Tests des Standard Modells und Physik schwerer Quarks auf der Z-Resonanz

Klaus Mönig

CERN

DPG Frühjahrstagung 1997
München

Probleme in Hamburg, 1996:

- LEP-Strahlenergien waren nicht unter Kontrolle
- R_{b}, R_{c} waren inkonsistent mit der Standardmodell Vorhersage

Inhalt:

- Einleitung
- Elektroschwache Physik:
  - Strahlenergien und Z-Resonanzparameter
  - Fortschritte in R_{b}, R_{c}
  - Kurze Zusammenfassung anderer Ergebnisse
  - Interpretation der Daten im Standardmodell
- B-Physik:
  - B Lebensdauern
  - Semileptonisches Verzweigungsverhältnis und Charm-counting
  - $\mathrm{V_{cb}}$
  - $B\bar{B}$ Mischung
- Zusammenfassung

Einleitung

LEP 1 Phase: 1989-1995

Datensatz der LEP Experimente:

Jahr		had. kZ/exp.
90-91	(scan)	400
92		700
93	(scan)	650
94		1450
95	(scan)	650
total		3850

scan (93,95):
Ca. die Hälfte der Statistik bei $\sqrt{s} \approx m_Z \pm 2\mathrm{GeV}$

Totale "off peak" Statistik: $\approx 40\,\mathrm{pb}^{-1}/\mathrm{Exp.}$

Davon sind analysiert:

Z-Resonanzparameter	fast alles
Lepton Asymmetrien	alles
Andere Analysen	im wesentlichen bis 1994

Energiekalibration und Z Resonanzparameter

Wirkungsquerschnitt $e^+e^- \to f\bar{f}$ in der Nähe des Z-Pols

$$\sigma_f(s) = \frac{12\pi}{m_Z} \frac{\Gamma_e \Gamma_f s}{\left(s - m_Z^2\right)^2 + \left(\frac{s}{m_Z}\right)^2 \Gamma_Z^2} + \sigma_{\mathrm{int}} + \sigma_\gamma + \text{rad. cor.}$$

$$\sigma_f = \frac{N_{f\bar{f}}}{\mathcal{L}}$$

Zur Bestimmung der Resonanzparameter müssen drei Größen gemessen werden:

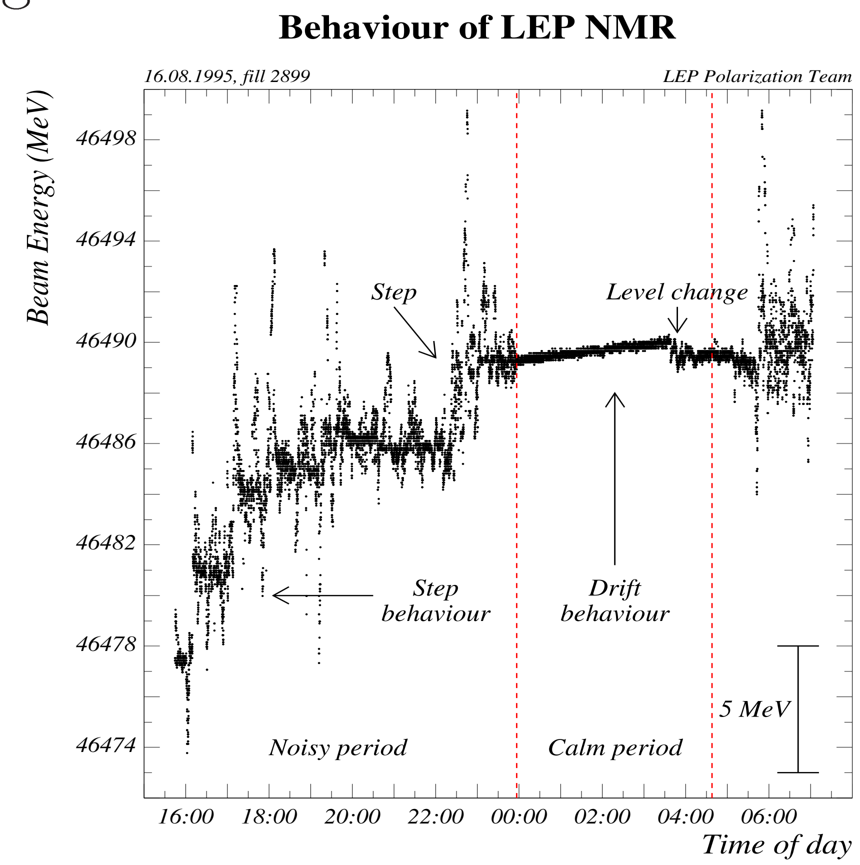
Ereignisrate: Saubere Umgebung und hoher Wirkungsquerschnitt bei LEP.

$\to$ Systematische Unsicherheit:
$\approx 0.1\%$ für hadronische Ereignisse,
$\approx 0.3\%$ für leptonische Ereignisse

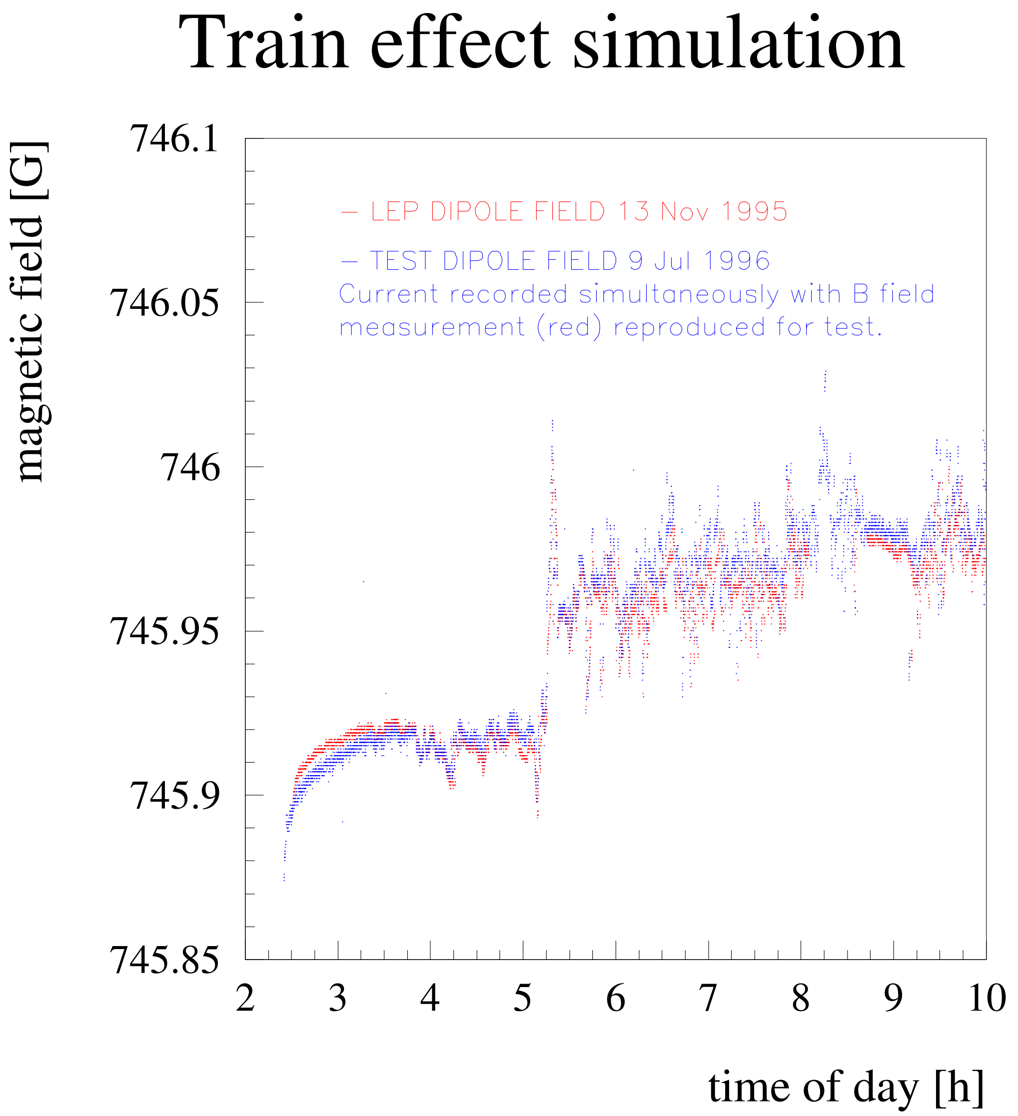
Luminosität: Bei LEP aus Bhabha-Streuung bei kleinen Winkeln
Alle Experimente haben Luminositätskalorimeter der zweiten Generation
$\to$ Systematische Unsicherheit $\approx 0.1\%$
Theoretische Unsicherheit (korreliert): 0.11%

Strahlenergie:

- Am Ende jedes off-peak fills wird eine Messung der mittleren Strahlenergie versucht
- Genauigkeit der Kalibration: < 0.2MeV
- Korrekturen müssen angebracht werden auf:
  - Hochfrequenz Zustand,
  - Temperatur der Dipolmagnete,
  - Korrekturmagnete,
  - Stand von Sonne und Mond,
  - Wasserstand im Genfer See,
  - Züge in der Nähe von Genf:



