

Suche nach dem Lepton-Flavor verletzenden Zerfall $J/\psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp$ bei LHCb

1.25 

Normierungskonstante

Kevin Sedlaczek

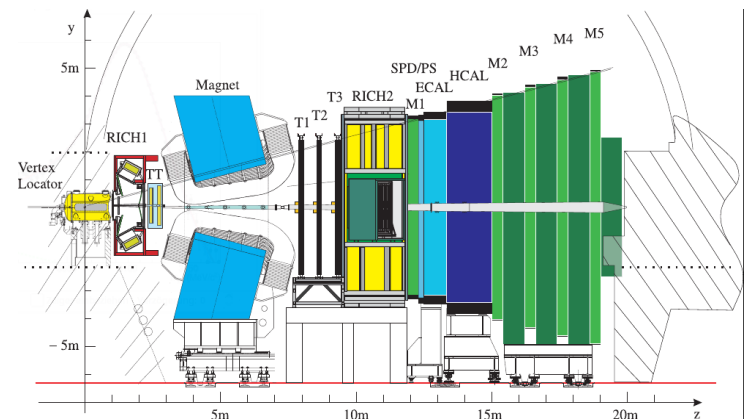
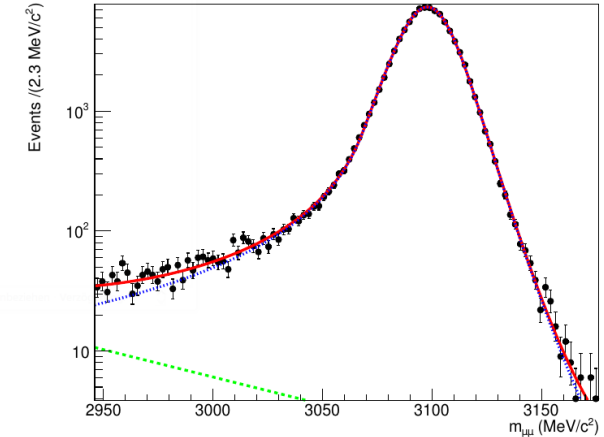
19. September 2016

Lehrstuhl für Experimentelle Physik 5a



Übersicht

- 1) Motivation der Analyse
- 2) Der LHCb Detektor
- 3) Analyse
- 4) Ergebnis
- 5) Ausblick



Übersicht

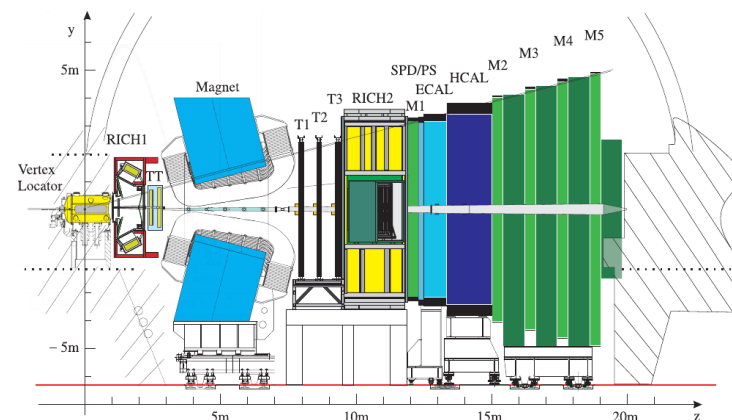
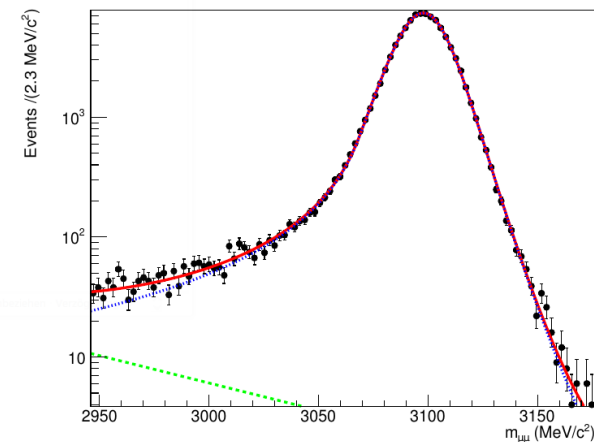
1) Motivation der Analyse

2) Der LHCb Detektor

3) Analyse

4) Ergebnis

5) Ausblick



Motivation

- Überprüfung des Standard Modells
- Theorie des Aufbaus der Materie
- Fundamentale Wechselwirkungen
- Erhaltungsgrößen
- Nicht vollständig:
 - Dunkle Materie
 - Neutrinooszillation
 - Materie-Antimaterie-Asymmetrie

[2,3]



Motivation

$$J/\psi \rightarrow e^{\pm} \mu^{\mp}$$

- Verbotener Zerfall: *lepton flavor violation*
- Suche nach *Erweiterungen* des Standardmodells
- BESIII Analyse: *The BESIII Collaboration. „Search for the lepton flavor violation process $J/\psi \rightarrow e\mu$ at BESIII“. In: Phys. Rev. D87 (2013). 112007. arXiv: 1304.3205.*
- Bisher keine Analyse mit Daten vom LHC

Ziel: Ermittlung einer oberen Grenze des Verzweigungsverhältnisses.

