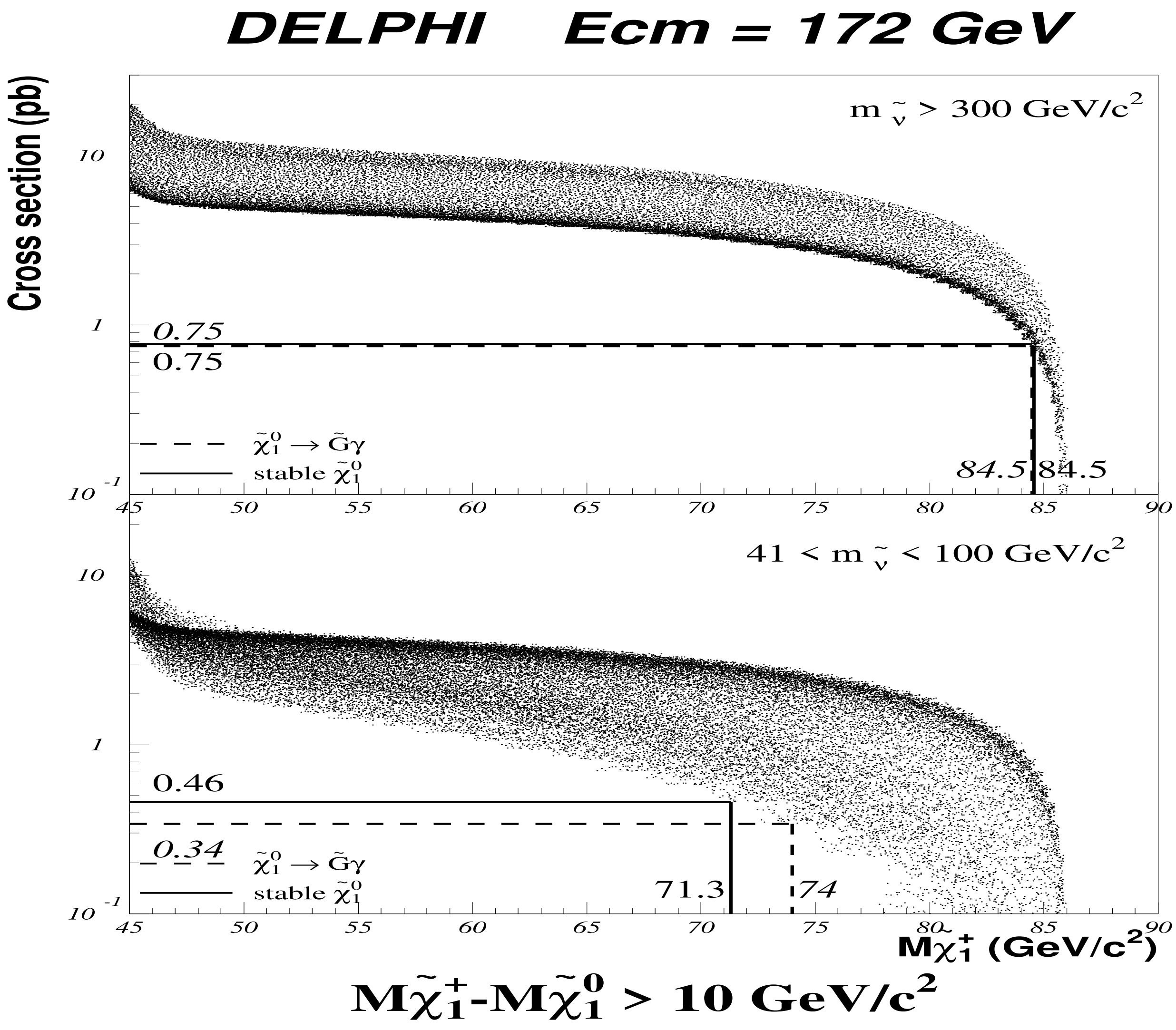
  unabhängig von allen SUSY Parametern

  (im MSSM für $\tan\beta > 1$)
- m_{h} im MSSM bereits sehr eingeschraenkt
  62.5 (ALEPH)$< m_{\mathrm{h}} <$125 GeV (Theor.)
- Möglicherweise bald Ausschluß von
  $\tan\beta < 1.5$ möglich

Suchen nach neuen Teilchen

SUSY Gauginos

- Sektor der Eichbosinos ('Gauginos')
  - Zusätzliche Parameter (μ, m_0, M_2, A)
  - $\Rightarrow$ Scan durch vieldimensionalen Parameterraum
  - (Meist) große Wirkungsquerschnitte
  - Ausschluß der 'Charginos' (meist) bis zur kinem. Grenze
- Vielfältige Möglichkeiten sogar im MSSM



Suchen nach neuen Teilchen

SUSY Summary

Typische LEP-2 Limits, manche unter weiteren Annahmen.

