

$$B^0 \rightarrow \rho^0 \rho^0$$

Pit Vanhoefer

Max-Planck-Institut für Physik

pvanhoef *at* mpp.mpg.de

1) Motivation

2) CP Verletzung

3) BELLE

4) Messung der Zerfallsrate

5) Ausblick



Max-Planck-Institut für Physik
(Werner-Heisenberg-Institut)



Motivation

Materie Antimaterie Asymmetrie

Model: CP Verletzung mit CKM Mechanismus.

schwache Wechsel Wirkung verletzt C (Ladung), P (Parität) sowie CP Symmetrie

$\Rightarrow$ Teilchen und Antiteilchen können unterschiedliche Eigenschaften haben

★ geladener Strom: schwache und physikalische Massen-Eigenzustände sind nicht identisch sondern über eine komplexe, unitäre Matrix, die Cabibbo-Kobayashi-Maskawa CKM Matrix verknüpft,

$$\begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}_{\text{weak}} = V_{CKM} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}_{\text{mass}} \equiv \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}_{\text{mass}}$$

deren Elemente die Stärke der Quarkübergänge ($W^{\pm}$ Austausch) angeben.

CP Verletzung

Die unitäre V_{CKM} durch Cabibbo Winkel, $\lambda = \sin \theta_C \approx 0.22$ ausgedrückt (Taylor Entwicklung)

→ 4 Parameter: 3 reale Rotationswinkel (Quark Übergänge) und eine komplexe Phase (für CPV verantwortlich)

$$V_{\text{CKM}} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta + \frac{i}{2}\eta\lambda^2) \\ -\lambda & 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 - i\eta A^2\lambda^4 & A\lambda^2(1 + i\eta\lambda^2) \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + \mathcal{O}(\lambda^6)$$

Aus der Unitarität folgen Relationen die zu Dreiecken in der komplexen Ebene führen.

$$V_{\text{CKM}} V_{\text{CKM}}^\dagger = \mathbf{1} \quad \Rightarrow$$



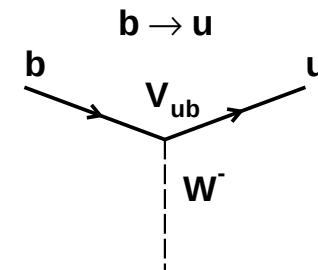
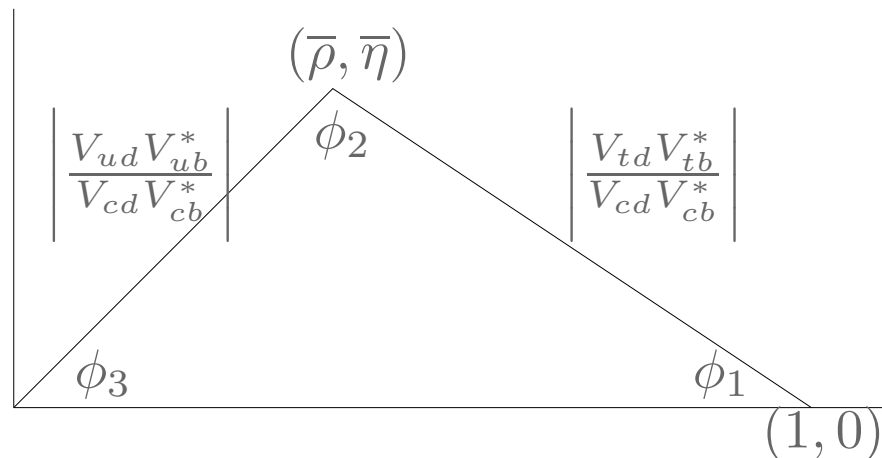
$$\leftarrow \boxed{V_{ij} V_{ik}^* = 0} \rightarrow$$



CP Verletzung - Unitaritäts Dreieck

$$\begin{array}{ccccc} V_{ud}V_{ub}^* & + & V_{cd}V_{cb}^* & + & V_{td}V_{tb}^* & = & 0 \\ \mathcal{O}(\lambda^3) & & \mathcal{O}(\lambda^3) & & \mathcal{O}(\lambda^3) & & \end{array}$$

Messungen der Zerfälle mit $b \rightarrow u$ Übergängen,
z.B. $B \rightarrow \rho\rho$, $B \rightarrow \pi\pi$, ... helfen
den Winkel ϕ_2 zu bestimmen



ca. gleichlange Seiten $\mathcal{O}(\lambda^3) \sim$ grosse Winkel $\Rightarrow$ grosse CP Verletzung in B Zerfällen

falls das Dreieck NICHT geschlossen ist gibt es *neue Physik*
die NICHT durch den CKM Mechanismus erklärt wird