Alle Effekte inzwischen gut unter Kontrolle

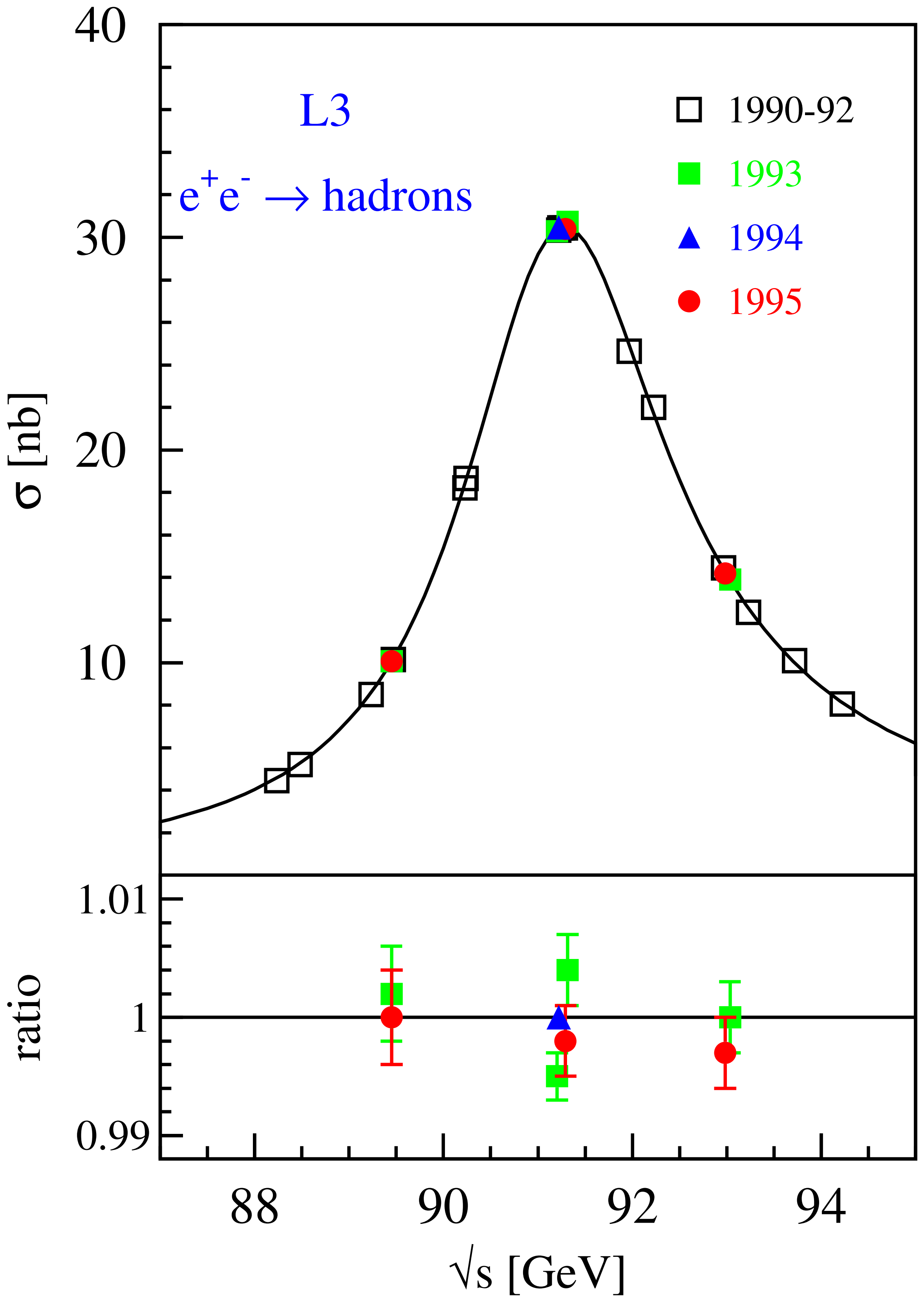


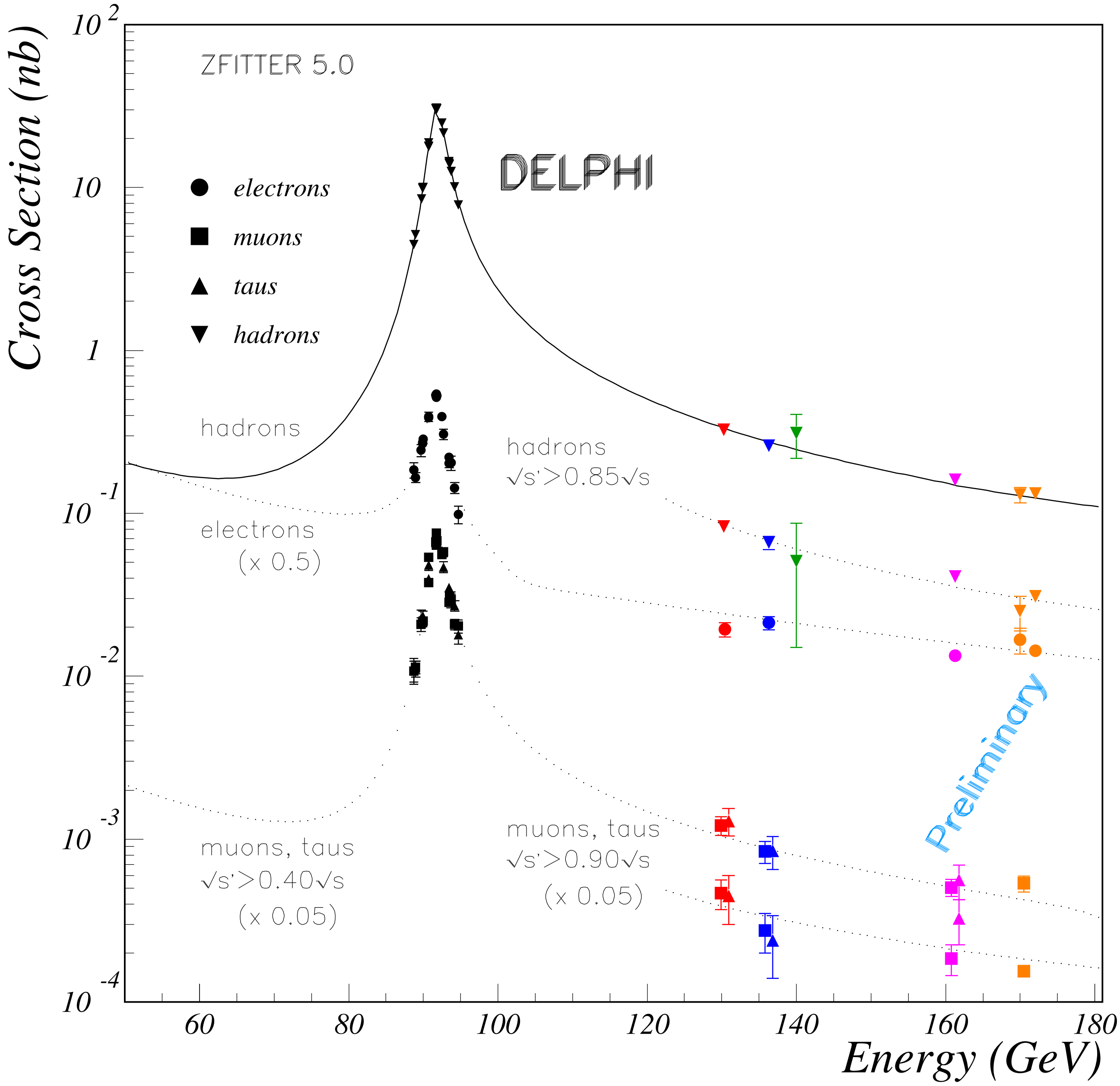
Energiekalibration der LEP 1 Daten im Wesentlichen abgeschlossen.

Totale Unsicherheit durch die Strahlenergie:

$$\Delta m_Z = 1.5\text{MeV}$$
$$\Delta \Gamma_Z = 1.7\text{MeV}$$

Hadronische Resonanzkurve





ZFITTER 5.0
DELPHI
electrons
muons
taus
hadrons
hadrons
electrons
(x 0.5)
muons, taus
√s'>0.40√s
(x 0.05)
hadrons
√s'>0.85√s
muons, taus
√s'>0.90√s
(x 0.05)
Preliminary
Cross Section (nb)
Energy (GeV)

Ergebnisse

$$
\begin{aligned}
m_Z &= 91.1863 \pm 0.0019\,\mathrm{GeV} & \sim 2 \cdot 10^{-5} \\
\Gamma_Z &= 2.4947 \pm 0.0026\,\mathrm{GeV} & \sim 1 \cdot 10^{-3} \\
\sigma_0^{\mathrm{had}} &= 41.489 \pm 0.055\,\mathrm{nb} & \sim 1 \cdot 10^{-3} \\
R_e &= 20.756 \pm 0.057 & \sim 3 \cdot 10^{-3} \\
R_\mu &= 20.795 \pm 0.039 & \sim 2 \cdot 10^{-3} \\
R_\tau &= 20.831 \pm 0.054 & \sim 3 \cdot 10^{-3} \\
R_\ell &= 20.783 \pm 0.029 & \sim 1 \cdot 10^{-3}
\end{aligned}
$$

$$
\left(\sigma_0^{\mathrm{had}} = \frac{12\pi}{m_Z} \frac{\Gamma_e \Gamma_{\mathrm{had}}}{\Gamma_Z^2} \qquad R_\ell = \frac{\Gamma_{\mathrm{had}}}{\Gamma_\ell} \right)
$$

LEP Mittelung: $\chi^2/ndf = 22/27$

Abgeleitete Größen:

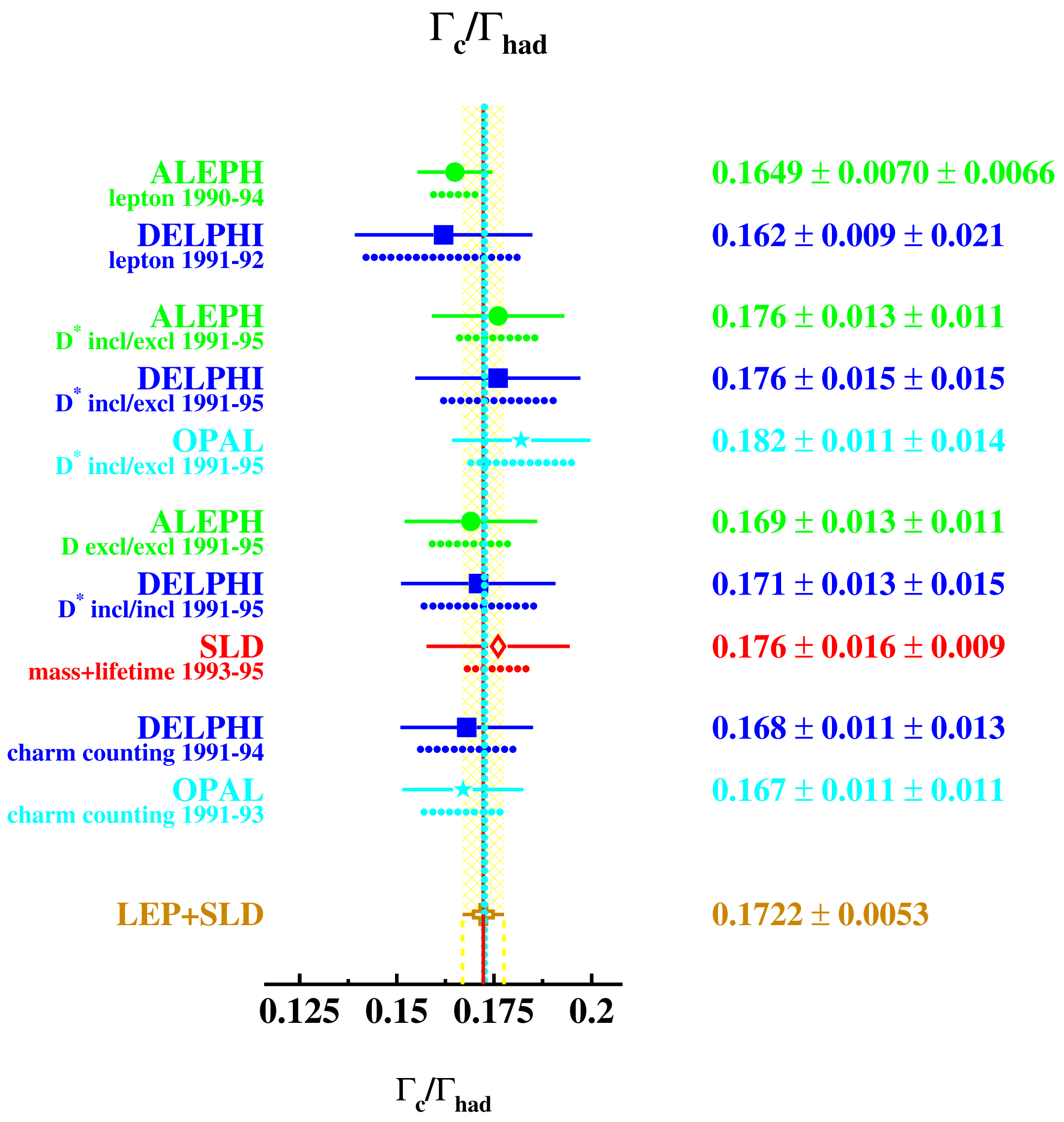
$$
\begin{aligned}
\Gamma_{\mathrm{had}} &= 1743.5 \pm 2.4\,\mathrm{MeV} \\
\Gamma_e &= 83.94 \pm 0.15\,\mathrm{MeV} \\
\Gamma_\mu &= 83.79 \pm 0.21\,\mathrm{MeV} \\
\Gamma_\tau &= 83.64 \pm 0.26\,\mathrm{MeV} \\
\Gamma_\ell &= 83.89 \pm 0.11\,\mathrm{MeV} \\
\Gamma_{inv.} &= 499.8 \pm 1.9\,\mathrm{MeV}
\end{aligned}
$$

$$
N_\nu = 2.992 \pm 0.011
$$

$\boxed{R_c = \Gamma_{c\bar{c}}/\Gamma_{had}}$

Abweichung vom SM in Hamburg: -1.8σ

Neu:
- mehr Daten (ca. Faktor zwei)
- verbesserte Methoden:



Es werden keine Annahmen mehr an die Energieunabhängigkeit der Fragmentation benötigt!

$$\boxed{R_\mathrm{b} = \Gamma_{b\bar{b}}/\Gamma_{had}}$$

Abweichung vom SM in Hamburg: 3.5σ

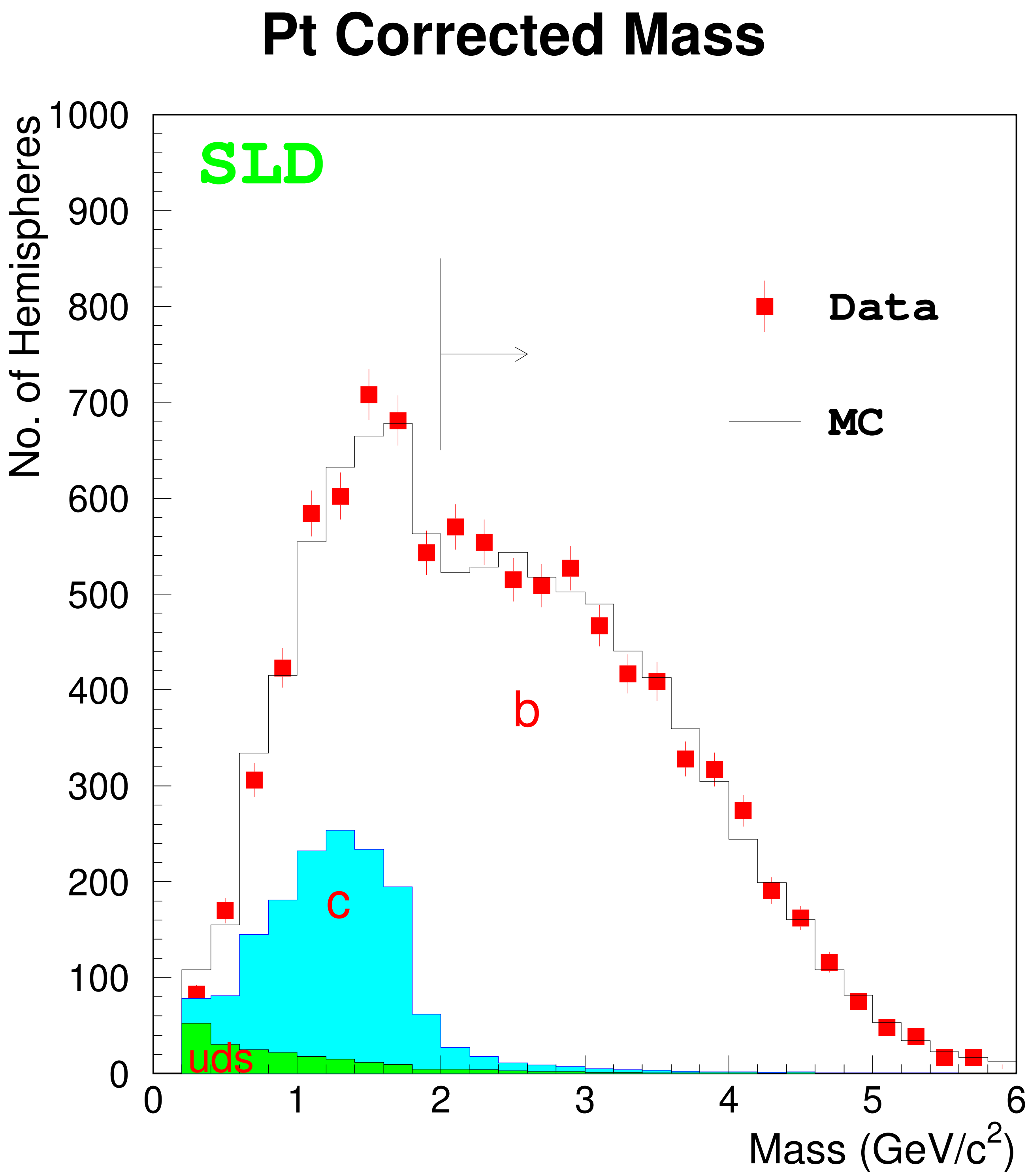
Neu:

- mehr Daten (ca. Faktor zwei)
- verbesserte tagging Verfahren
- verbesserte Methoden

Tagging Verfahren: Vormals reine Lifetime Tags. D-Mesonen leben auch lange $\rightarrow$ charm Untergrund unvermeidbar. Typische Effizienz/Reinheit: 20/95 %
Ausweg: Massenschnitt

- SLD: Masse des sekundären Vertex, korrigiert auf neutrale
  Effizienz: 35 %, Reinheit 98 % $\rightarrow$ plot
- ALEPH: Ordne Teilchen nach steigender Kompatibilität mit dem primären Vertex, summiere Teilchenimpulse bis zur charm-Masse, benutze für das folgende Teilchen Wahrscheinlichkeit, daß es vom primären Vertex kommt, als tag
  Effizienz: 20 %, Reinheit 98 %

SLD Massenschnitt



Methoden: Alle genauen Messungen sind Einzel-/Doppeltags:

$$\frac{N_t}{2N_{\rm had}} = \varepsilon_{\rm b}R_{\rm b} + \varepsilon_{\rm c}R_{\rm c} + \varepsilon_{\rm uds}(1 - R_{\rm b} - R_{\rm c}),$$
$$\frac{N_{tt}}{N_{\rm had}} = \mathcal{C}_{\rm b}\varepsilon_{\rm b}^2 R_{\rm b} + \varepsilon_{\rm c}^2 R_{\rm c} + \varepsilon_{\rm uds}^2(1 - R_{\rm b} - R_{\rm c}),$$

mit: $\varepsilon_{\rm q}$: Effizienz für Flavour q
$\mathcal{C}_{\rm b}$: Hemisphärenkorrelation für b-quarks

$\mathcal{C}_{\rm udsc}$ können vernachlässigt werden.