$m_{\mathrm{h}} > 62.5$ GeV (ALEPH)
$m_{\mathrm{A}} > 62.5$ GeV (ALEPH)

$m_{\chi_1^0} > 24.6$ GeV (L3)
$m_{\chi_2^0} > 32.2$ GeV (L3)
$m_{\chi_3^0} > 91.1$ GeV (L3)
$m_{\chi_4^0} > 103.7$ GeV (L3)
$m_{\chi_1^\pm} > 73.6$ GeV (L3)
$m_{\chi_2^\pm} > 96.2$ GeV (L3)

$m_{\tilde{\mathrm{e}}_{L,R}} > 70$ GeV (DELPHI)
$m_{\tilde{\mu}_{L,R}} > 63$ GeV (DELPHI)
$m_{\tilde{\tau}_L} > 72$ GeV (DELPHI)
$m_{\tilde{\tau}_R} > 66$ GeV (DELPHI)

$m_{\tilde{\mathrm{t}}} > 73.2$ GeV (OPAL)
$m_{\tilde{\mathrm{b}}} > 69.8$ GeV (OPAL)
$m_{\tilde{\mathrm{g}}} > 240$ GeV (OPAL)

Suchen nach neuen Teilchen

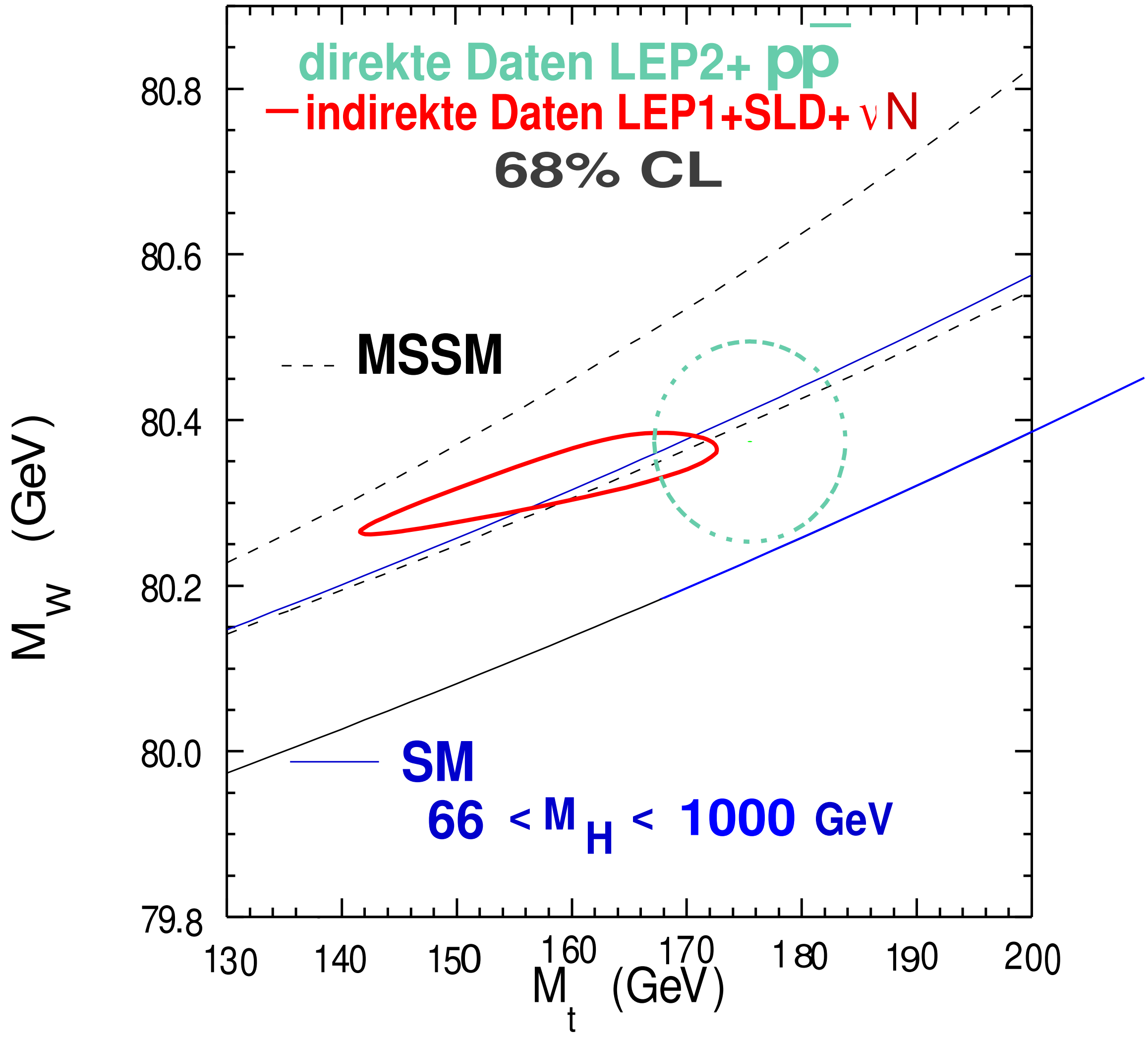
Ohne SUSY bei LEP-2 ?