[2,3]

Übersicht

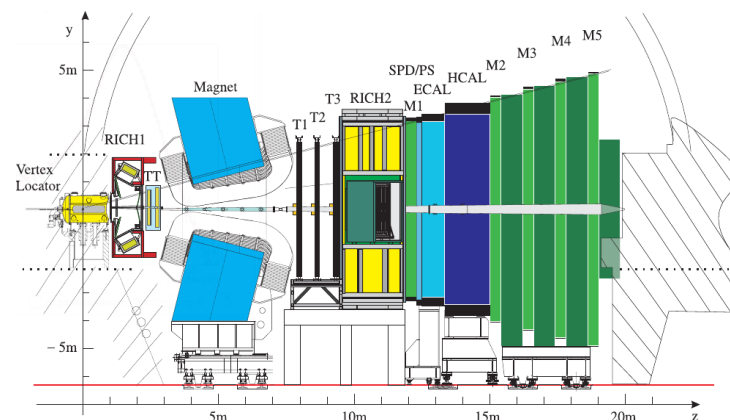
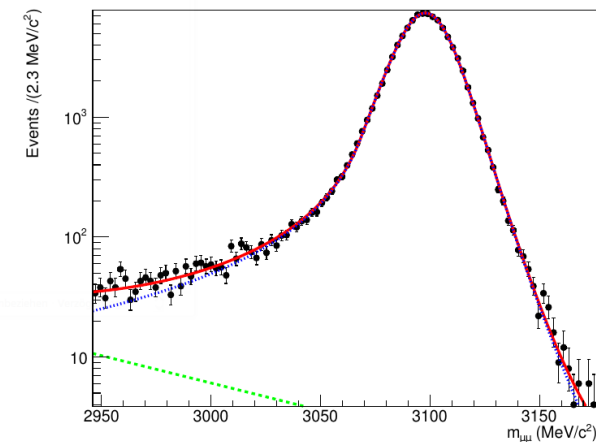
1) Motivation der Analyse

2) Der LHCb Detektor

3) Analyse

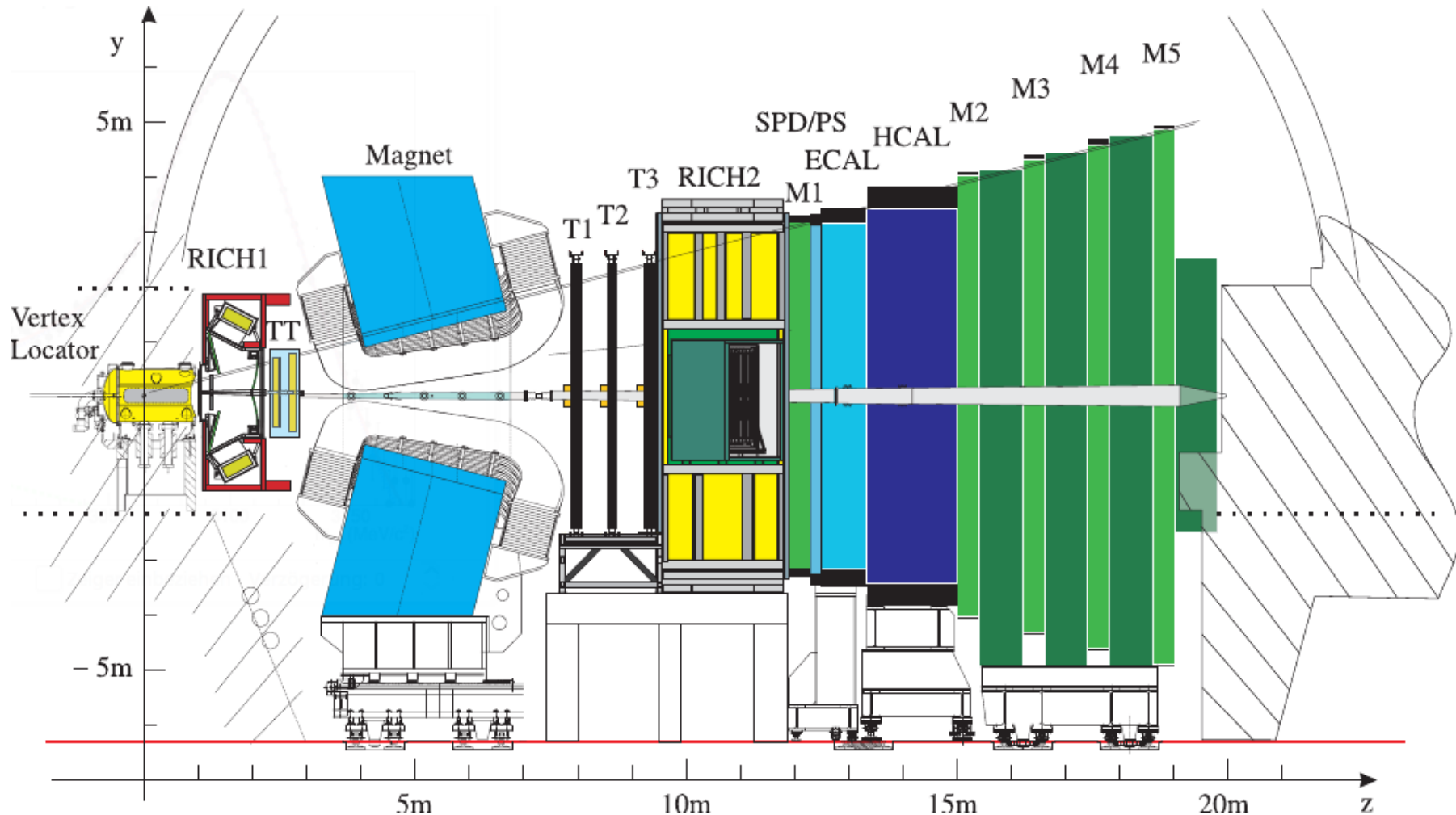
4) Ergebnis

5) Ausblick



Der LHCb Detektor

[1]