Unter Vernachlässigung von Korrelationen und Untergrund:

$$\varepsilon_{\rm b} \approx 2N_{tt}/N_t,$$
$$R_{\rm b} \approx N_t^2/(4N_{tt}N_{\rm had}).$$

ε_{udsc} und $\mathcal{C}_{\rm b}$ müssen aus der Simulation genommen werden.

Neue ALEPH Messung:

Fünf exclusive Tags:

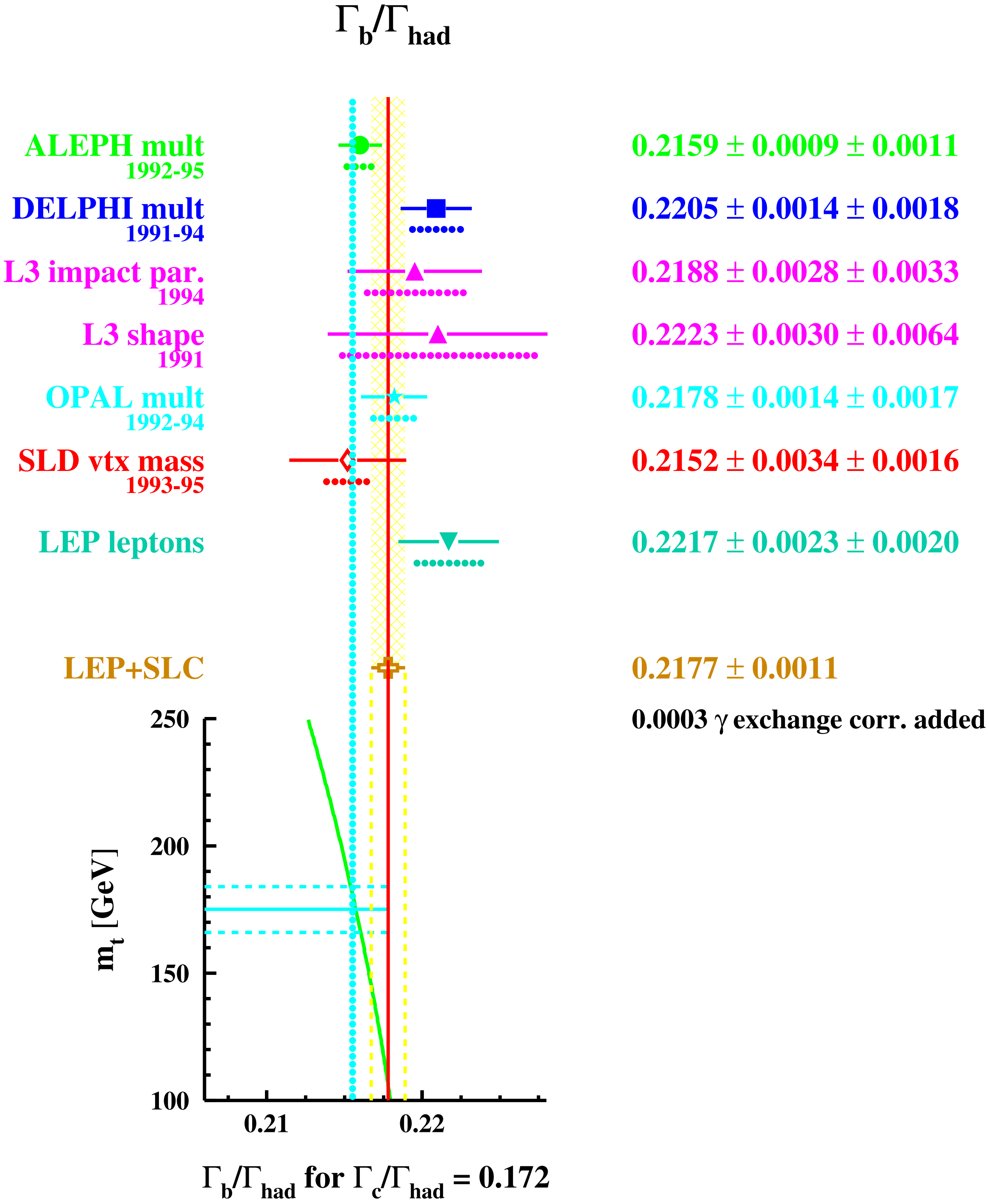
1) Impaktparameter plus Massen b-tag (sehr rein),
2) b-tag mit neuralen Netzen,
3) Lepton b-tag,
4) c-tag mit neuralen Netzen,
5) Impaktparameter uds-tag.

Messe 5 Einzeltag Raten f_i und 15 Doppeltag Raten f_{ij}

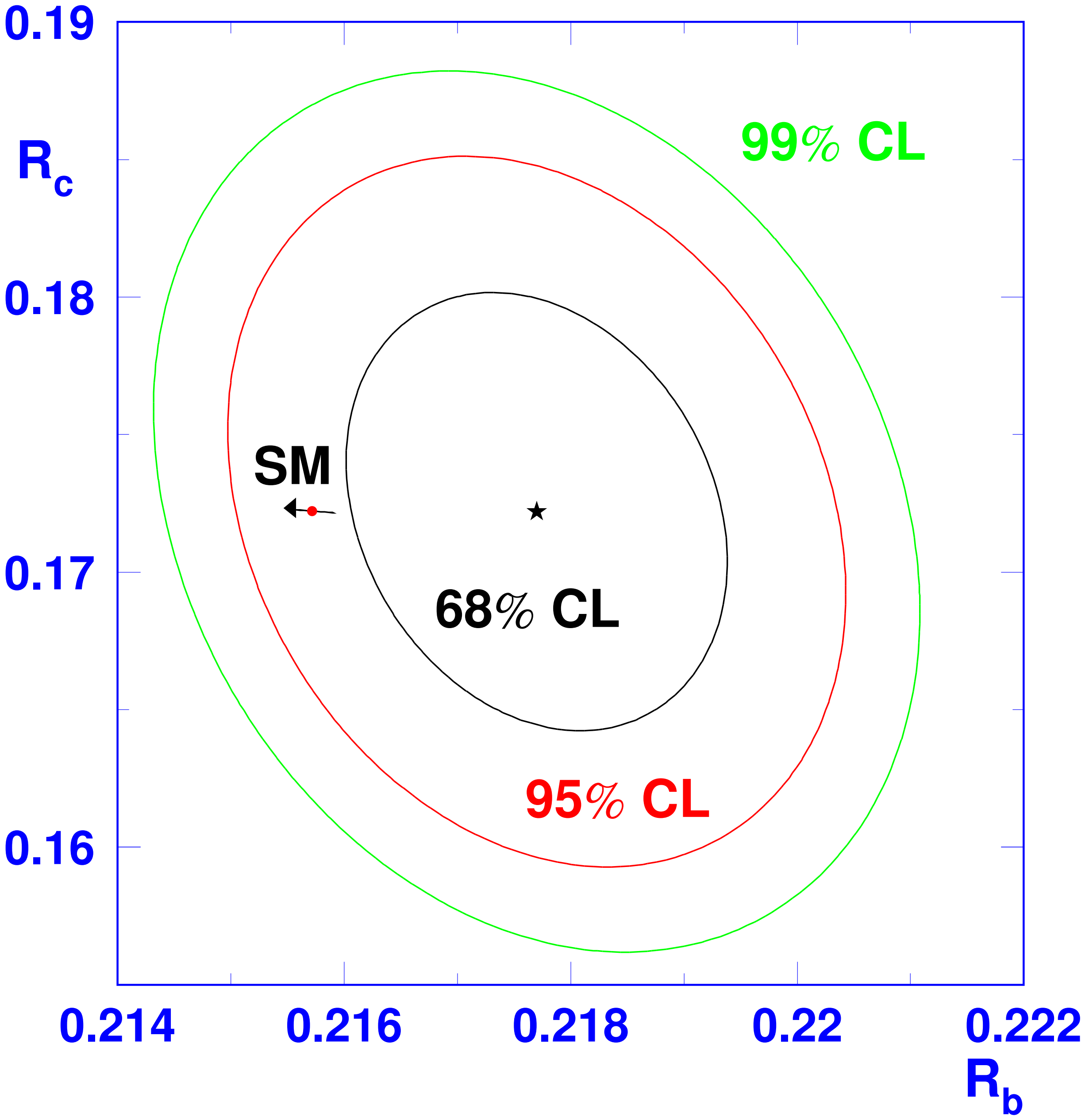
$\rightarrow$ Nur $\varepsilon_{\mathrm{uds}}^{(1)}$, $\varepsilon_{\mathrm{c}}^{(1)}$ und Hemisphärenkorrelationen werden aus dem Monte Carlo benötigt, alle anderen Effizienzen können aus den Daten bestimmt werden.

Methode verkleinert den statistischen Fehler
$\rightarrow$ Kann in tag 1) härter schneiden!

R_b Ergebnisse



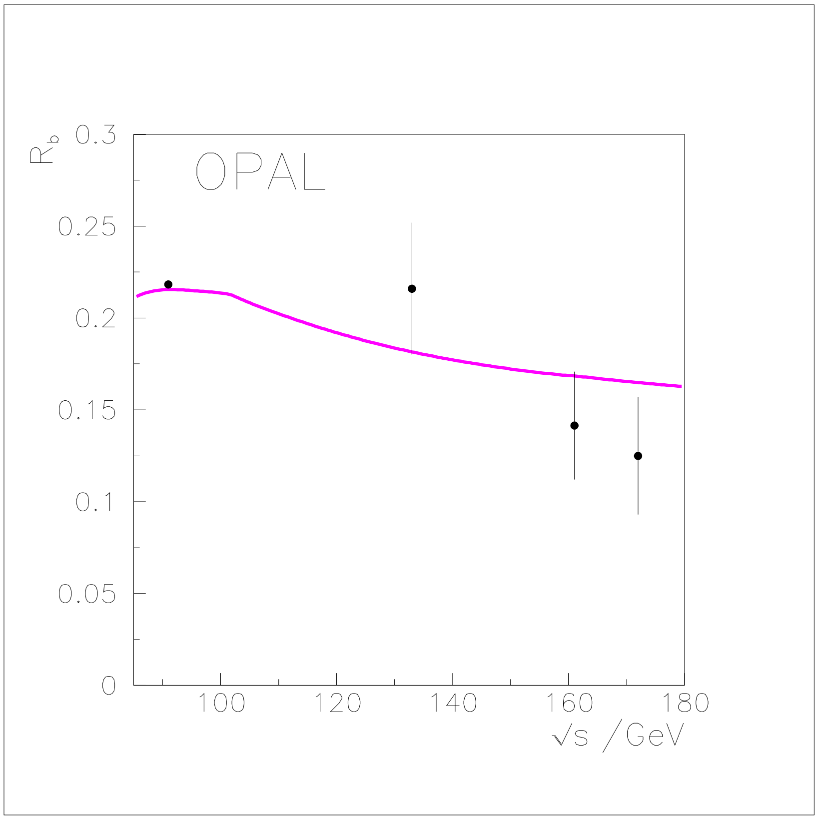
R_b-R_c Korrelation



R_b, R_c sind jetzt konsistent mit der Standardmodell Vorhersage!

$R_b = \sigma_{\rm bb}/\sigma_{\rm had}$ oberhalb des Z

- Selektion von nicht-radiativen multihadronischen Ereignissen
- Flavor tagging von b Ereignissen mit Hilfe der Zerfallslänge



$R_b(133 GeV) = 0.216 \pm 0.034 \ \pm\ 0.013$
(CERN PPE/96-156)

$R_b(161 GeV) = 0.141 \pm 0.028 \ \pm\ 0.012$
(CERN PPE/96-156)

$R_b(172 GeV) = 0.127 \pm 0.032 \ \pm\ 0.011$
(vorläufig)

Zusammenfassung elektroschwacher Ergebnisse

Partielle Breiten:

$$\Gamma_f \propto g_{Vf}^2 + g_{Af}^2$$

Asymmetrien:

$$\mathcal{A}_f = \frac{2 g_{Vf} g_{Af}}{g_{Vf}^2 + g_{Af}^2}$$

$$\frac{g_{Vf}}{g_{Af}} = 1 - 4Q_f \sin^2\theta_{eff}^f$$

Vorwärts-Rückwärts Asymmetrie:

$$A_{FB}^{0,f} = \frac{3}{4}\mathcal{A}_e \mathcal{A}_f$$

$\tau-$Polarisation:

$$\mathcal{P}_\tau(\cos\theta) = -\frac{\mathcal{A}_\tau\left(1+\cos^2\theta\right) + \mathcal{A}_e \cos\theta}{1 + \cos^2\theta + 2\mathcal{A}_\tau \mathcal{A}_e \cos\theta}$$

$\mathcal{A}_\tau$ und $\mathcal{A}_e$ können separat gemessen werden!