- Falls LEP-2 auch nach 1999 noch ohne SUSY ist:

$\longrightarrow$ Eingrenzung des SUSY Parameterraums wird groß sein

$\longrightarrow$ Trennkraft von Elektroschwachen Fits nimmt zu

- Direkte Messung von $(M_{\mathrm{W}}, M_{\mathrm{t}})$ essentiell (nimmt nicht SM an)



Suchen nach neuen Teilchen

R-Paritätsverletzung in SUSY

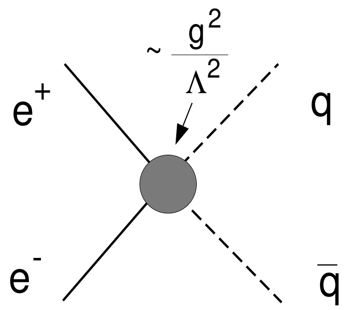
- Eichinvarianz erlaubt
  Squark-Lepton-Antiquark und
  Squark-Quark-Quark
  Kopplungen im Superpotential

$\longrightarrow$ Problem: Sofortiger Protonzerfall
wegen ‘kleiner’ SUSY Massen O(TeV)

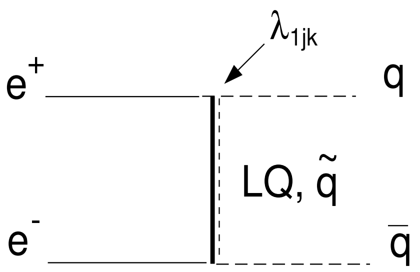
$\longrightarrow$ Ausweg: R-Paritätserhaltung

Erhaltung von Lepton oder Baryonzahl
ohne R-Parität würde genügen

$\Rightarrow$ Abweichungen in e-q Wechselwirkungen
(wie bei Leptoquarks)



effektiv



explizit

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{d\sigma}{d\Omega}\bigg|_{\mathrm{SM}} + \frac{g^2}{\Lambda^2}\,\frac{d\sigma}{d\Omega}\bigg|_{\mathrm{Interf.}} + \frac{g^4}{\Lambda^4}\,\frac{d\sigma}{d\Omega}\bigg|_{\mathrm{NeuePhysik}}$$

Λ : Skala stark wechselwirkender neuer Physik ($g^2/4\pi \sim 1$)

- Äquivalent zu t Kanal Kopplung eines Skalars der Masse M, und $\lambda = \frac{M}{\Lambda} \times g$,
- Für e$\tilde{\mathrm{q}}_j$q$_k$ Kopplung in $R\!\!\!/$ verletzender SUSY λ_{1jk} abhñgig von Generation j und k.

Suchen nach neuen Teilchen

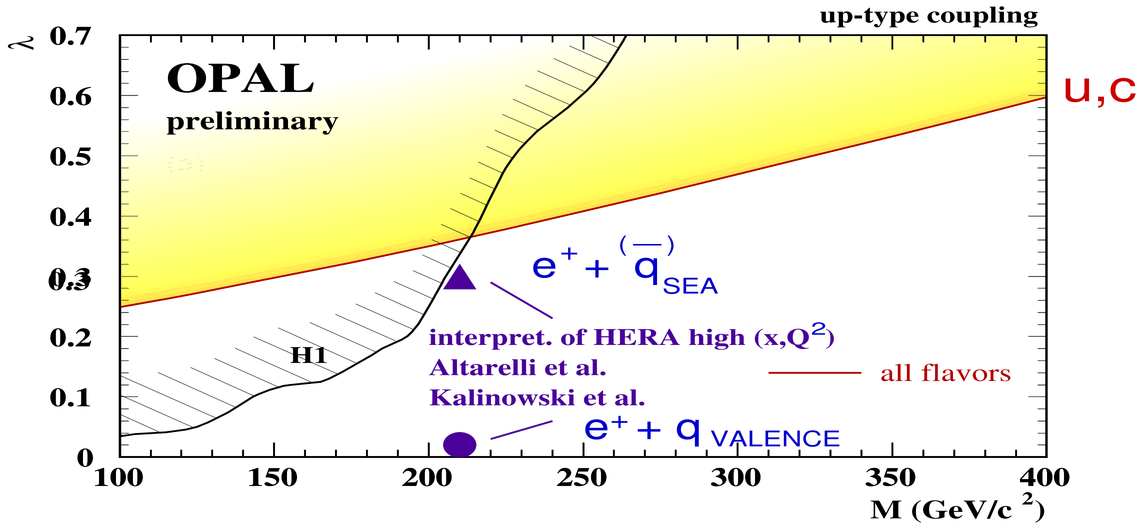
Leptoquarks?