$\Rightarrow$ wichtig die Winkel und Seiten zu messen

Der KEKB Beschleuniger

Der KEKB Beschleuniger steht in Japan

Asymmetrischer e^+e^- Beschleuniger

3.5GeV auf 8GeV

⇒ *boost des Schwerpunktsystems*

Weltrekord

Luminosität

$$L = 2.11 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

⇒ *weltweit grösste Zahl von $B\bar{B}$ Paaren*

$$\int L dt = 1000 \text{ fb}^{-1}$$

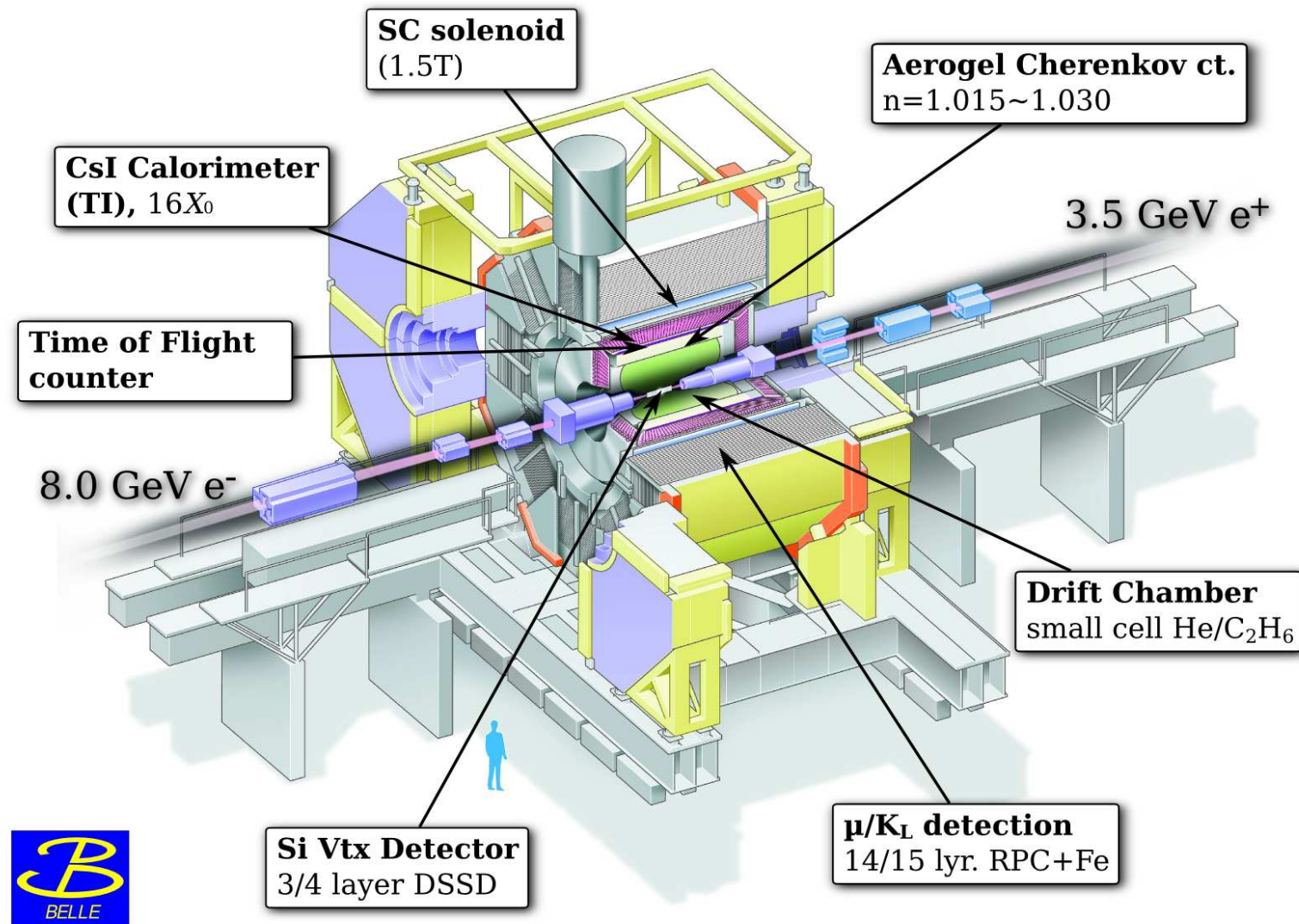
~ $900 \times 10^6 B\bar{B}$ Paaren

andere asymm. B-Fabrik: BaBar

- Lauf beendet: 465 Mill. B-Paare



Der BELLE Detektor



Messung von CP Verletzung @ BELLE

- $\Upsilon(4S)$ Resonanz mit Boost des Schwerpunktsystems(CMS)

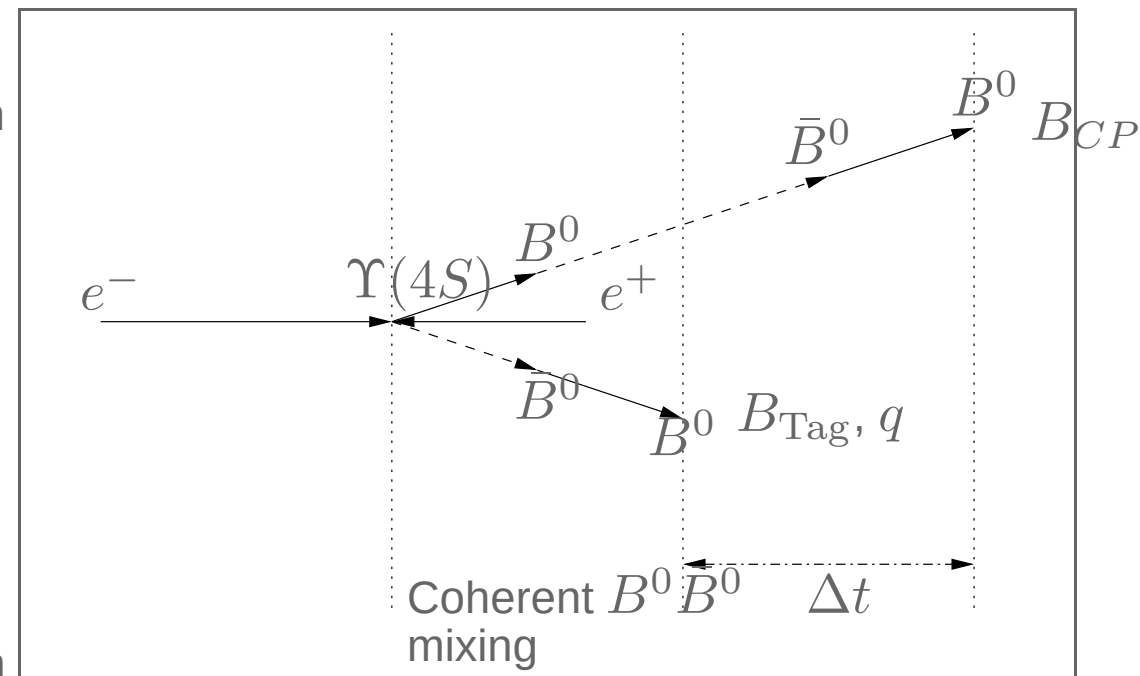
-produzierte $B\bar{B}$ Paare quasi in Ruhe (im CMS)

$\Rightarrow$ Kinematik vereinfacht sich zu 1D

$$\Delta t \simeq \frac{(z_{\text{Rec}} - z_{\text{Tag}})}{\beta\gamma c} \equiv \frac{\Delta z}{\beta\gamma c}$$

$B^0\bar{B}^0$ QM verschränkt

$\Rightarrow$ misst man flavor von B_{tag} , ist der von B_{CP} bekannt (für $\Delta t = 0$)



Messung der Zerfallsrate

Zerfallskette

$$B^0 \rightarrow \rho^0 \rho^0$$

$$\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

kleine BR da 'farbunterdrückt'