Übersicht

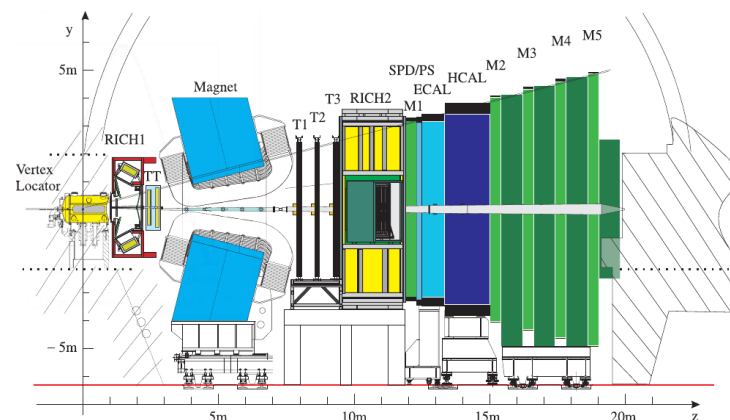
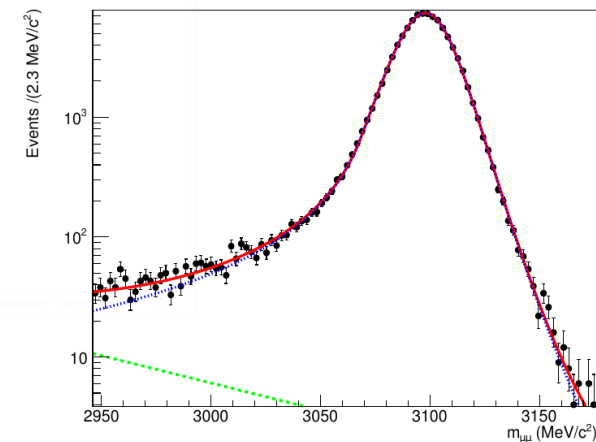
1) Motivation der Analyse