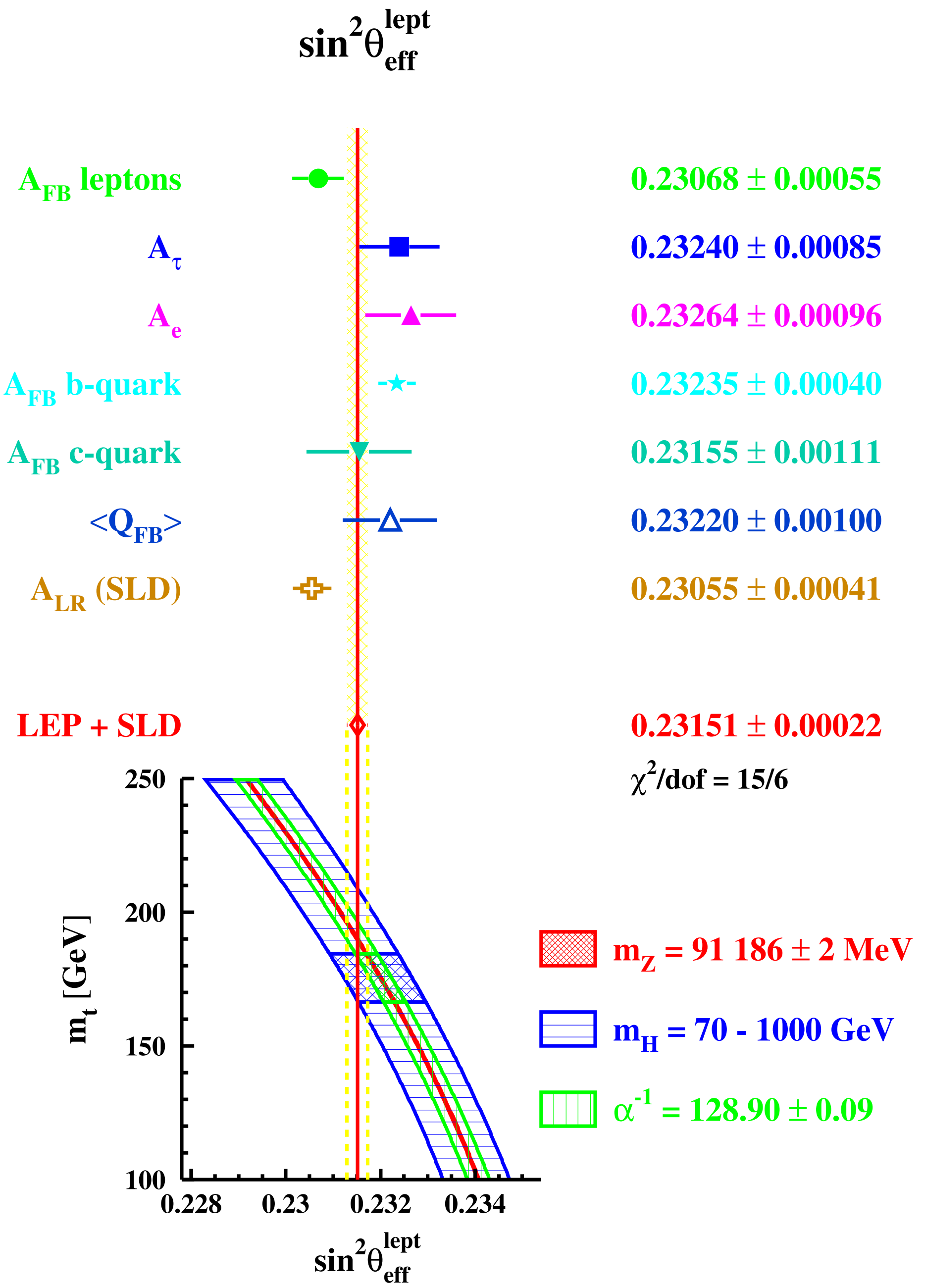
Links-rechts Asymmetrie (SLC):

$$A_{LR} = P \cdot \mathcal{A}_e$$

$\Longrightarrow$ Alle Asymmetrien messen $\sin^2\theta_{eff}$

Auch A_{FB}^b, A_{FB}^c messen $\sin^2\theta_{eff}^l$!

$\sin^2\theta^l_{eff}$

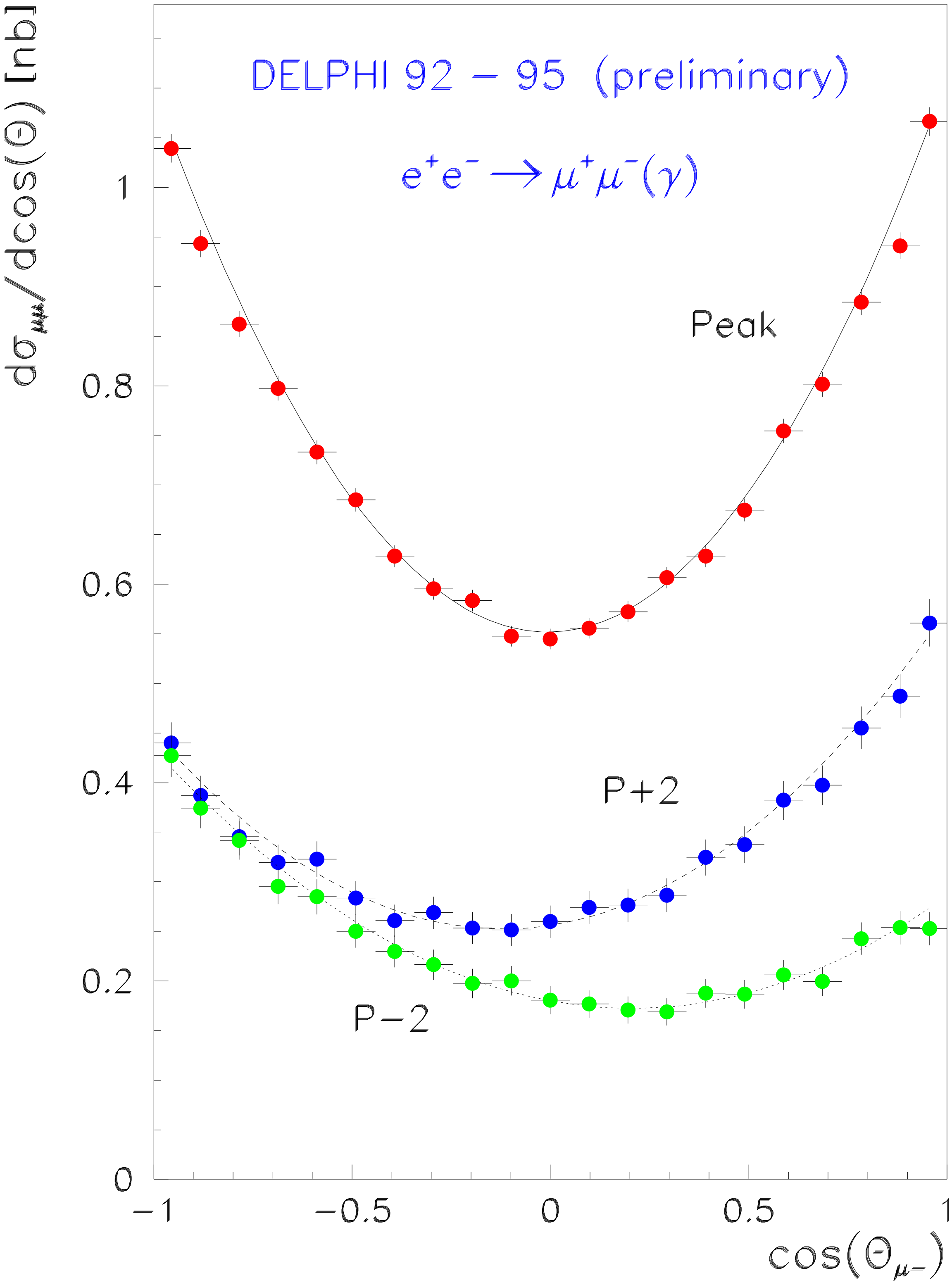


Die zwei genauesten Messungen stimmen nicht sehr gut überein.

Alle Ergebnisse: $Prob(\chi^2) \approx 2\%$

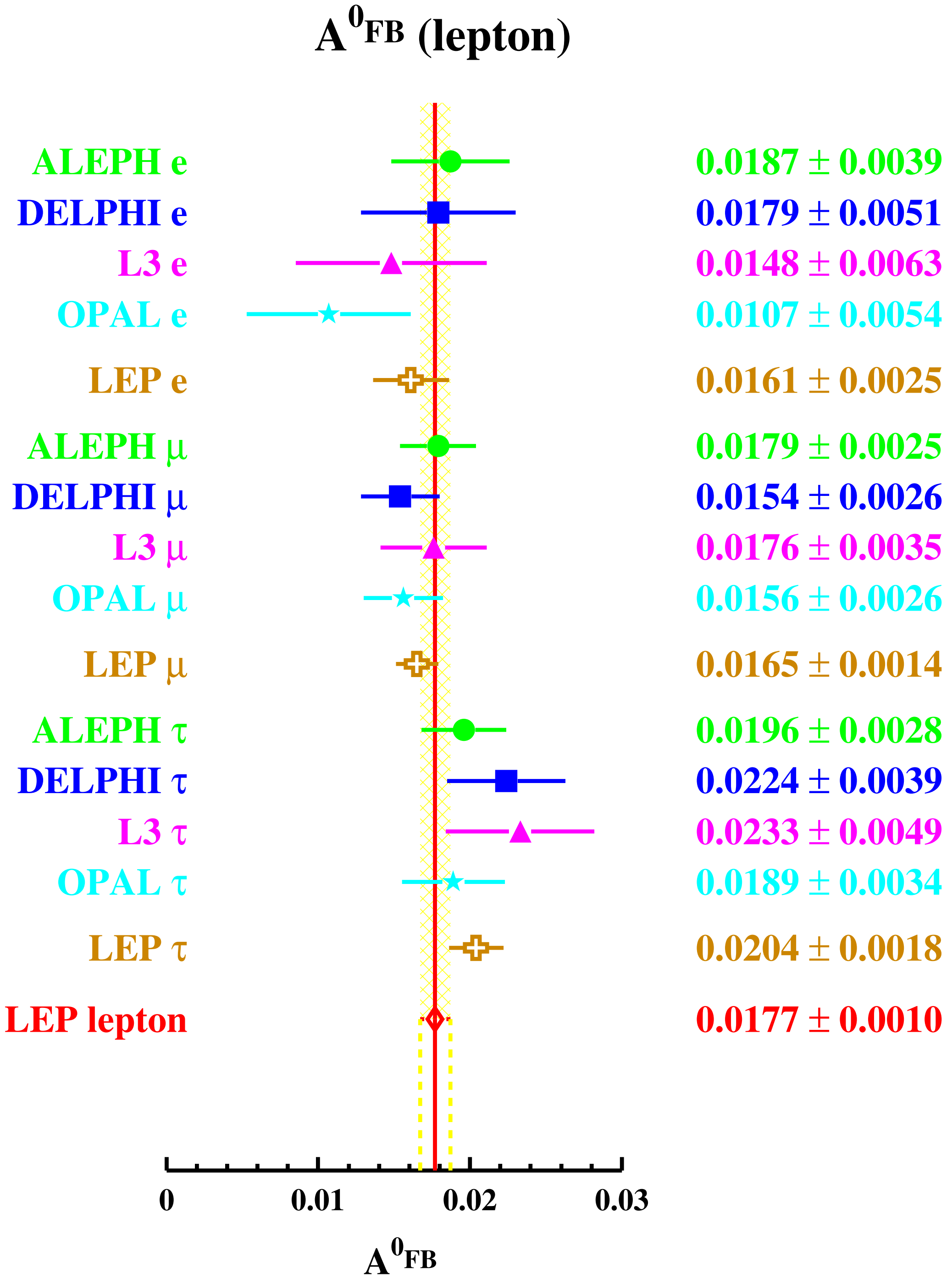
Unsicherheit von $\Delta\alpha$: 0.00023

Lepton Vorwärts-Rückwärts Asymmetrien



$A_{FB}^{0,\ell}$-Ergebnisse

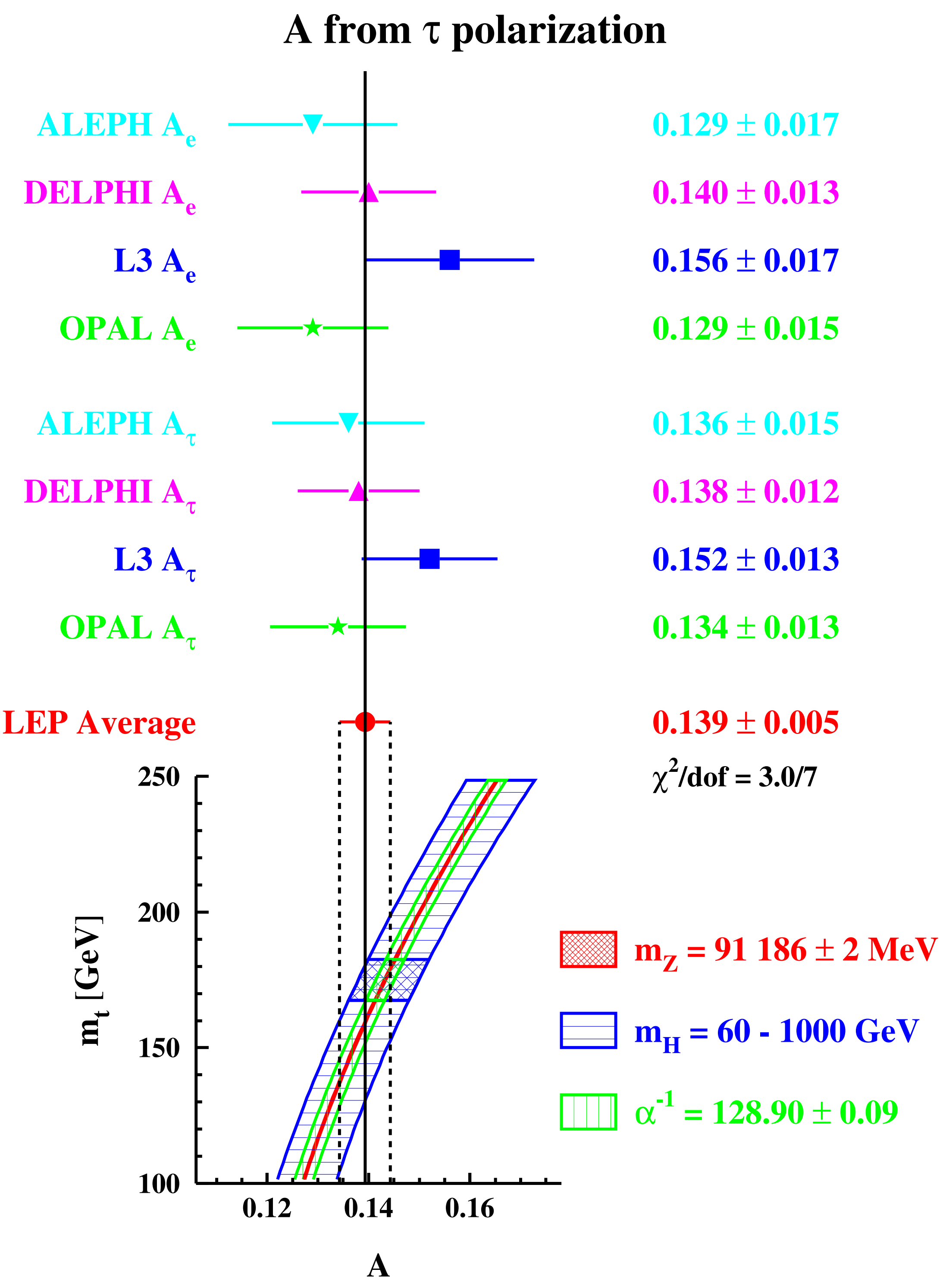
Volle LEP 1 Statistik!