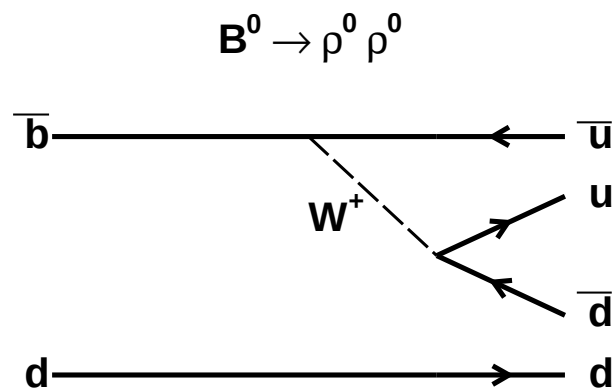
⇒ Beitrag von

Pinguin Diagramm wichtig

bisherige Messungen: BR $\pm$ stat. $\pm$ sys. Fehler

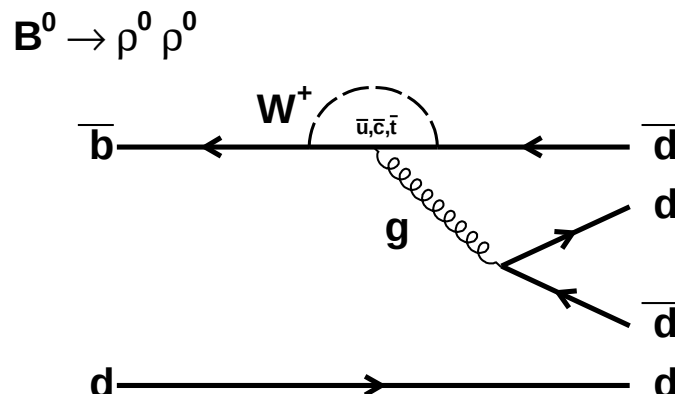
Experiment	BELLE	BaBar
BR($\times 10^{-6}$)	$0.4 \pm 0.4 \pm 0.25$	$0.92 \pm 0.32 \pm 0.14$
$B\bar{B}$ Paare ($\times 10^6$)	656.7	465