2) Der LHCb Detektor

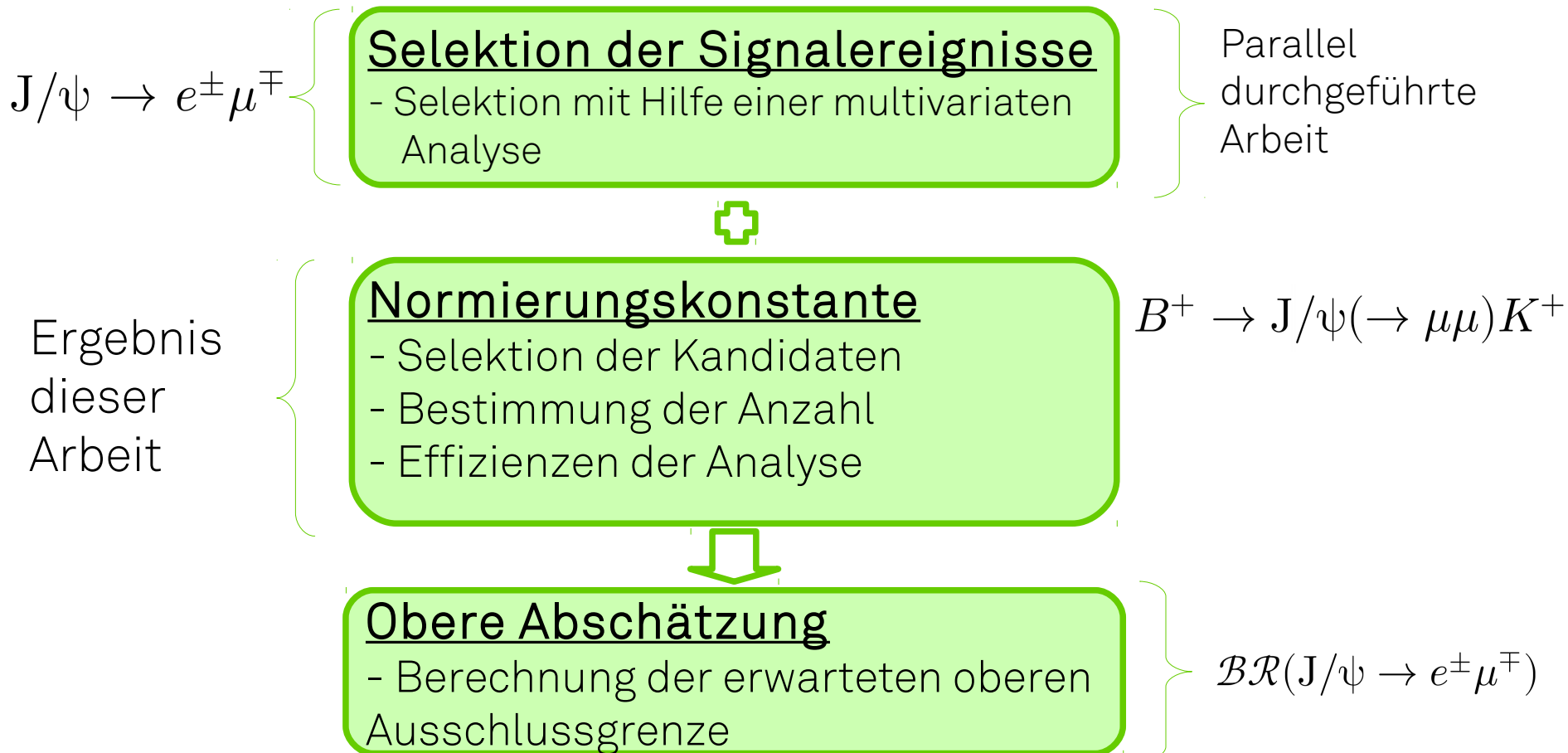
3) Analyse

4) Ergebnis

5) Ausblick



Analyseschritte $\mathcal{BR}(J/\psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp) < N_{J/\psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp, 95\%} \cdot \alpha$



Datensatz $B^+ \rightarrow J/\psi(\rightarrow \mu\mu)K^+$

- Daten aus dem Jahr **2012**
- Schwerpunktsenergie: $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$
- Integrierte Luminosität: **2 fb⁻¹**
- Einträge: **5 959 563** (data) / **2 210 052** (Monte Carlo)

Bu2LLK_mmLine

Selektionsvariable	Bedingung
m_B	$> 5129 < 5429$
$B^+ : \chi_{IP}^2$	< 25
$B^+ : \chi_{VD,PV}^2$	> 100
$B^+ : \text{DIRA}$	$> 0,9995$



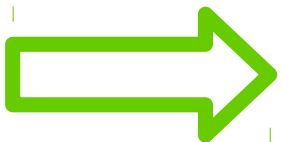
$$\epsilon_{\text{strip}} = (8,744 \pm 0,006) \%$$

Selektion nach [1]

- Cut Recursive **OP**timizer
- Selektion für $J/\psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp$

- (1) Massenfenster
- (2) Primärvertex
- (3) Fehlidentifikation
- (4) Signalereignis
- (5) Spurübereinstimmung

Selektionsvariable	Bedingung
$m_{\mu\mu}$	$> 2946 < 3176$
$\mu^- : \chi_{IP}^2$	> 36
$\mu^+ : \chi_{IP}^2$	> 36
$\mu^- : \text{GhostProb}$	$< 0,3$
$\mu^+ : \text{GhostProb}$	$< 0,3$
$J/\psi : \text{BKGCAT(Nur MC)}$	$== 0$
$J/\psi : \text{DIRA}$	> 0



$$\epsilon_{\text{Selektion}} = \frac{N_{\text{MC-events after selection}}}{N_{\text{MC-events after strip}}} = (82,09 \pm 0,03) \%$$

Trigger

- (1) L0-Trigger
- (2) HLT1-Trigger
- (3) HLT2-Trigger

L0-Trigger

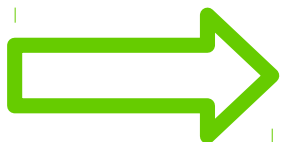
L0MuonDecision_TOS
L0HadronDecision_TOS
L0ElectronDecision_TOS

HLT1-Trigger

Hlt1TrackAllL0Decision_TOS
Hlt1TrackMuonDecision_TOS

HLT2-Trigger

Hlt2Topo2BodyBBDTDecision_TOS
Hlt2Topo3BodyBBDTDecision_TOS
Hlt2Topo4BodyBBDTDecision_TOS
Hlt2TopoMu2BodyBBDTDecision_TOS
Hlt2TopoMu3BodyBBDTDecision_TOS
Hlt2TopoMu4BodyBBDTDecision_TOS



$$\epsilon_{\text{Trigger}} = \frac{N_{\text{MC-events after trigger}}}{N_{\text{MC-events after selection}}} = (74,15 \pm 0,04) \%$$

Effizienzen

Generator ϵ_{gen}	$(16,099 \pm 0,021) \%$
Vorselektion ϵ_{strip}	$(8,744 \pm 0,006) \%$
Selektion $\epsilon_{\text{Selektion}}$	$(82,09 \pm 0,03) \%$
Trigger $\epsilon_{\text{Trigger}}$	$(74,15 \pm 0,04) \%$
Gesamt $\epsilon_{J/\psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp, \text{ges}}$	$(0,857 \pm 0,001) \%$