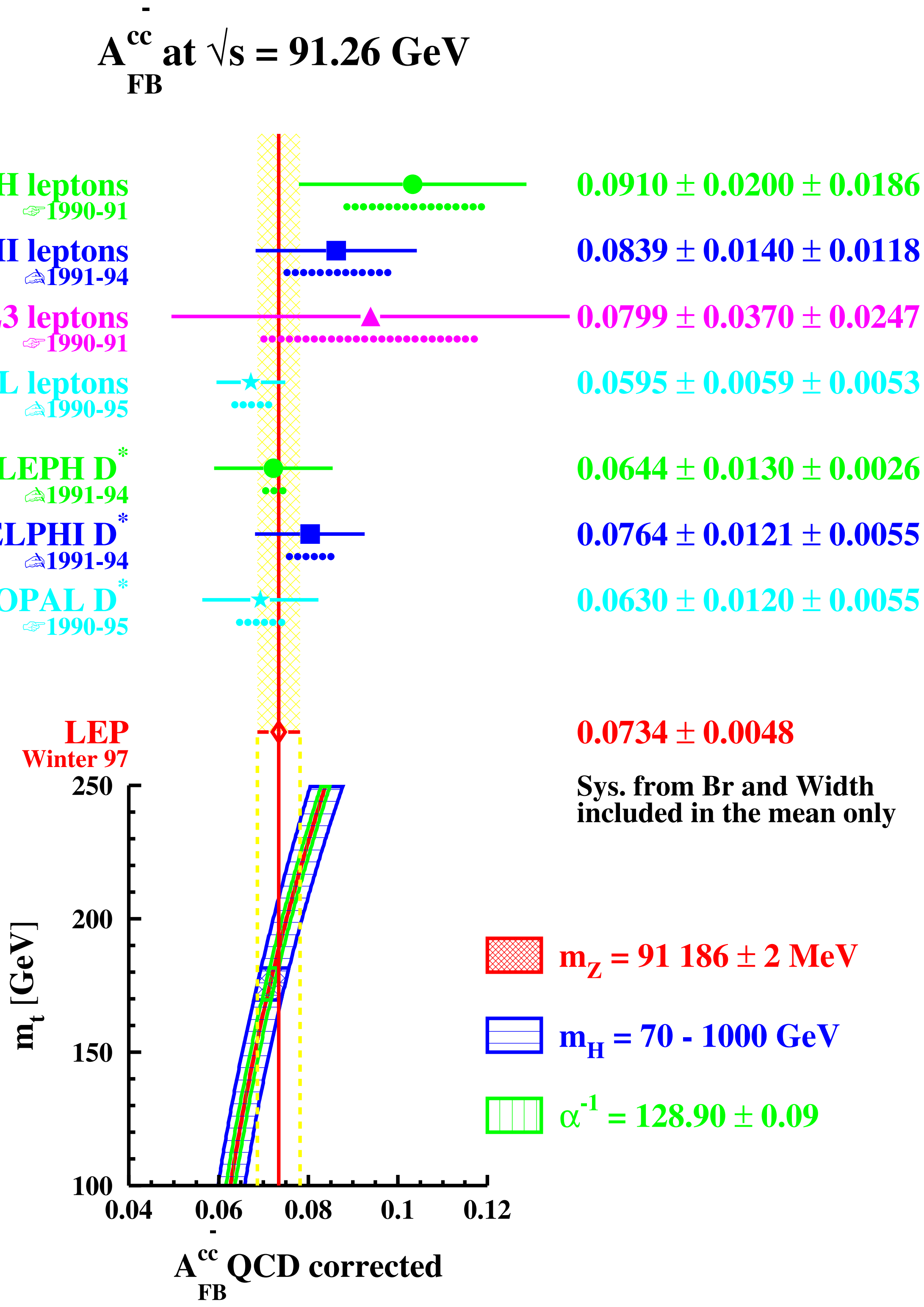
Kompatibilität $e - \mu - \tau$: 18%

τ – Polarisation

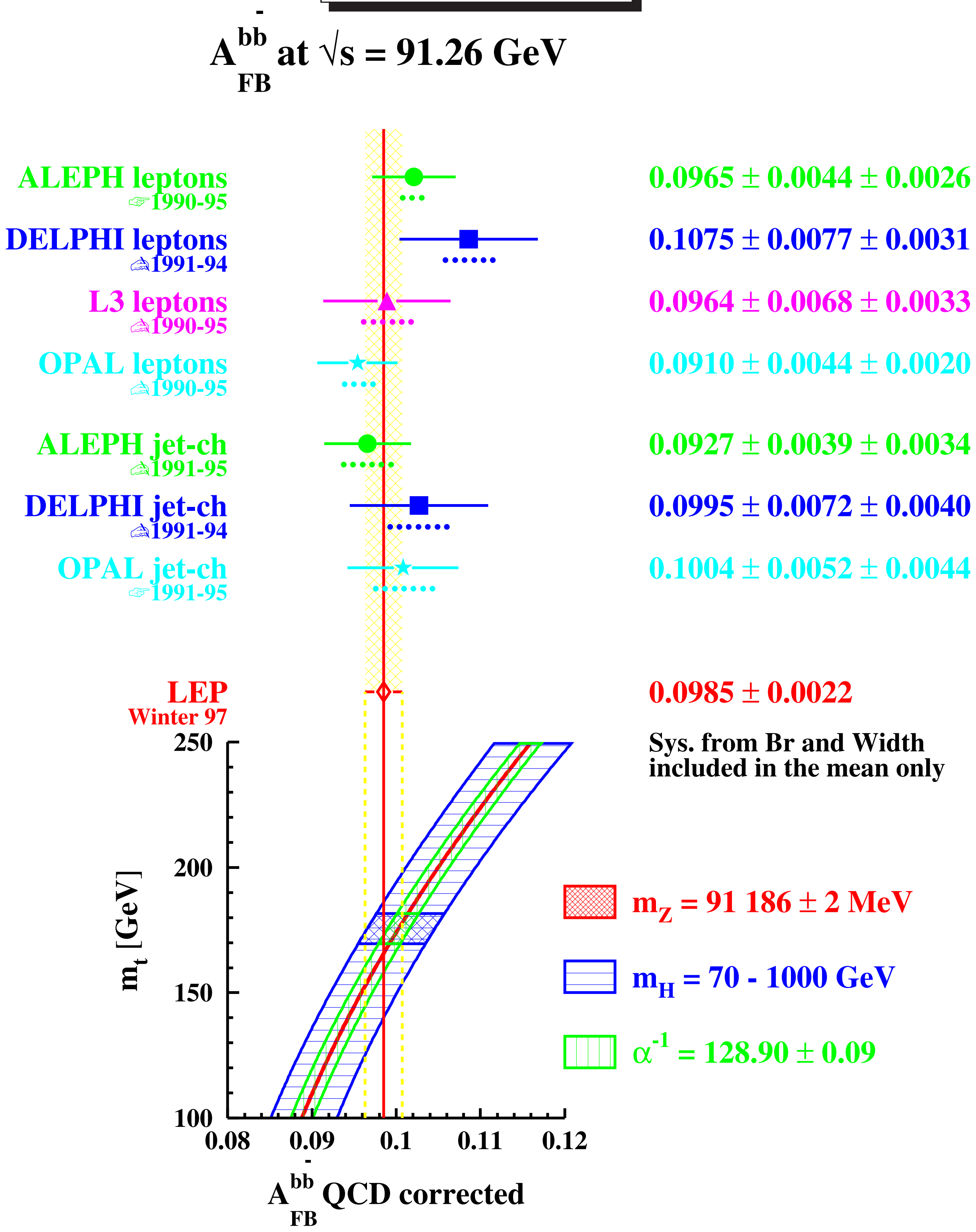
DELPHI, L3, Opal: 1990-1994
ALEPH: 1990-1992



c-Asymmetrie



b-Asymmetrie



Genaueste Messung von $\sin^2\theta^l_{eff}$

$\boxed{A_{LR}}$

SLD am SLAC mißt $e^+e^- \rightarrow Z \rightarrow f\bar{f}$ mit polarisierten Strahlen.

$\Rightarrow$ Zugang zu $A_{LR} (= P \cdot \mathcal{A}_e)$

(A_{LR} hat die größte Sensitivität auf $\sin^2\theta^l_{eff}$ und nutzt alle Ereignisse!)

Analysierte SLD Statistik: 150000 Z Zerfälle

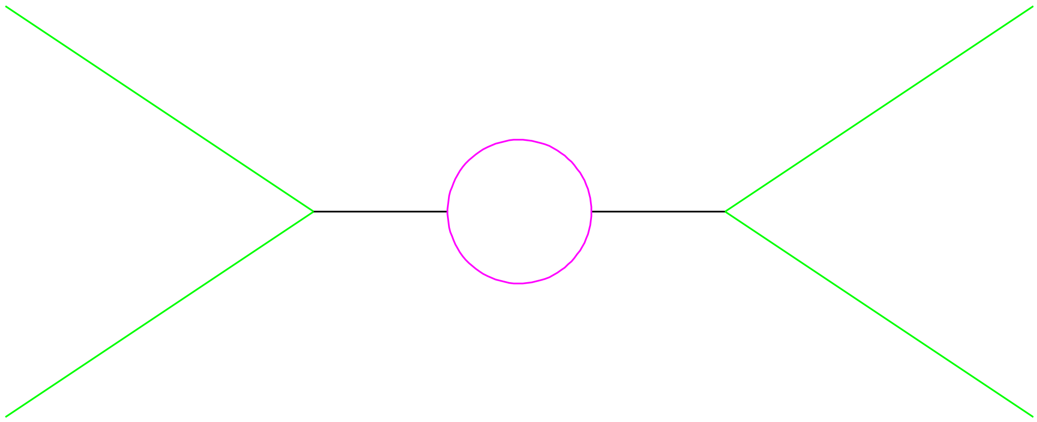
Polarisation: $P = 77.1 \pm 0.7\%$!

Zusammen mit SLD Lepton-Asymmetrien:

$$\sin^2\theta^l_{eff}(\mathrm{SLD}) = 0.23055 \pm 0.00041$$

Tests des Standardmodells

Für elektroschwache Präzisionstests werden "1-loop" Korrekturen benötigt



$\Rightarrow$ Alle freien Parameter beeinflussen alle Observablen, insbesondere:

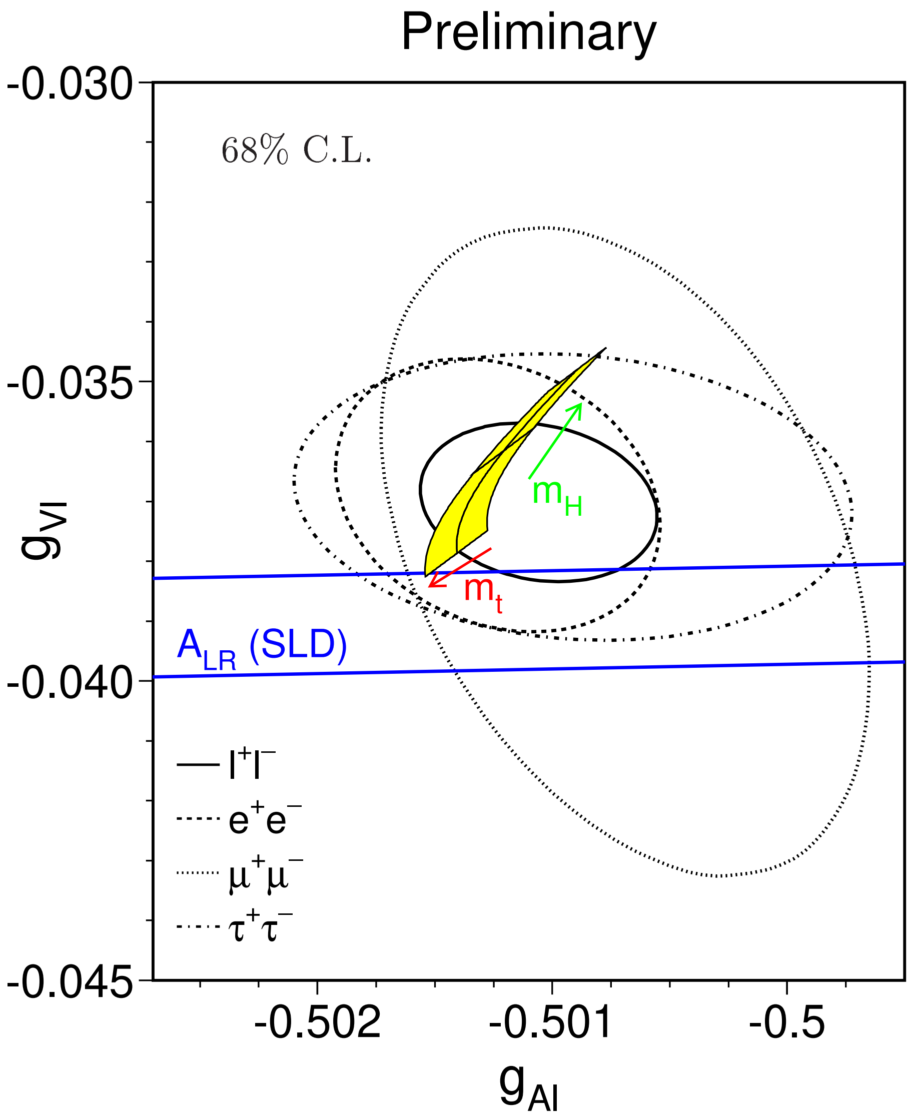
m_t	jetzt bekannt: $m_t = 175.6 \pm 5.5$GeV
m_H	nur Limit: $m_H > 70$GeV

Alle Präzisionsmessungen "messen" m_H

$\Rightarrow$ Brauche viele Größen, die alle mit demselben m_H kompatibel sein müssen, um das Modell zu testen.