BELLE bis heute: ca. 900×10^6 $B\bar{B}$ Paare



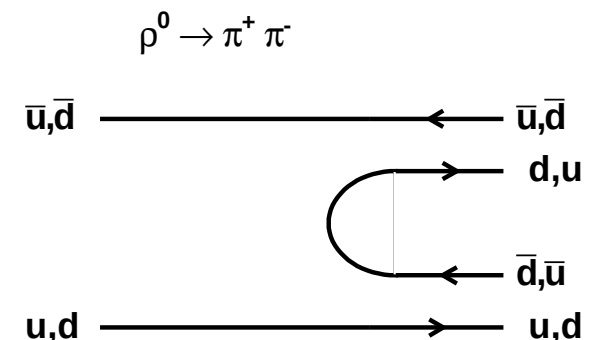
Baumdiagramm

~

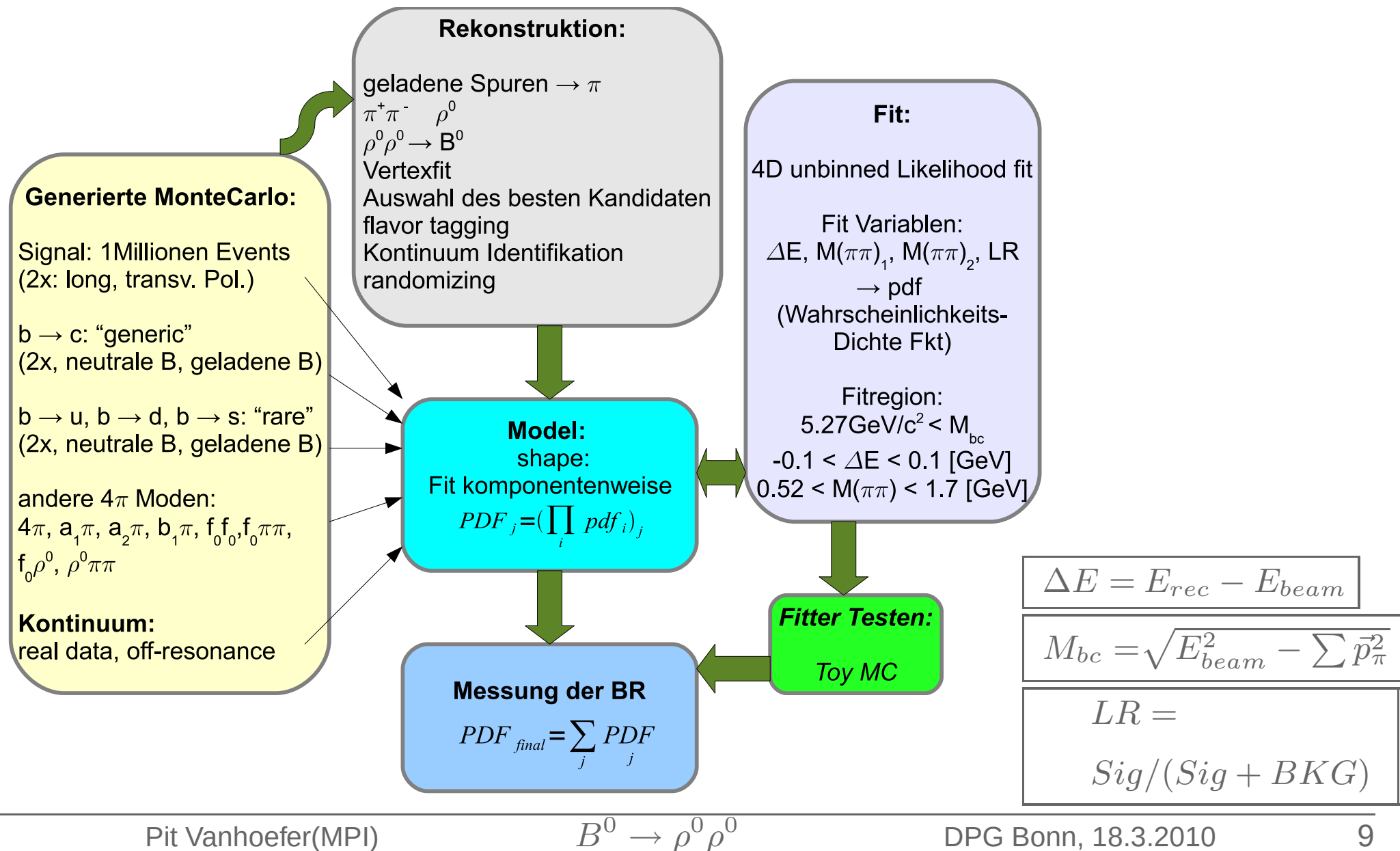


Pinguindiagramm

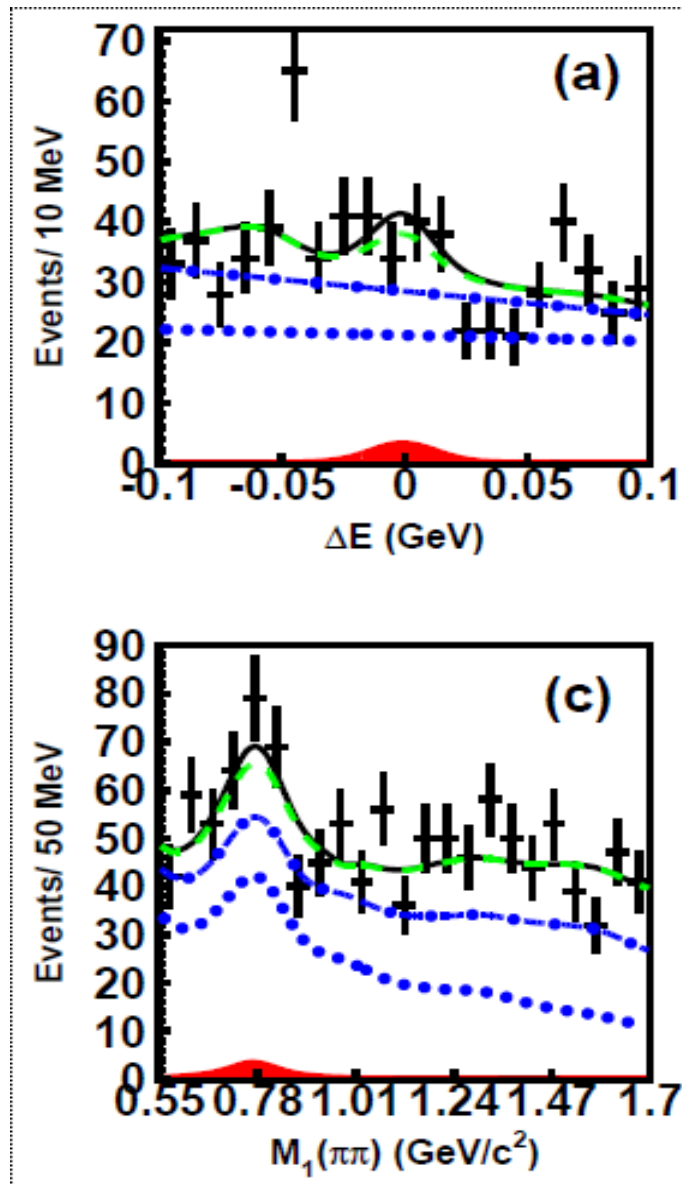
⇒ empfindlich auf *neue Physik*



Messung der Zerfallsrate



Messung der Zerfallsrate



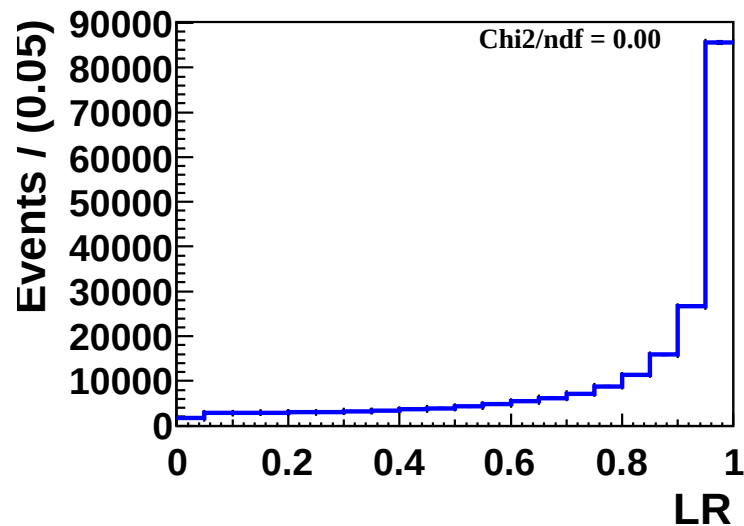
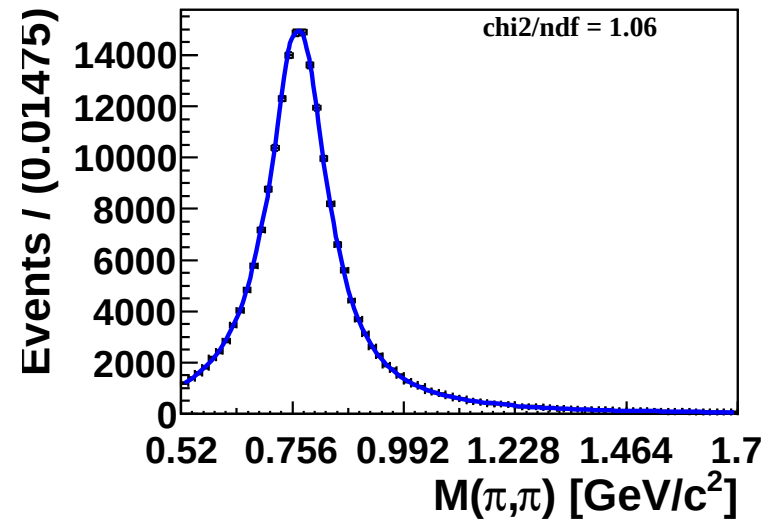
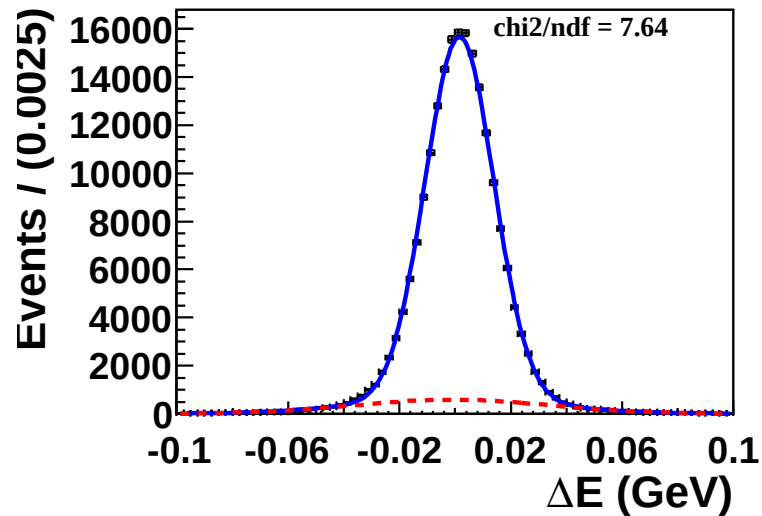
Projektionen des Fits der vorherigen
Analyse @ BELLE (real Data)
C.C.Chiang

$-0.1 < \Delta E < 0.1$ [GeV]
 $0.55 < M < 1.05$ [GeV]

— FitResult
 ···· Kontinuum
 -·-·- generic
 - - - rare
 - · - · 4 π finalstate
 — signal

Hier Hintergrund(LR) gecutted.