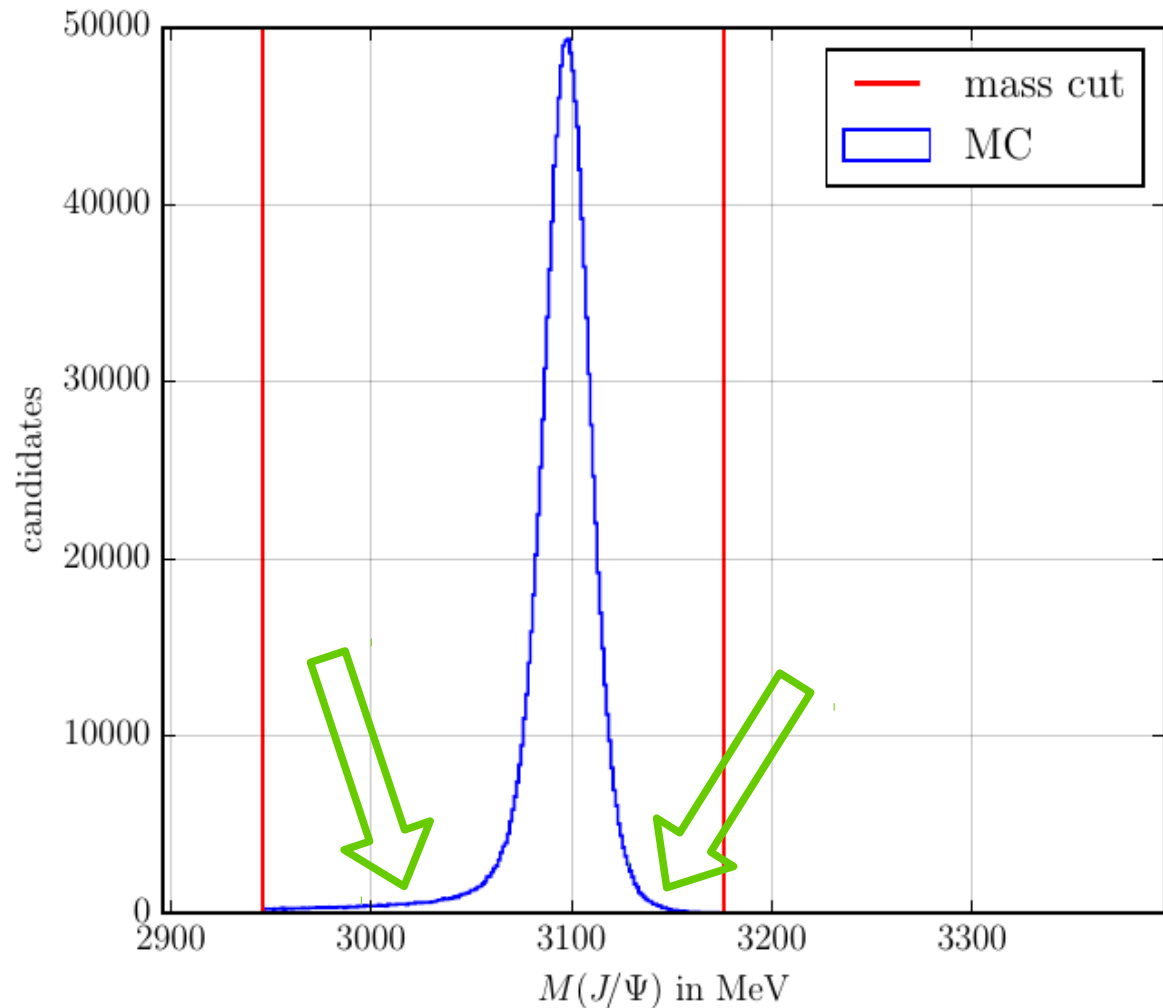
Massenfit

- Gesucht: Anzahl der Signalkandidaten $B^+ \rightarrow J/\psi(\rightarrow \mu\mu)K^+$
- *extended maximum-likelihood-fit* (RooFit)
- Massenbereich: $[m(J/\psi) - 150 \text{ MeV}, m(J/\psi) + 80 \text{ MeV}]$
- Skalierungsfaktor 13,4524 (\rightarrow 100 000 Ereignisse)
- Gesamtmodell aus Signalfunktion **S** und Untergrundfunktion **B**