Z-Lepton Kopplungen

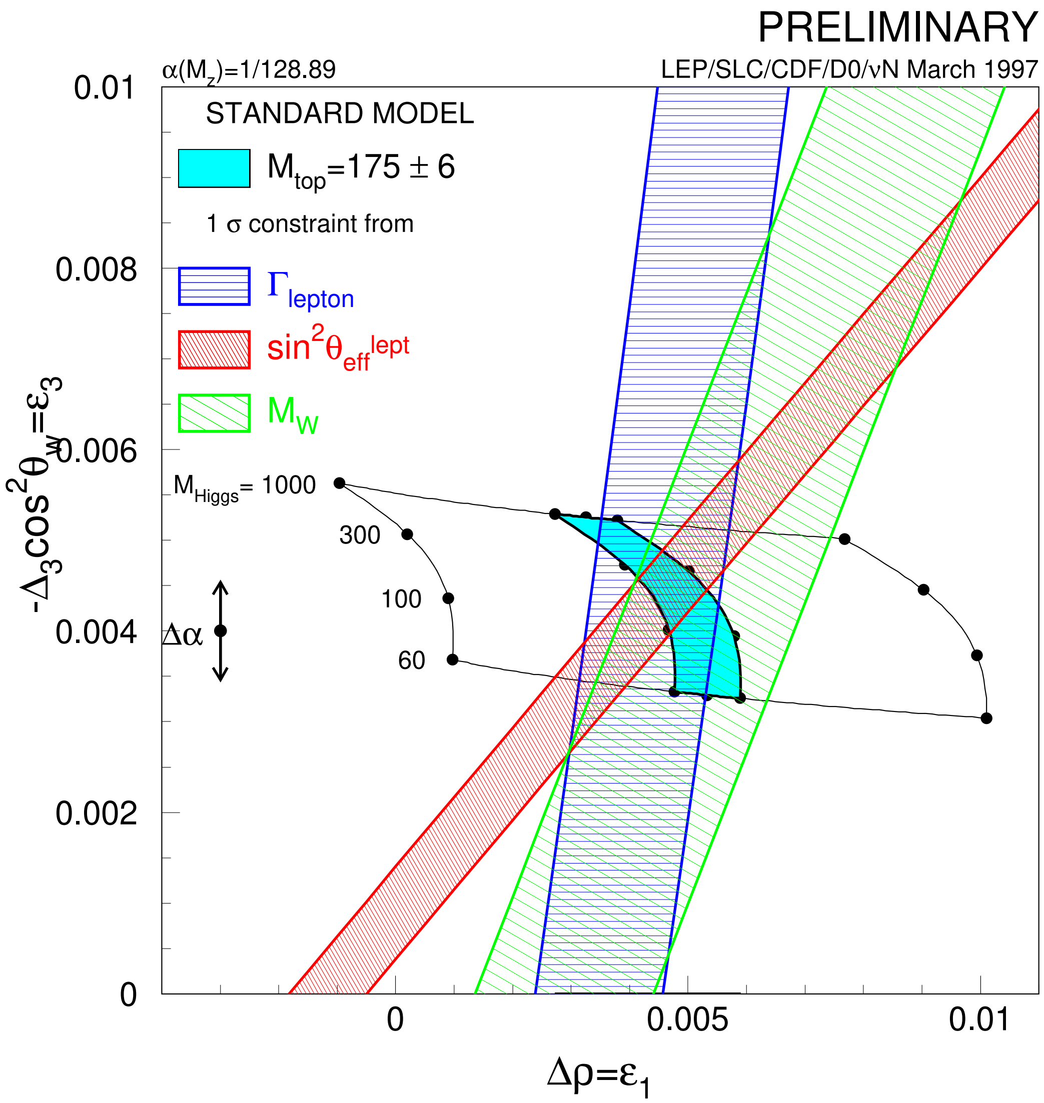
Aus Γ_ℓ und den Lepton-Asymmetrien lassen sich g_{Vl} und g_{Al} getrennt bestimmen



- Lepton Universalität ist gut erfüllt für neutrale Ströme.
- A_{LR} von SLD ist konsistent mit LEP,
- Standardmodell stimmt mit den Daten gut überein

Drei unabhängige Größen:

- Γ_{lepton} (LEP)
- $\sin^2\theta^l_{eff}$ (LEP, SLD)
- m_W (TEVATRON, LEP)



Bänder kreuzen auf der Standardmodell Vorhersage

Standarmodel Fit

Fit an alle elektroschwachen Daten:

$$
\begin{aligned}
m_t &= 172.7 \pm 5.4 \mathrm{GeV} \\
m_H &= 127^{+127}_{-72} \mathrm{GeV} \\
\alpha_s(m_Z^2) &= 0.120 \pm 0.003
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\Rightarrow \quad \sin^2\theta^l_{eff} &= 0.23157 \pm 0.00022 \\
m_W &= 80.366 \pm 0.031 \mathrm{GeV}
\end{aligned}
$$

$$\chi^2/ndf = 20.6/15 \qquad \mathrm{Prob} \approx 15\%$$

Daten global konsistent mit dem Standardmodell

$\Rightarrow$ Schlechte Übereinstimmung in $\sin^2\theta^l_{eff}$ sollte als Fluktuation angesehen werden

$\alpha_s(m_Z^2)$ konsistent mit dem Weltmittelwert (0.118 ± 0.003)

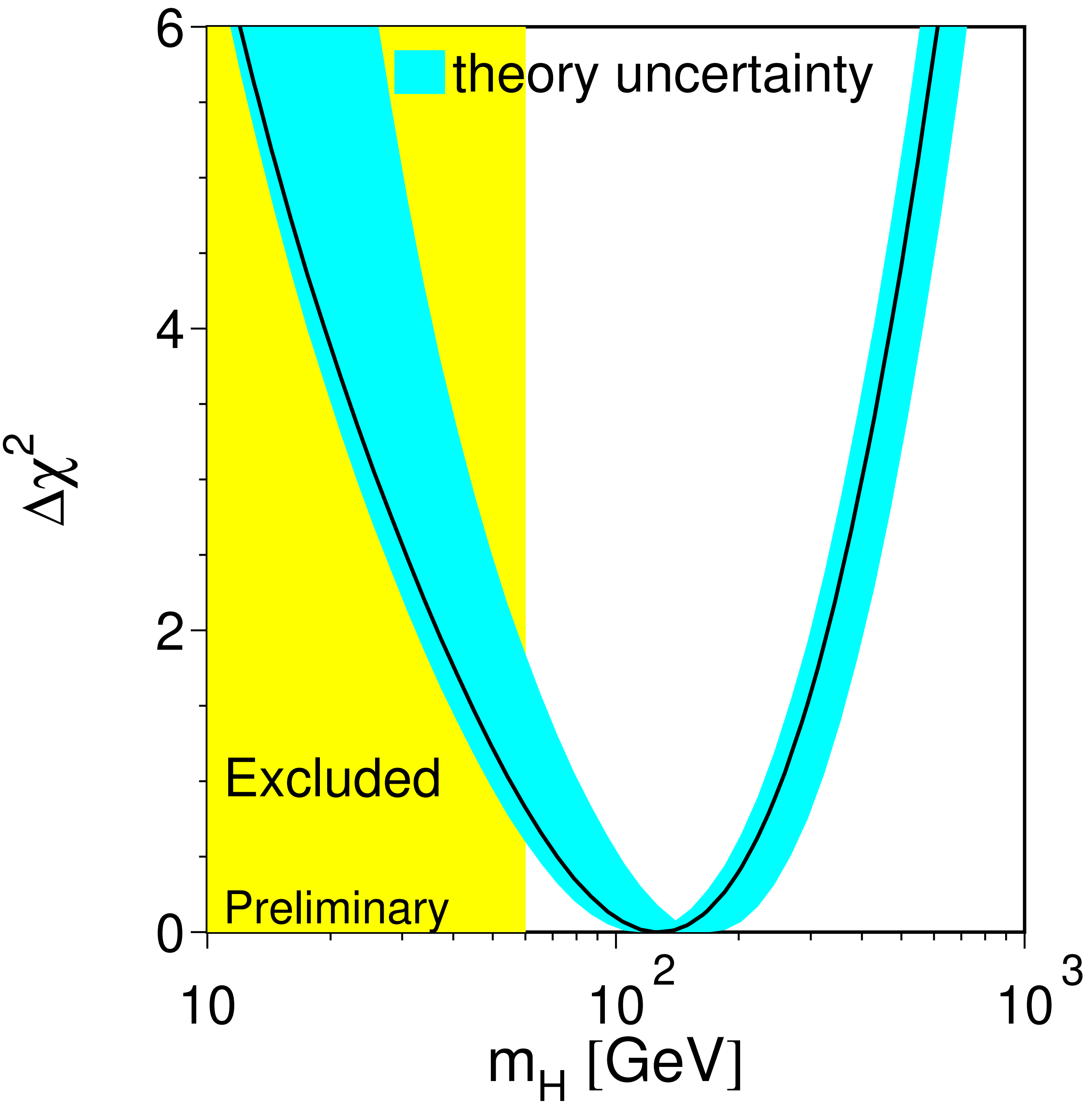
Unabhängige Evidenz für die R_{b} Diskrepanz ist auch verschwunden.

Übereinstimmung Daten Fitvorhersage

	Measurement with Total Error	Standard Model	Pull
line-shape and lepton asymmetries:			
m_Z [GeV]	91.1863 ± 0.0019	91.1862	0.1
Γ_z [GeV]	2.4947 ± 0.0026	2.4966	-0.7
σ_0^{had} [nb]	41.489 ± 0.055	41.463	0.5
R_ℓ	20.783 ± 0.029	20.760	0.8
$A_{\mathrm{FB}}^{0,\ell}$	0.0177 ± 0.0010	0.0161	1.6
+ correlation matrix			
$\mathcal{A}_\tau$	0.1401 ± 0.0067	0.1467	-1.0
$\mathcal{A}_e$	0.1382 ± 0.0076	0.1467	-1.1
$\sin^2\theta^l_{eff}$ (A_{LR})	0.23055 ± 0.00041	0.23157	-2.5
b and c quark results:			
R_{b}	0.2177 ± 0.0011	0.2158	1.8
R_{c}	0.1722 ± 0.0053	0.1723	0.0
$A_{\mathrm{FB}}^{0,\mathrm{b}}$	0.0985 ± 0.0022	0.1028	-2.0
$A_{\mathrm{FB}}^{0,\mathrm{c}}$	0.0733 ± 0.0048	0.0734	0.0
$\mathcal{A}_{\mathrm{b}}$	0.897 ± 0.047	0.935	-0.8
$\mathcal{A}_{\mathrm{c}}$	0.623 ± 0.085	0.668	-0.5
+ correlation matrix			
$\sin^2\theta^l_{eff}$ $(< Q_{FB} >)$	0.2322 ± 0.0010	0.23157	0.6
m_W and m_t:			
m_W [GeV]	80.37 ± 0.08	80.37	0.0
$1 - m_W^2/m_Z^2$ $(\nu\mathrm{N})$	0.2244 ± 0.0042	0.2232	0.3
m_t [GeV] $(p\bar{p})$	175.6 ± 5.5	172.7	0.5

$$\chi^2/ndf \ = \ 20.6/15$$

Higgs-Massen Limit



Higgs-Massengrenze einschließlich theoretischer Unsicherheiten:

$$m_H < 465\text{GeV} \quad (95\%\ C.L.)$$

Br(b $\to \ell$) und Charm-counting

B-Zerfall: $b \to cW, \; W \to (ud), (cs), (\ell\nu)$

$\Gamma\left(W(Q^2 < m_b^2) \to cs\right)$ hängt von $\frac{m_c}{m_b}$ ab.

$\Rightarrow n_c$ (Anzahl der charm Quarks pro B Zerfall) hängt von $\frac{m_c}{m_b}$ ab.

$\Rightarrow$ Br(b $\to \ell$) hängt von $\frac{m_c}{m_b}$ ab.

Theorie sagt Br(b $\to \ell$) als Funktion von n_c voraus.

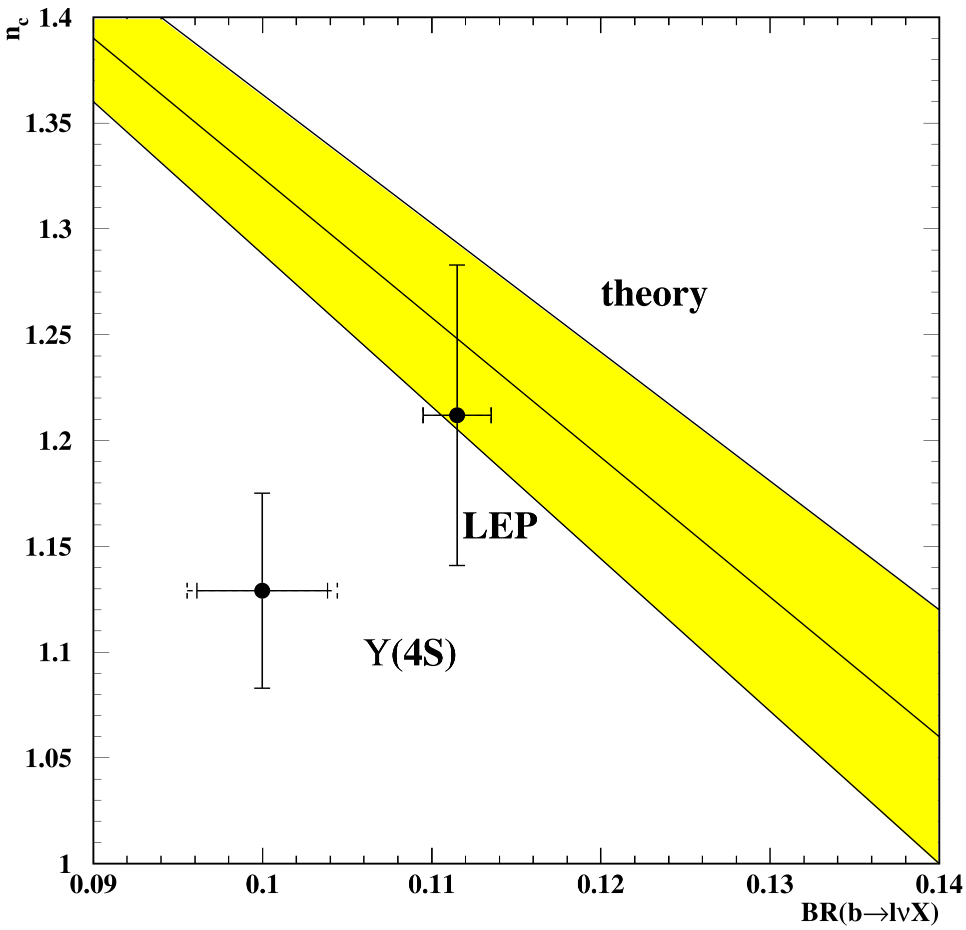
n_c Ergebnisse:

ALEPH:	$1.230 \pm 0.036_{\rm stat} \pm 0.036_{\rm syst} \pm 0.053_{\rm BR}$
OPAL:	$1.100 \pm 0.045_{\rm stat} \pm 0.060_{\rm syst} \pm 0.037_{\rm BR}$
	$+0.063 \pm 0.021 \; (\Xi_c)$
LEP:	1.212 ± 0.071
$\Upsilon(4S)$:	1.129 ± 0.046