Signal MC



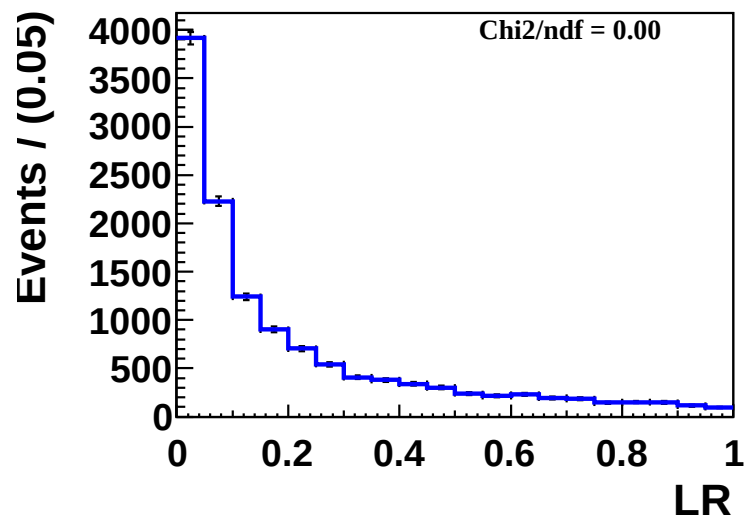
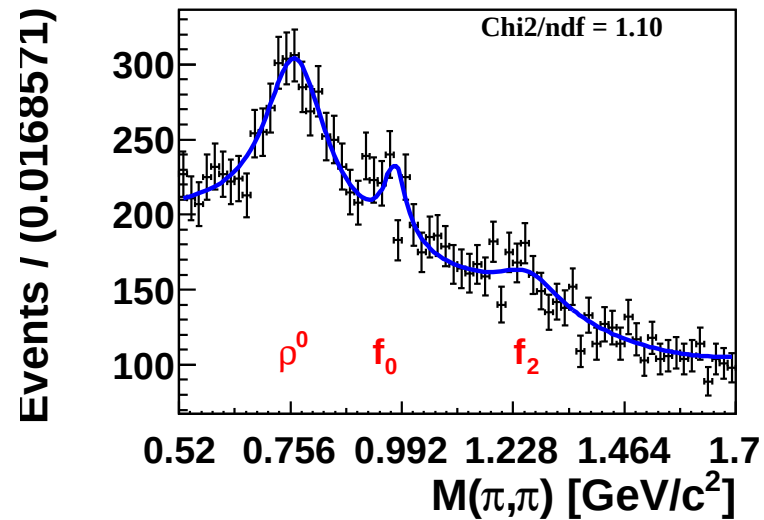
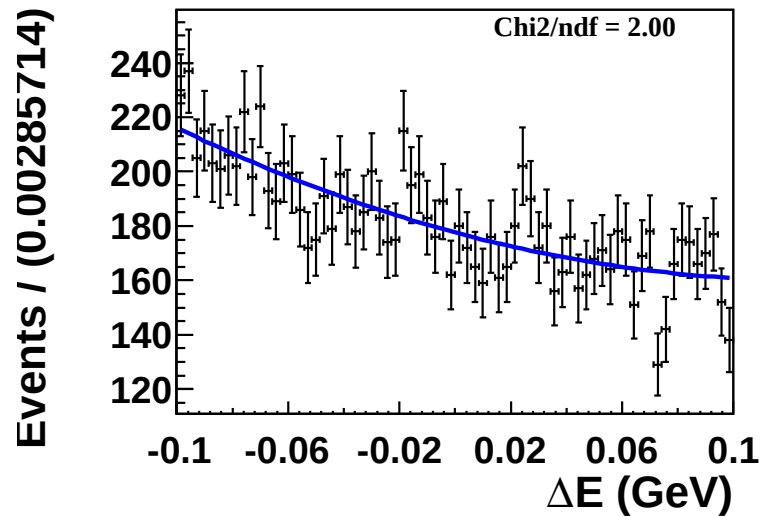
PDF's

dE: Doppelgauss

M: rel. BreitWigner

LR: Histogramm

Kontinuum $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$



PDF's

dE: Chebychev 2.Ordnug

M: Poly. 5,Ord +
2 BreitWigner + Gauss

LR: Histogramm

So?

Zusammenfassung

- * $B^0 \rightarrow \rho^0 \rho^0$ Messung wichtig um ϕ_2 präziser zu bestimmen
- * Chance einer ersten Observation bei BELLE
- * Analyse und Fit
 - Signal ✓
 - Kontinuum ✓
 - generic ✓
 - rare ✓

Ausblick

- finale PDF bilden
- Fitter testen
- Zerfallsrate messen

CP Analyse

Backup Slides

Helizität

Quantenzahlen:

★ B^0 ; $J^P = 0^-$

★ ρ^0 ; $J^{PC} = 1^{--}$

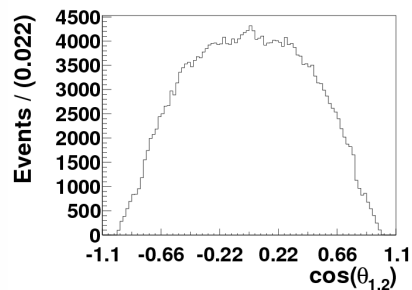
★ $\pi^\pm$; $J^P = 0^-$

$\Rightarrow B^0 \rightarrow \rho^0 \rho^0$: Skalar $\rightarrow$ Vektor Vektor

Zwei mögliche Polarisationen des ρ^0 's:

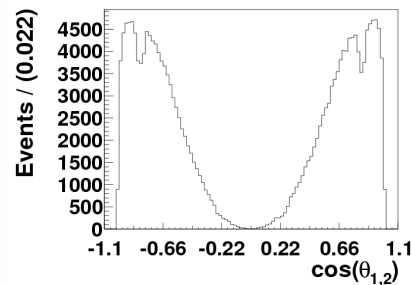
Transversal

Spin $\parallel$ Flugrichtung



Longitudinal

Spin $\perp$ Flugrichtung



Drehimpulserhaltung

$\Rightarrow$ Bestimmung der Polarisation durch Messung der Zerfallswinkel $\theta_{1,2}$ im Ruhesystem des ρ 's