$$G(m_{\mu\mu}) = S(m_{\mu\mu}) + B(m_{\mu\mu})$$

Massenfit

- Gaußverteilung
- Ausläufer
- → *Crystal Ball*



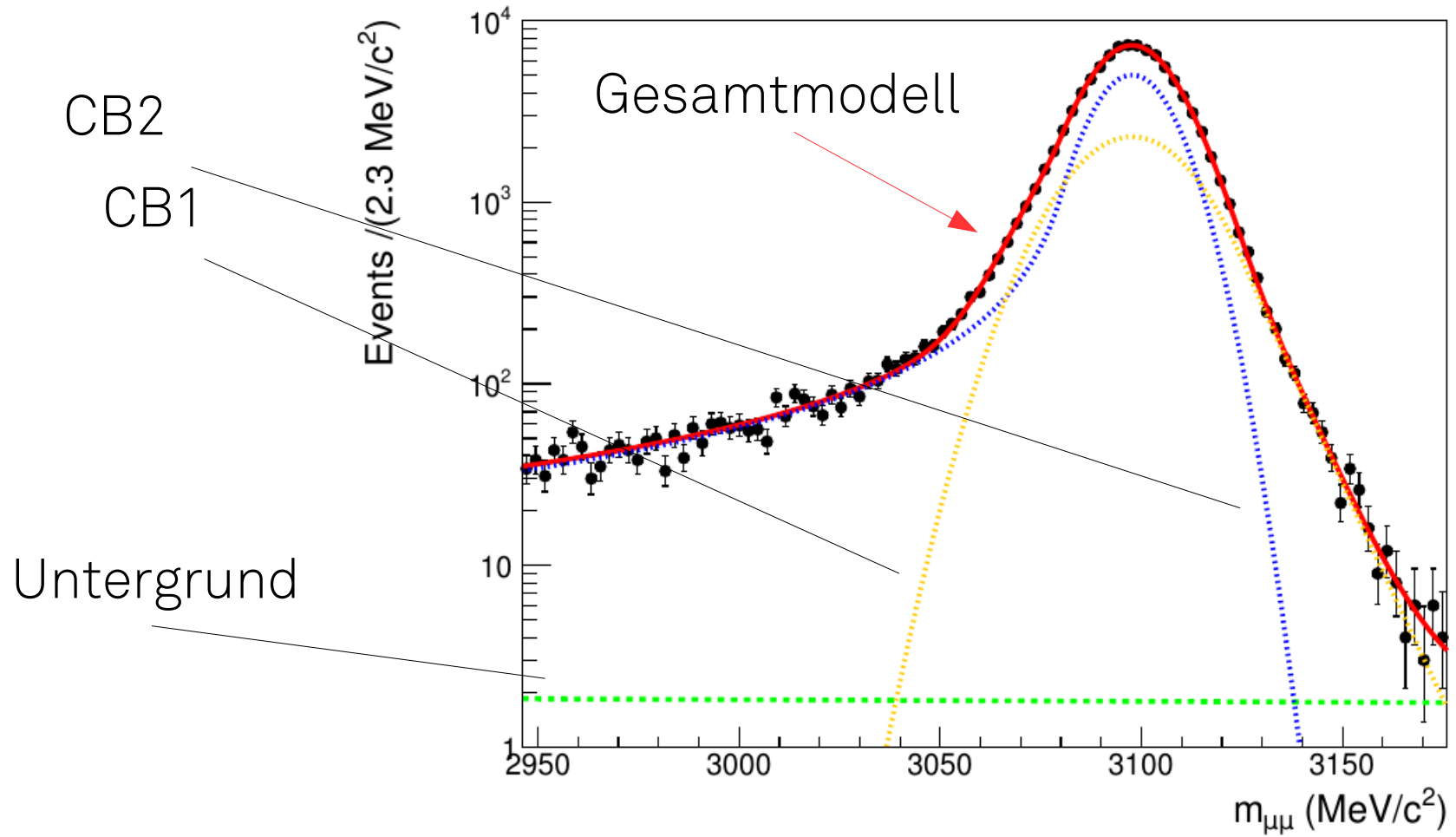
Massenfit

- Signalmodell: *Double Crystal Ball* Funktion
- Untergrundmodell: Exponentialfunktion
- Gesamtmodell: Zwei CB Funktionen + Exp. Untergrund

$$CB(x; \alpha, n, \mu, \sigma, N) = N \cdot \begin{cases} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), & \text{falls } \frac{x-\mu}{\sigma} > -\alpha \\ A \cdot \left(B - \frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-n}, & \text{falls } \frac{x-\mu}{\sigma} \leq -\alpha \end{cases}$$

$$B(x; c) = e^{c \cdot x}$$

$$G(m_{\mu\mu}; f) = CB_1(m_{\mu\mu}; \alpha_1, \mu, \sigma_1, n_1) + f CB_2(m_{\mu\mu}; \alpha_2, \mu, \sigma_2, n_2) \\ + B(m_{\mu\mu}; c)$$



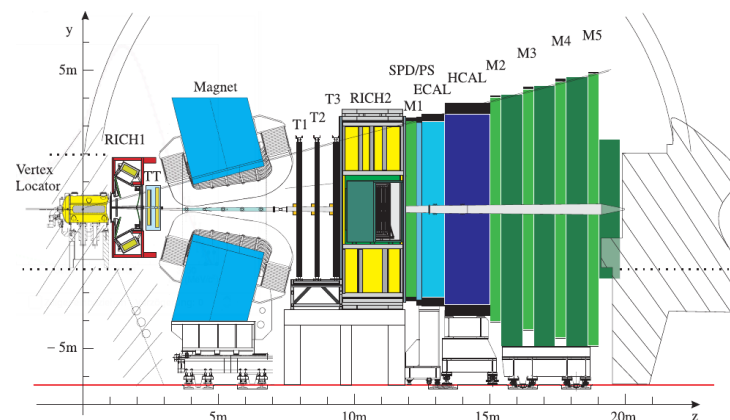
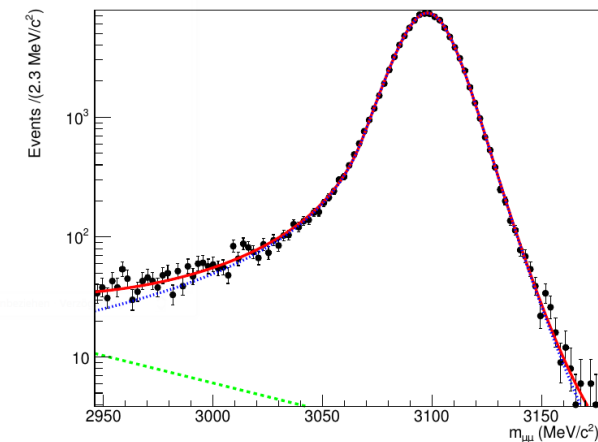
Ergebnisse des Massenfits