$\mathrm{Br}(\mathrm{b} \to \ell)$ Ergebnisse:

$$\Upsilon(4S):\ 0.1023 \pm 0.0039$$
$$\mathrm{LEP}:\ 0.1115 \pm 0.0020$$

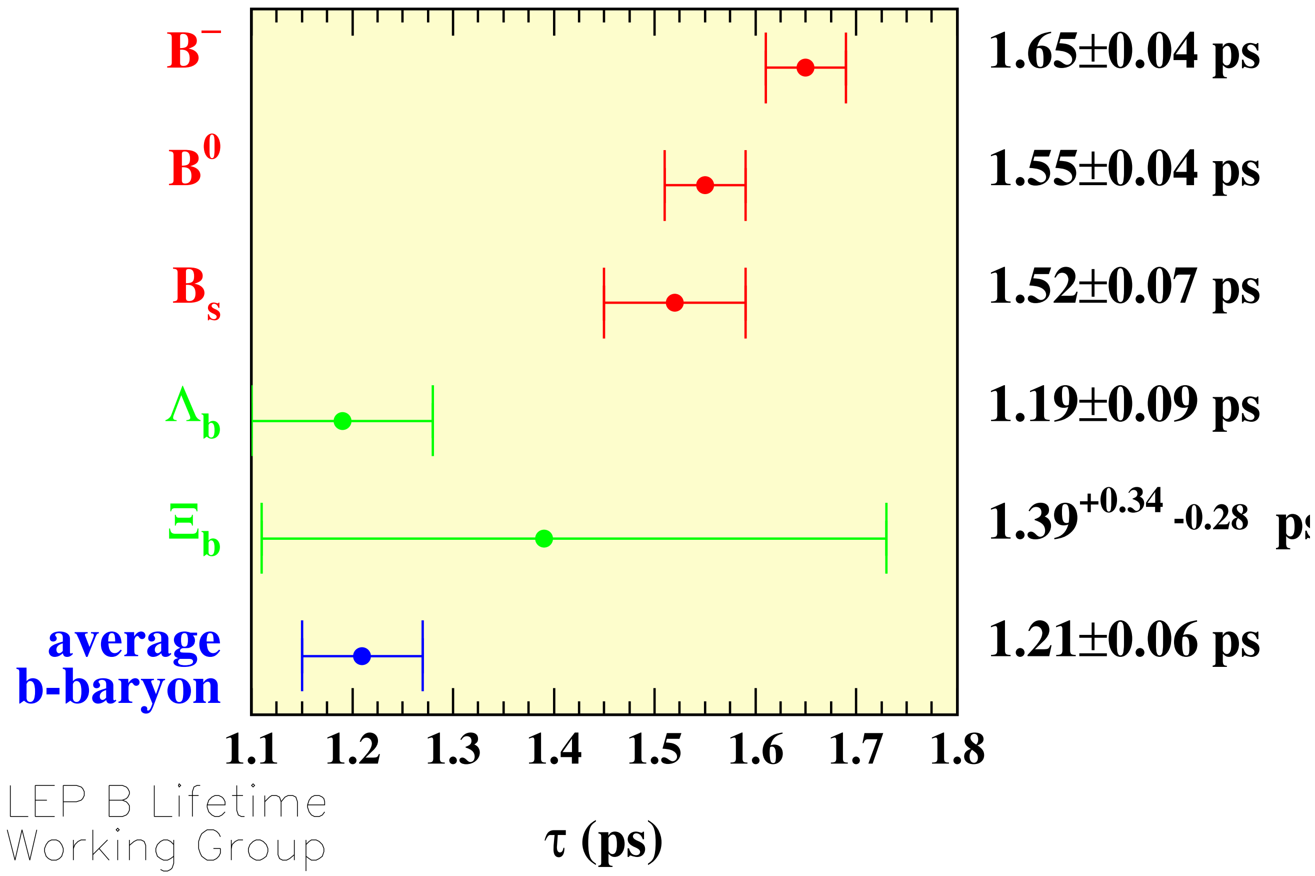
Muß $\Upsilon(4S)$ Ergebnis mit $\frac{\tau_B}{\tau(B^+ + B^0)} = 0.97 \pm 0.02$ multiplizieren um mit LEP zu vergleichen.



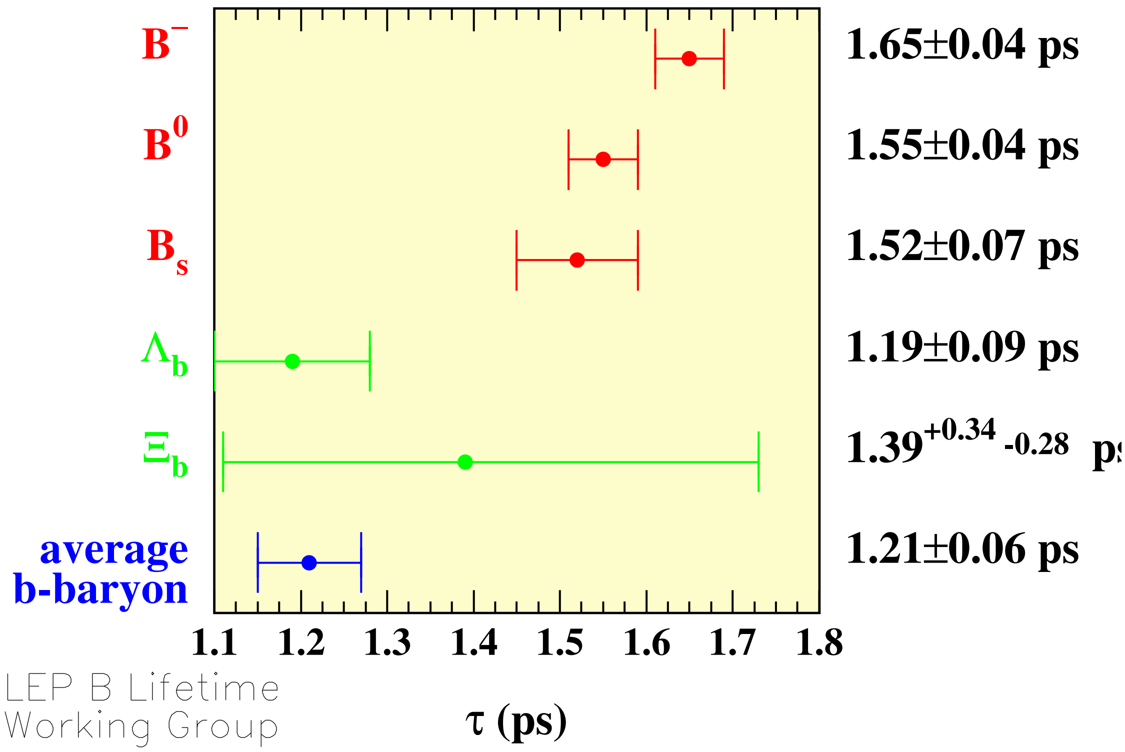
Zur Zeit mehr ein experimentelles als ein theoretisches Problem!

B Lebensdauern

- Theorie erwartet alle b-Hadron Lebensdauern identisch auf $\sim 10\%$
- Schon seit längerem ist Λ_b Lebensdauer zu kurz, B-Mesonen sind o.k.
- Einige neue Ergebnisse von LEP, CDF, SLD:



B-Baryon Lebensdauer bleibt unverstanden



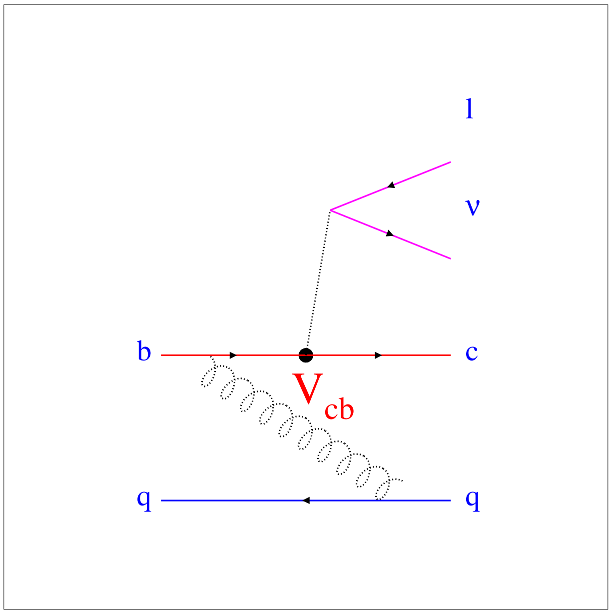
Neue OPAL Messung

$$R_{\Lambda\ell} = \frac{\mathrm{BR}(\Lambda_\mathrm{b} \to \Lambda\ell \mathrm{X})}{\mathrm{BR}(\Lambda_\mathrm{b} \to \Lambda \mathrm{X})} = (7.0 \pm 1.2 \pm 0.7)\%$$
$$\simeq \mathrm{BR}(\Lambda_\mathrm{b} \to \ell \mathrm{X})$$

$$\Rightarrow \frac{R_{\Lambda\ell}}{\mathrm{Br}(\mathrm{b} \to \ell)} = 0.63 \pm 0.13 \approx \frac{\tau_{\Lambda_b}}{\tau_b} = 0.78 \pm 0.04$$

→ “Non-spectator” Effekte beeinflussen die hadronische, aber nicht die semileptonische Λ_b−Breite

$\mathrm{V_{cb}}$



Zerfall $\bar{B}^0 \to \mathrm{D}^{*+}\ell\bar{\nu}_\ell$:

$$\frac{\partial\Gamma}{\partial\omega} = \frac{G_F^2}{48\pi^2} m_{\mathrm{D}^{*+}}^3 (m_{B^0} - m_{\mathrm{D}^{*+}})^2 k(\omega)\sqrt{\omega^2 - 1} \times \mathcal{F}^2(\omega)|\mathrm{V_{cb}}|^2$$

mit ω: Geschwindigkeit des D^{*+} im B System

$$= \frac{m_B^2 + m_D^2 - q^2}{2 m_B m_D} \qquad q^2 = (p_B - p_D)^2$$

$k(\omega)$: kinematische Funktion

HQET sagt voraus:

$$\mathcal{F}(\omega) = \mathcal{F}(1)[1 - \rho^2(1-\omega) + c(1-\omega)^2]$$
$$\mathcal{F}(1) = 0.91 \pm 0.04$$

ρ^2, c stark korreliert

Vorteil bei LEP gegenüber $\Upsilon(4S)$:

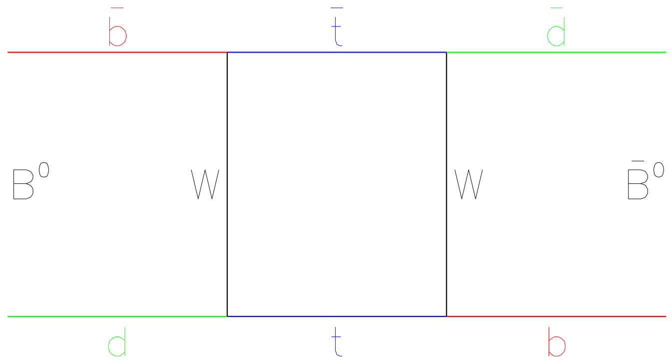
Durch den Boost der B's bleibt die Effizienz hoch für $\omega \rightarrow 1$

Spektrum stimmt gut mit der HQET Vorhersage überein.

LEP Mittelwert:

$$\begin{aligned} \mathcal{F}(1)\mathrm{V_{cb}} &= 0.0335 \pm 0.0020 \\ \Rightarrow \quad \mathrm{V_{cb}} &= 0.0368 \pm 0.0022(exp) \pm 0.0013(theo) \end{aligned}$$

$B\bar{B}$ Mischung



$$P(B^0 \to \bar{B}^0)(t) = \frac{\Gamma}{2} e^{-\Gamma t}(1 - \cos(\Delta m t))$$

Δm = Massendifferenz zwischen den Massen-Eigenzuständen

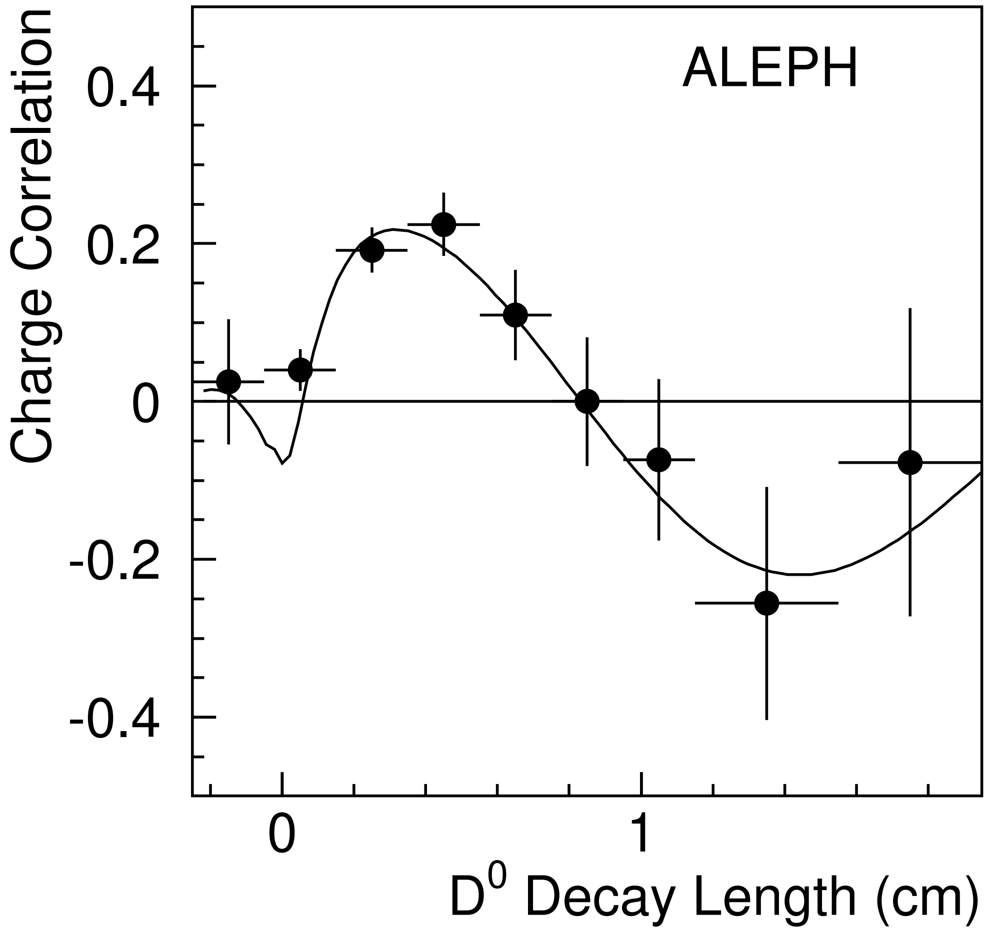
$$\Delta m_{B_d} \propto f_{B_d} |V_{td} V_{tb}^*|^2$$
$$\Delta m_{B_s} \propto f_{B_s} |V_{ts} V_{tb}^*|^2$$
$$\frac{\Delta m_{B_s}}{\Delta m_{B_d}} \propto \frac{f_{B_s}}{f_{B_d}} \left|\frac{V_{ts}}{V_{td}}\right|^2$$

Formfaktoren $f_{B_{s,d}}$ müssen mit QCD berechnet werden. Das Verhältnis ist besser bekannt als die einzelnen Werte.