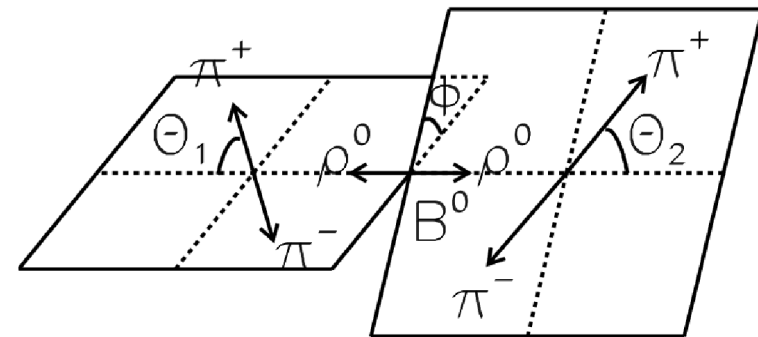


Figure 3: Definition of helicity angles θ_1 , θ_2 , and ϕ , for the decay $B^0 \rightarrow \rho^0 \rho^0$. The ρ^0 final states are shown in their rest frames.

prefit neutrale gewöhnliche MC

Spitze um 0 in ΔE Verteilung loswerden

$\Rightarrow$ bestimmte Moden ausschliessen

$\Rightarrow$ Massenverteilungen (2π , 3π , 2μ) schneiden

$B \rightarrow J\Psi(\mu^+\mu^-)K_S^0(\pi^+\pi^-)$ or $\Psi(2S)(\mu^+\mu^-)K_S^0(\pi^+\pi^-)$

$\Rightarrow$ Veto $M(\mu\mu) \in [M_{(J\Psi;\Psi(2S))} - 0.04; M_{(J\Psi;\Psi(2S))} + 0.04]$

$B \rightarrow D^\pm(\pi\pi\pi)\pi$

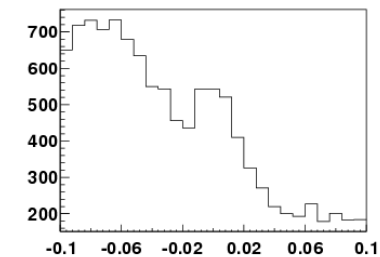
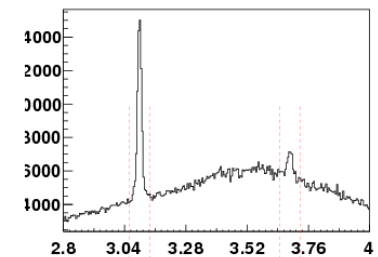
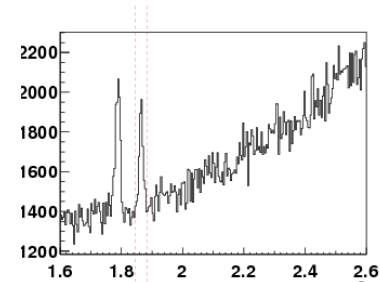
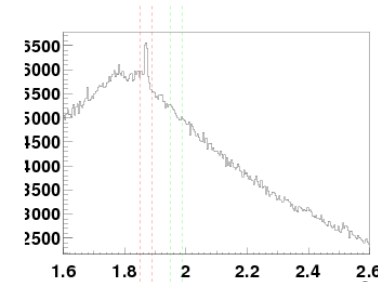
$\Rightarrow$ Veto $M(\pi\pi\pi) \in [M_{(D^\pm;D^{*\pm})} - 0.02; M_{(D^\pm;D^{*\pm})} + 0.02]$

$B \rightarrow D^{*\pm}(D^0(\pi\pi)\pi)\pi$

$\Rightarrow$ Veto $M(\pi\pi) \in [M_{D^0} - 0.02; M_{D^0} + 0.02]$

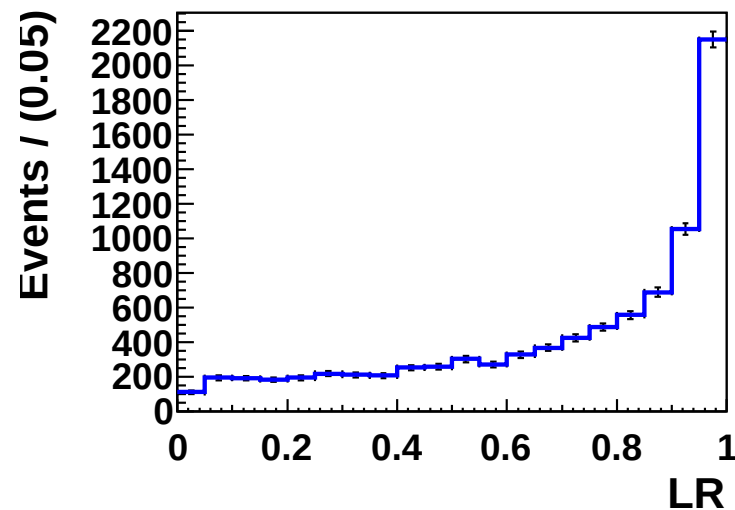
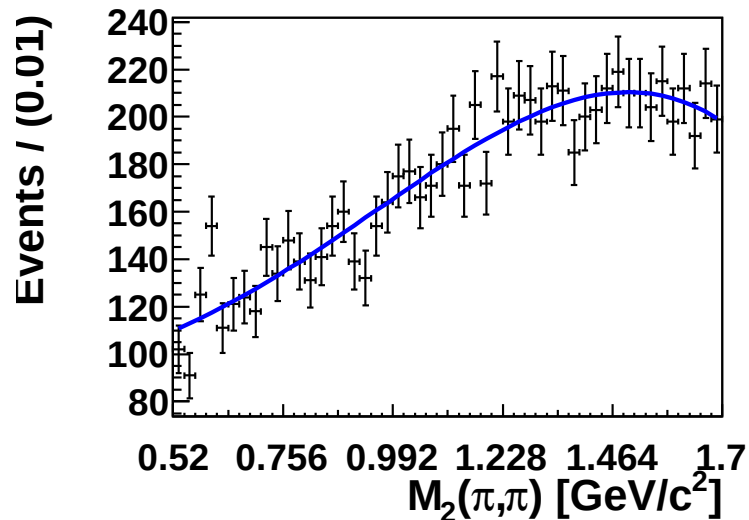
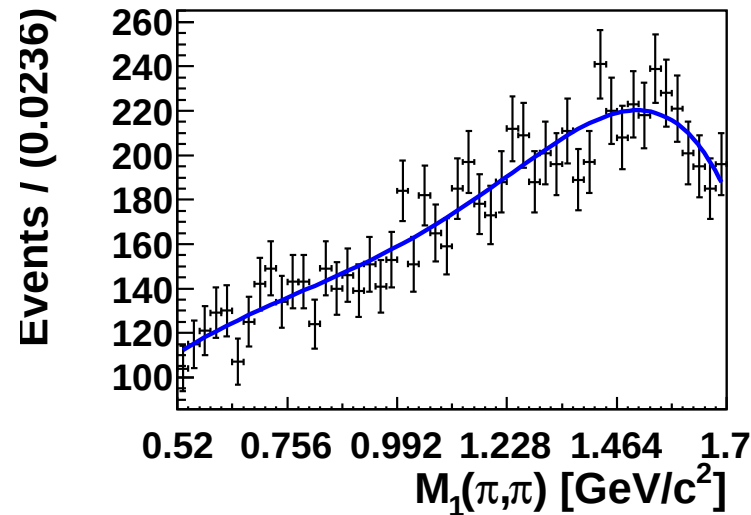
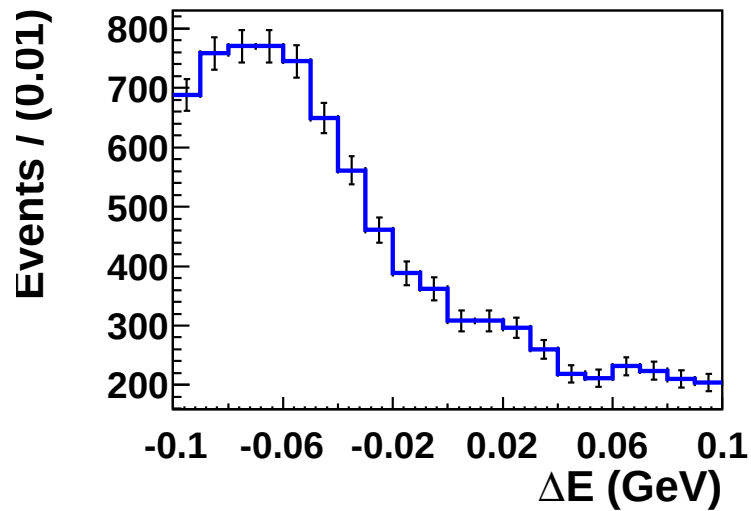
alle Massen in GeV/c^2 , ΔE in GeV