- Anzahl Signalereignisse: 99700 ± 334
- Skalierungsfaktor $\rightarrow 1341204 \pm 4493$ Signalereignisse

$$N_{J/\psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp} = 1\,341\,204 \pm 4493$$

Übersicht

- 1) Motivation der Analyse
- 2) Der LHCb Detektor
- 3) Analyse
- 4) Ergebnis
- 5) Ausblick



Berechnung der Normierungskonstante

$$\alpha = \frac{\mathcal{BR}(B^+ \rightarrow J/\psi K^+) \mathcal{BR}(J/\psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp) (\epsilon_{\text{ges}})_{J/\psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp}}{N_{J/\psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp} (\epsilon_{\text{ges}})_{J/\psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp}}$$

Gesamteffizienz aus parallel durchgeführter Analyse:

$$\epsilon_{J/\psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp, \text{tot}} = 1,2 \pm 0,4 \cdot 10^{-6}$$

Gesamteffizienz der Selektion dieser Analyse:

$$\epsilon_{J/\psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp, \text{ges}} = \epsilon_{\text{gen}} \cdot \epsilon_{\text{strip}} \cdot \epsilon_{\text{Selektion}} \cdot \epsilon_{\text{Trigger}} = (0,857 \pm 0,001) \%$$

Korrektur der bestimmten Signalereignisse

Gesucht ist die Anzahl aller J/ψ

1. Berechne die Anzahl der B^+ Mesonen

$$N_{B^+} = \frac{N_{J/\psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp}}{\mathcal{BR}(B^+ \rightarrow J/\psi K^+) \mathcal{BR}(J/\psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp)} \cdot \frac{1}{(\epsilon_{\text{ges}})_{J/\psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp}}$$

$$= (2,56 \pm 0,08) \cdot 10^{12}$$

2. Anzahl der B^- Mesonen entspricht dieser.

3. Wenn $f_u \approx f_d$, so entspricht dies auch der Anzahl der B^0

4. Unter gleicher Annahme Berechnung der B_s Mesonen

$$N_{B_s} \approx N_{B^+} \cdot \frac{f_s}{f_u} = N_{B^0} \cdot \frac{f_s}{f_d} = (6.8 \pm 0.6) \cdot 10^{11}$$

Korrektur der bestimmten Signalereignisse

Gesucht ist die Anzahl aller J/ψ :

$$N_{\text{korr}} = (2N_{B^+} + 2N_{B_s} + N_{B^0}) \cdot \mathcal{BR}(B \rightarrow J/\psi X) = (9,9 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$$

Ladungskonjugierte

Berechnung der Normierungskonstante

$$N_{\text{korr}} = (2N_{B^+} + 2N_{B_s} + N_{B^0}) \cdot \mathcal{BR}(B \rightarrow J/\psi X) = (9,9 \pm 0,4) \cdot 10^{10}$$

$$\alpha = \frac{1}{N_{\text{korr}} \cdot (\epsilon_{\text{ges}})_{J/\psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp}},$$
$$= (1,3 \pm 0,4) \cdot 10^{-5},$$

Berechnung der Normierungskonstante

$$\mathcal{BR}(J/\psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp) < N_{J/\psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp, 95\%} \cdot \alpha = (7 \pm 1) \cdot ((1,3 \pm 0.4) \cdot 10^{-5})$$

$$= (9,2 \pm 3,4) \cdot 10^{-5}$$

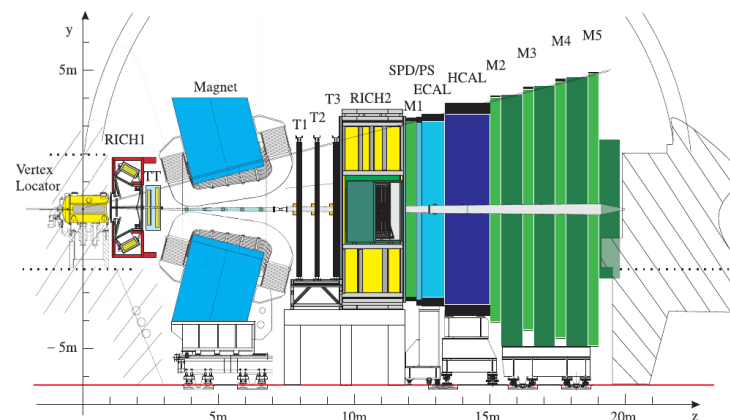
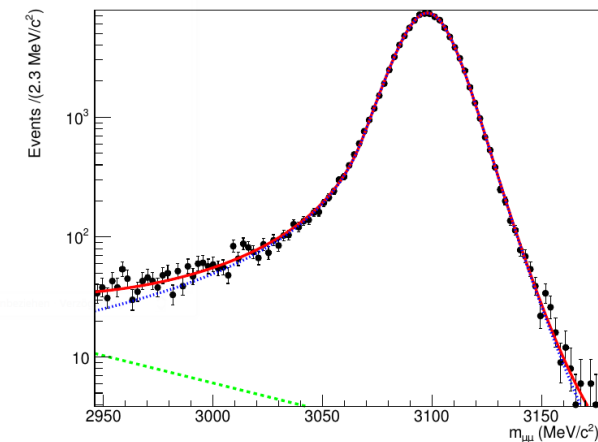
Ergebnis der parallel durchgeführten Analyse