Bei LEP fliegen B's einige Millimeter bei einer Vertex-Auflösung von $\approx 300\mu$m
$\rightarrow$ Die Mischung kann als Funktion der Zeit gemessen werden.

Δm_d Ergebnisse

Zum ersten Mal Kombination der “LEP B-oscillation group” unter Berücksichtigung korrelierter systematischer Fehler!

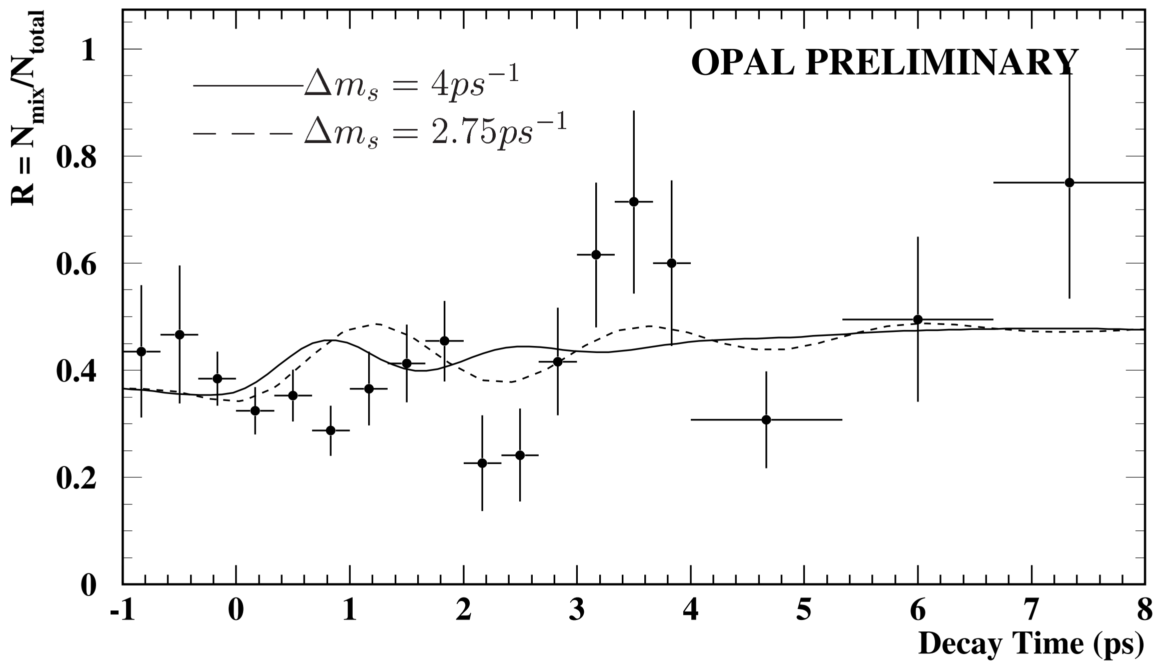


Weltmittelwert:

$$\Delta m_d = 0.465 \pm 0.019\mathrm{ps}^{-1}$$

B_s Mischung

$\Phi\ell + D_s\ell$ Analyse



Bisher nur Limits, Problem diese zu kombinieren.

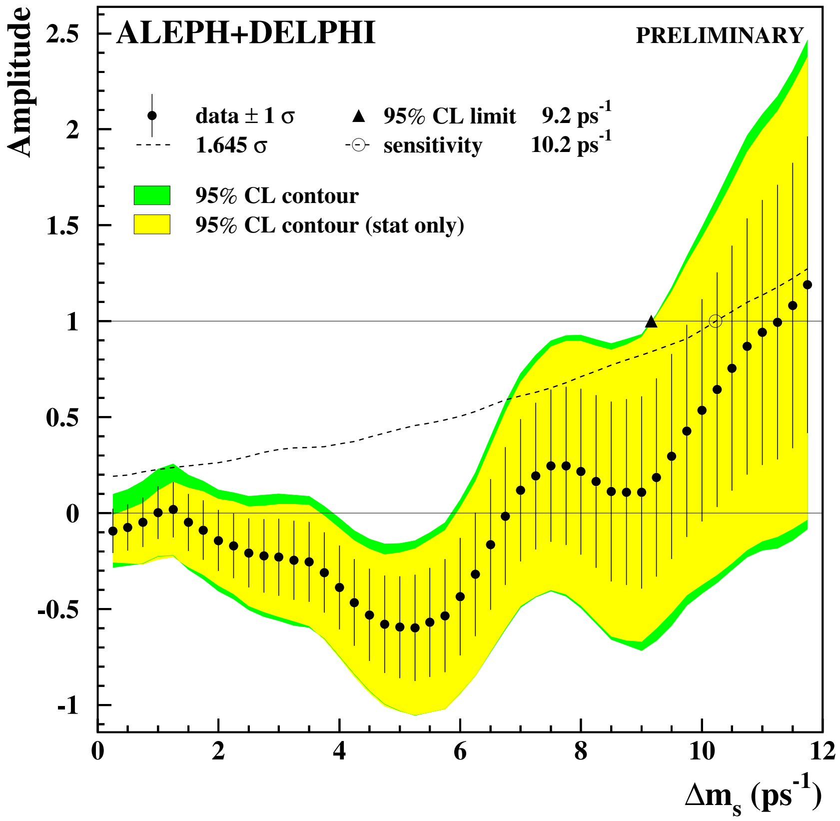
Amplitudenmethode:

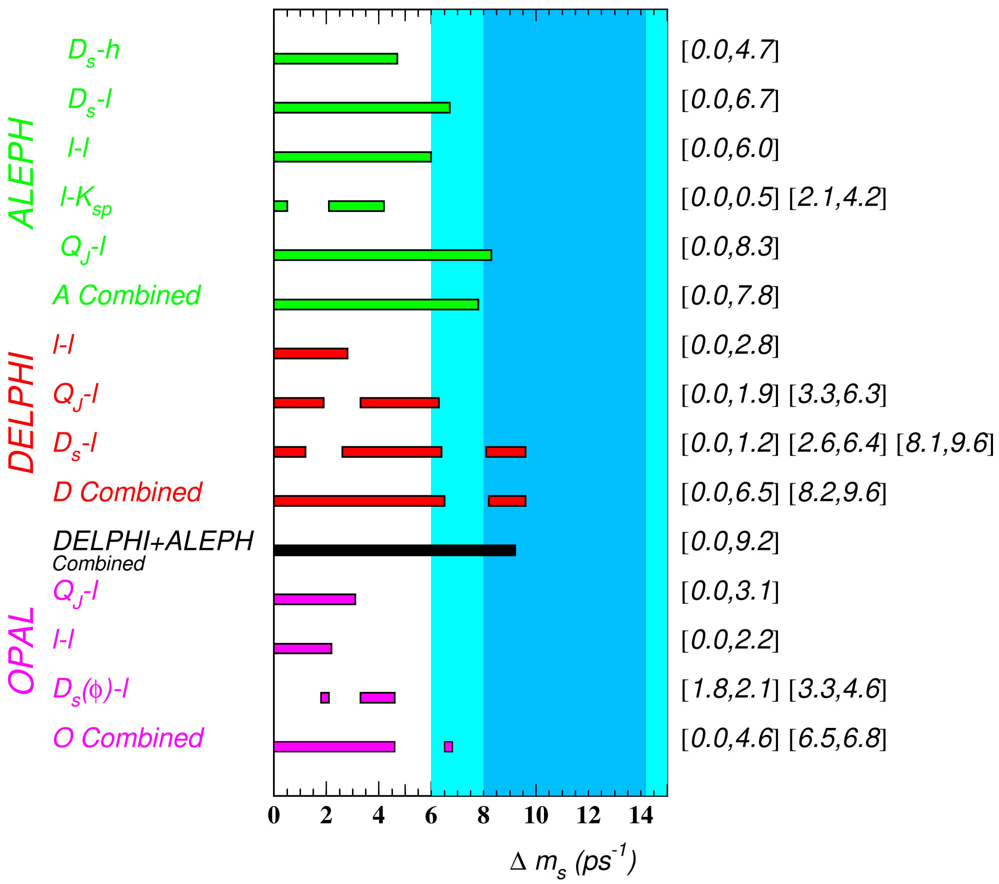
Ersetze $\cos(\Delta m_s t)$ in der Oszillationsformel durch $A\cos(\Delta m_s t)$,

Nehme Δm_s an und fitte A
Δm_s korrekt $\Rightarrow \quad A = 1$
Δm_s falsch $\Rightarrow \quad A \sim 0$
Δm_s ausgeschlossen, wenn A inkompatibel mit 1.

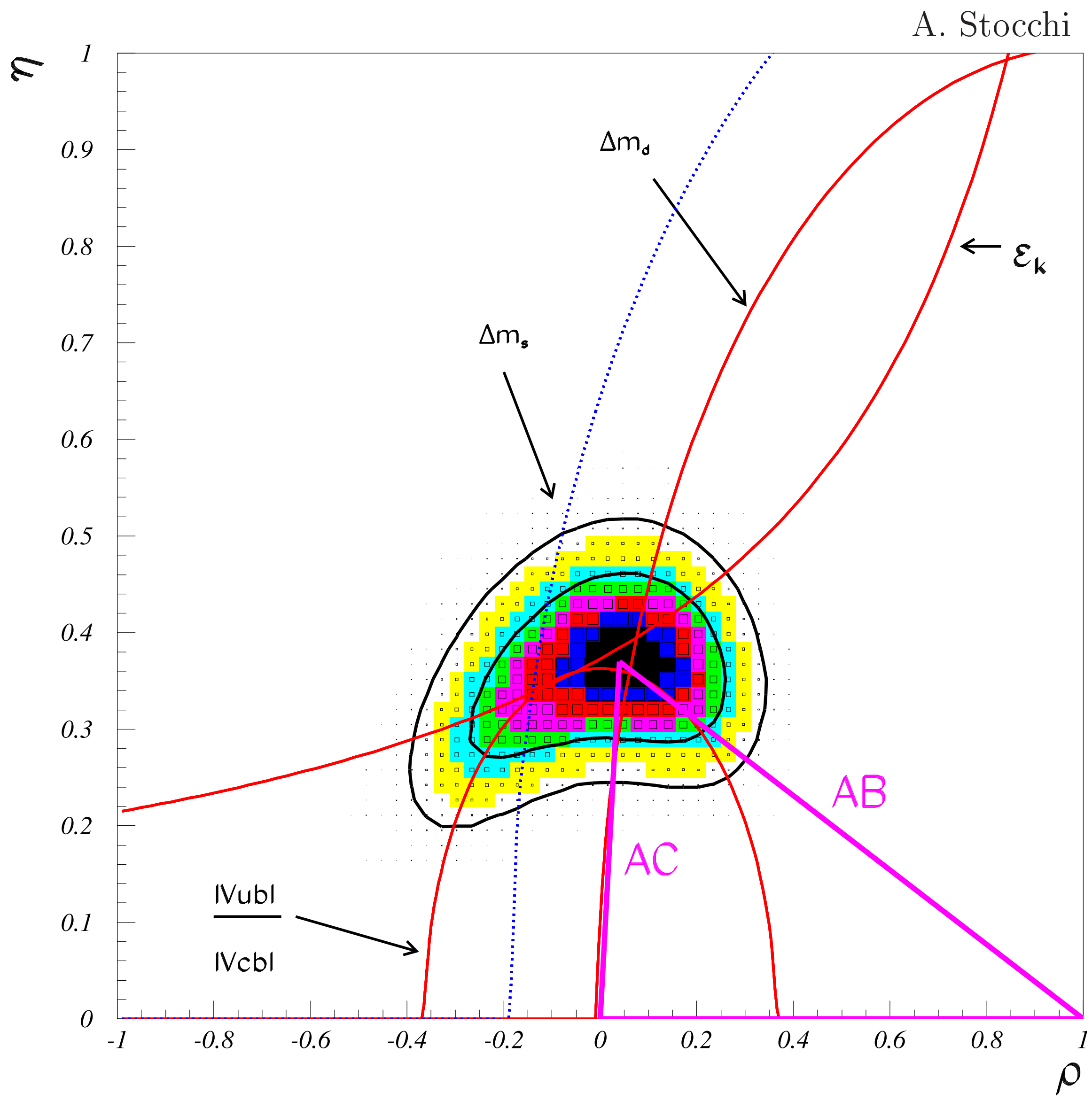
$\Longrightarrow$ Messungen von $A(\Delta m_s)$ können in der gewohnten Weise kombiniert werden.

Δm_s Ergebnisse





Unitaritäts-Dreieck



Δm_s ist nah am LEP limit!

Zusammenfassung

- m_Z ist Dank LEP mit derselben Genauigkeit bekannt wie G_μ $(2 \cdot 10^{-5}.)$
- Mehrere elektroschwache Observablen sind bei LEP/SLC mit Promill-Genauigkeit gemessen und immer wurden die Vorhersagen des Standardmodells bestätigt. Dies setzt enge Grenzen für "neue Physik".
- Durch die Präzisionsmessungen bei LEP/SLC/ TEVATRON wird der Higgs-Sektor ernsthaft eingeschränkt.
- LEP trägt signifikant zum Verständnis der CKM Matrix bei.
- Das Verständnis der QCD in den B-Zerfällen bleibt schwierig.

Auch wenn LEP1 nichts neues gefunden hat, zeigt es doch mehrere Richtungen auf (m_W, leichtes Higgs, Δm_s), wo Physik auch vor dem LHC interessant bleibt.