$D^\pm, D^{*\pm}$ D^0



$J\Psi, \Psi(2S)$ ΔE

generic MC: $B^0 \bar{B}^0$ ($b \rightarrow c$)



pdf's:

ΔE :

Histogramm

$M_{(\pi\pi)}$:

Chebyshev

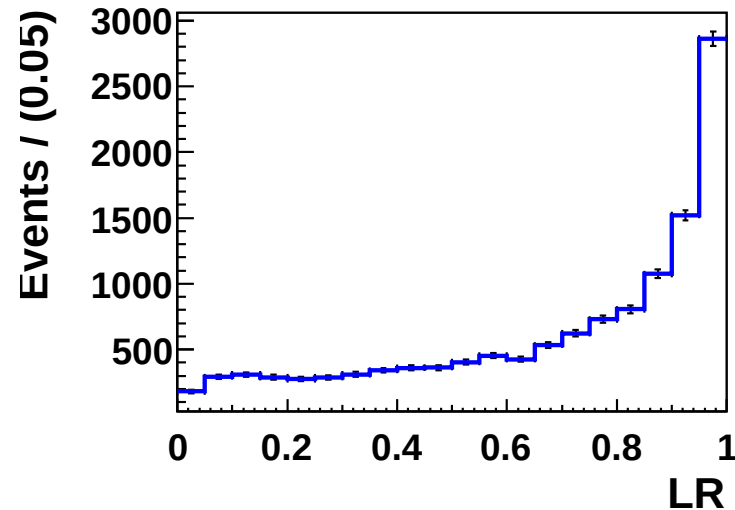
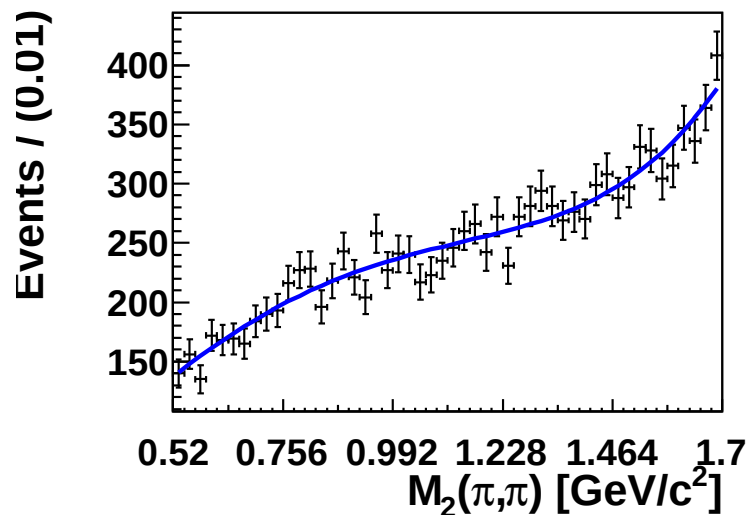
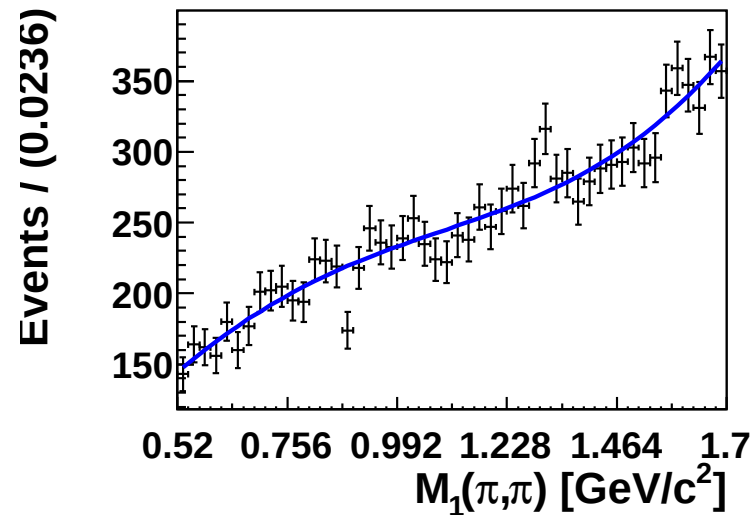
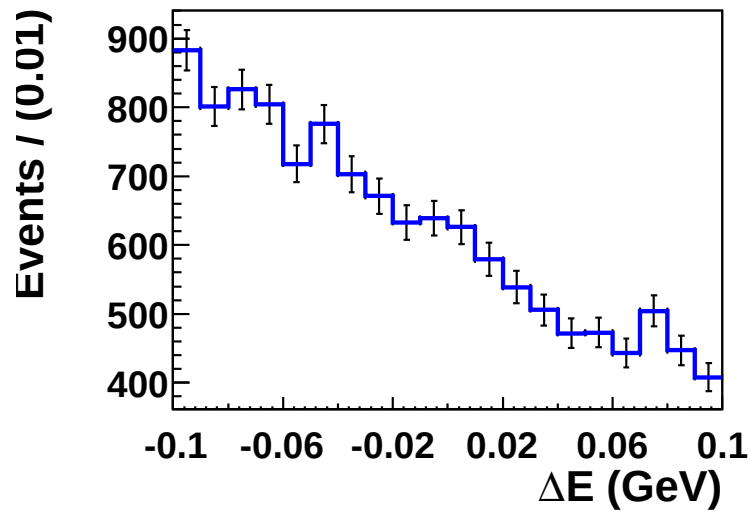
Polynom 5.