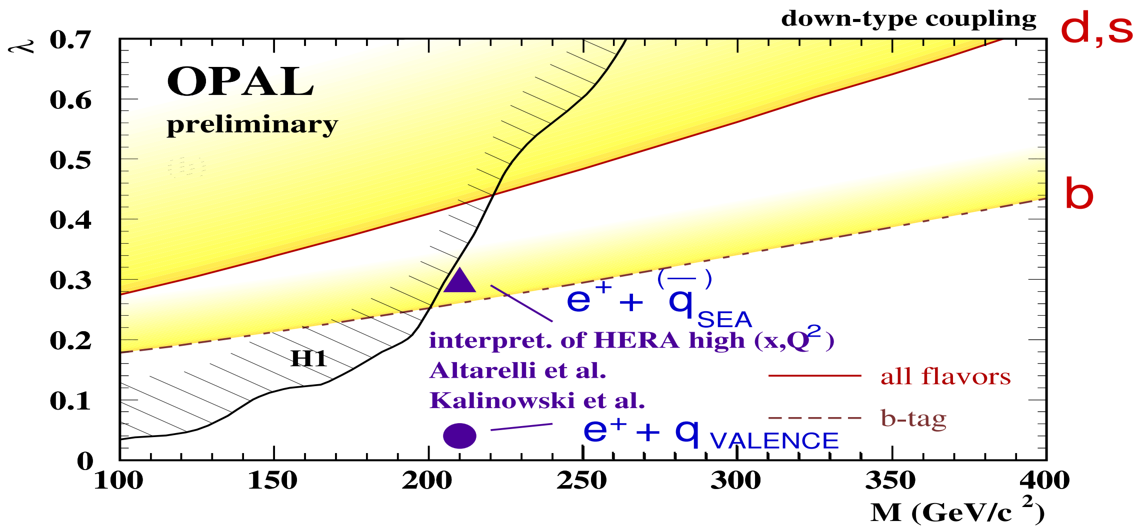
OPAL Grenzen aus $\sigma(\mathrm{e^+e^-} \rightarrow \mathrm{q\overline{q}})$ bei 133–172 GeV:

- ‘Kontaktwechselwirkungen’ mit nur **einer** Quarkflavor

  $\Lambda > 1.0 - 2.4$ TeV, je nach Modell
  $(\lambda = 0.35 \Rightarrow M = 0.1\Lambda)$

- Massenabhängige Kopplungsgrenzen für t-Kanal für
  — Up-Typ Flavors
  — Down-Typ Flavors
  — Ereignisse mit b-Identifikation (λ_{1j3})





Zusammenfassung

- LEP-2 liegt gut in der Planung
  - Totale integrierte Lumi von 500 pb^{-1} ist möglich
- Unmögliches wird sofort erledigt
  - Erstaunlich genaue Resultate mit nur 120 W^+W^- pro Experiment
  - Verzweigungsverhältnisse gemessen
  - Anomale Kopplungen $\longrightarrow$ Λ_U $>$500 GeV
    ($-0.4 < \alpha_{W\phi} < 0.4$, sehr vorläufig)
  - Massenmessung nach wenigen Monaten
    ($M_{\rm W} = 80.38 \pm 0.14$ GeV, vorläufig)
  - $M_{\rm W}$ ist fundamentaler Konsistenztest des Standardmodells
  - Beginnt Aussagen über $M_{\rm H}$ zu machen
  - LEP-2 erwartet noch $>$ 5000 W^+W^- pro Experiment:.
- Entdeckungen dauern etwas länger
  - Higgs Massengrenzen
    $M_{\rm H} >$ 77 GeV (SM, inoffziell) und $M_{\rm h,A} >$ 62.5 GeV (MSSM)
  - ALEPH 4-jet Anomalie noch immer ein Rätsel
  - Bis jetzt keine schweren/angeregten Leptonen,
  - keine Sleptonen, Squarks, Charginos, Neutralinos,

aber auch

  - kein Konflikt mit Interpretation der HERA Ereignisse als neue Physik