Ordnung

LR:

Histogramm

generic MC: $B^+ B^-$ ($b \rightarrow c$)



pdf's:

ΔE :

Histogramm

$M_{(\pi\pi)}$:

Chebyshev

Polynom 5.

Ordnung

LR:

Histogramm

Rekonstruktion

$$B^0 \rightarrow \rho^0 \rho^0$$

$$\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

- * geladenen Spuren mit

-Kaon ID < 0.4, Elektronen ID < 0.9, Protonen ID < 0.9

werden als π 's identifiziert und bekommen deren Masse ($139,57 \text{ MeV}/c^2$)

- * sollen vom Ursprung kommen

$$-|dr| < 0.1 \text{ cm und } |dz| < 2 \text{ cm}$$

- * kombiniere je zwei π 's(+,-) zu neutralem ρ^0

$$M(\pi\pi) \text{ MassenRegion: } 0.52 \text{ GeV}/c^2 < M(\pi\pi) < 1.7 \text{ GeV}/c^2$$

→ keine K_S^0 bzw D^0

- * kombiniere je zwei ρ^0 's zu einem B^0

$$M(\rho\rho) \text{ MassenRegion: } 4 \text{ GeV}/c^2 < M(\rho\rho) < 6 \text{ GeV}/c^2$$

⇒ Liste mit mehreren Kandidaten, welcher ist der Richtige?

Auswahl des besten Kandidaten

* Vertex Fit: 4 Spuren mit gleichem Ursprung ($\sim$ Wechselwirkungspunkt)

* Kriterium für den besten Kandidaten:

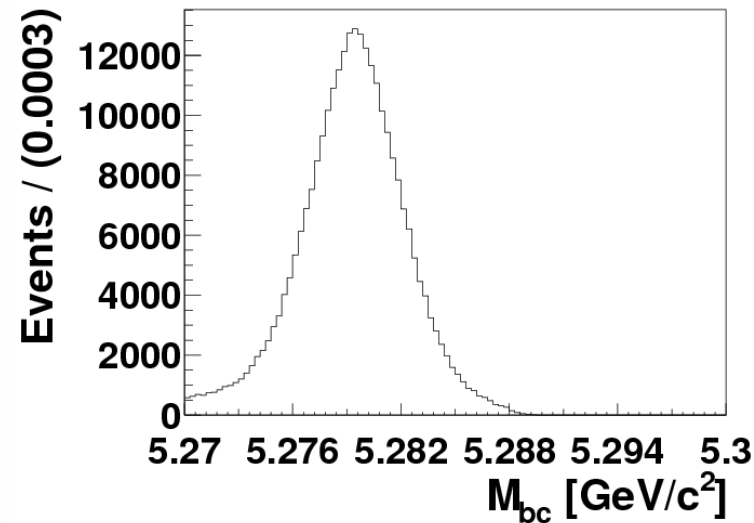
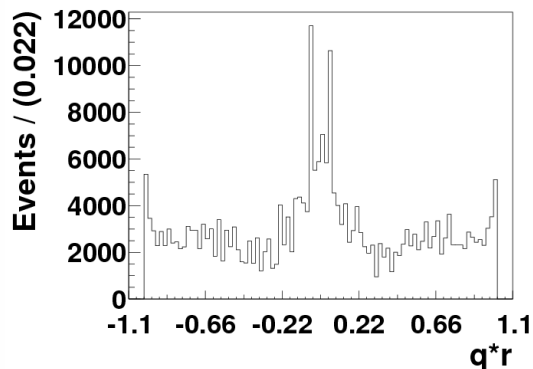
$$\text{kleinste } |M_{bc} - M_{B^0}|$$

$$M_{bc} = \sqrt{E_{Strahl}^2 - |\sum \vec{P}_{\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-}|^2}, \quad M_{B^0} = 5.2795 \text{ GeV}/c^2$$

* flavor Identifikation:

$$-1(\bar{B}) \leq q * r \leq +1(B)$$

kein B_{tag} $\Rightarrow$ ignoriere Event



M_{bc} : Signal MonteCarlo; beste B^0 Kandidaten

Kontinuum Identifikation

grosser Untergrund von $e^-e^+ \rightarrow q\bar{q}$ Events ($\sim 75\%$)

$B\bar{B}$ Events

Zerfallsachsen sphärisch,
unkorreliert verteilt

$q\bar{q}$ Events

Zerfallsachsen jetartig,
'back to back'

Verschiedene 'event shape' Variablen helfen Kontinuum von $B\bar{B}$ Events zu unterscheiden

Signal/Untergrund Likelihood Verteilung aus:

Super-Fox-Wolfram(SFW)Momente(FWMomente, thrust Winkel, Sphärizität) und Flugrichtung des $B's$

$$L = L(SWF) * L(\cos(\theta)) / (L(SWF) * L(\cos(\theta)) + (1 - L(SWF)) * (1 - L(\cos(\theta))))$$

Fit

4D unbinned Likelihood Fit mit Minuit2:

Fit Variable:

$$-\Delta E$$

$$-M_{(\pi\pi)}$$

$$-M_{(\pi\pi)}$$

$-LR_{S/B}$ (Signal/Untergrund Likelihood Verteilung)

$$\Delta E = E_B - E_{Strahl}$$

Fit Region:

$$M_{bc} > 5.27$$

$$-0.1 < \Delta E < 0.1$$

$$\Rightarrow PDF = \sum_i (\prod_j pdf_j)_i$$

$i = 1, 2 \dots 14$ (Komponenten), $j = 1, 2, 3, 4$ (FitVariablen)

Die Verschiedenen Komponenten des Fits:

- Signal Monte Carlo(MC)

- falsch rekonstruiertes Signal MC

- gewoehnliche MC

$(b \rightarrow c)$

- Kontinuum

- seltene B Zerfälle

$(b \rightarrow u, b \rightarrow d, b \rightarrow s)$

(ohne Zerfälle mit 4 π Endzustand)

andere Moden mit 4 π Endzustand

$(\rho^0 f_0, f_0 f_0, \rho^0 \pi\pi, f_0 \pi\pi, a_1 \pi, b_1 \pi, 4\pi's)$