In dieser Arbeit bestimmte Konstante

$$\mathcal{BR}(J/\psi \rightarrow e^\pm \mu^\mp) < (9,2 \pm 3,4) \cdot 10^{-5}$$

Übersicht

- 1) Motivation der Analyse
- 2) Der LHCb Detektor
- 3) Analyse
- 4) Ergebnis
- 5) Ausblick



Einordnung & Ausblick

In dieser Analyse bestimmte Abschätzung

$$\mathcal{BR}(J/\psi \rightarrow e^{\pm} \mu^{\mp}) < (9, 2 \pm 3, 4) \cdot 10^{-5}$$



$$\mathcal{B}(J/\psi \rightarrow e \mu) < 1.6 \times 10^{-7}$$

The BESIII Collaboration. „Search for the lepton flavor violation process $J/\psi \rightarrow e \mu$ at BESIII“. In: Phys. Rev. D87 (2013). 112007. arXiv: 1304.3205.

Einordnung & Ausblick

- Kontrollkanal eignet sich zur Bestimmung von α
- Analyse mit Daten des LHCb möglich

Verbesserungen

- Angepasster Datensatz $J/\psi \rightarrow \mu^\pm \mu^\mp$
 - Optimierung der Selektion
 - Modellation der Massenverteilung
 - Größerer Datensatz
- } Genauere Bestimmung der
Anzahl Signalkandidaten

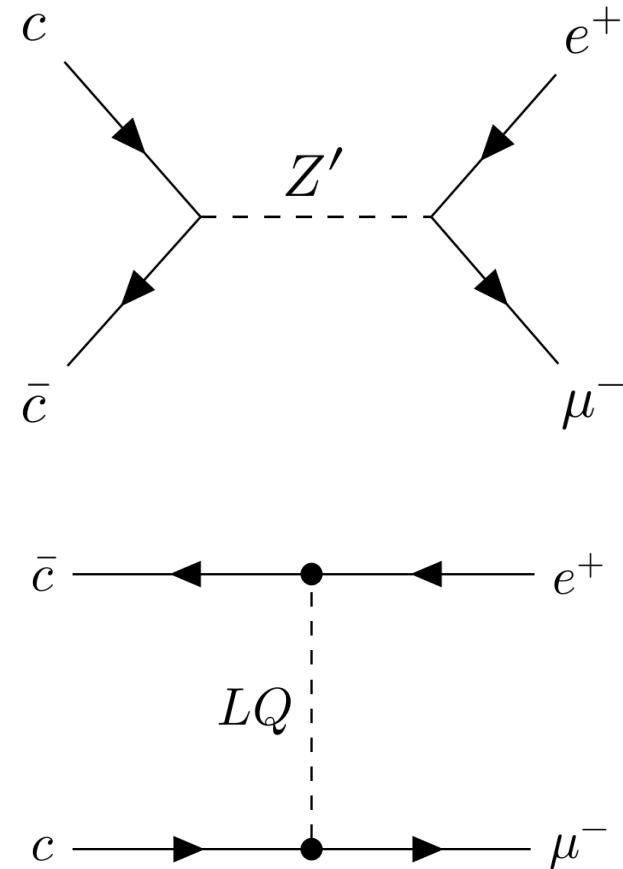
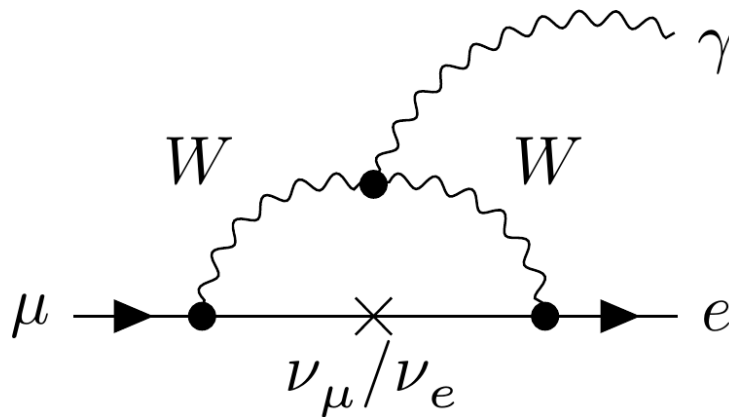
Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Literaturverzeichnis

- [1] R. Antunes-Nobrega et al. „LHCb reoptimized detector design and performance: Technical Design Report“. In: CERN-LHCC-2003-030 ; LHCb-TDR-9. Technical Design Report LHCb (2003). url: <https://cds.cern.ch/record/630827>.
- [2] D. Griffiths. Introduction to Elementary Particles. 8. Auflage. Wiley-VCH, 2010.
- [3] F. Halzen und A.D. Martin. Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics. Wiley-VCH, 1984.

Backup

Lepton Flavor Violation



Fit-Ergebnisse

[...]

Ipatia Funktion

- G = 1. Fall
- K = Bessel-Funktion

$$A_{\lambda}^2 = \frac{\zeta K_{\lambda}(\zeta)}{K_{\lambda+1}(\zeta)}$$

$$I(m, \mu, \sigma, \lambda, \zeta, \beta, a, n) \propto$$

$$\begin{cases} ((m - \mu)^2 + A_{\lambda}^2(\zeta)\sigma^2)^{\frac{1}{2}\lambda - \frac{1}{4}} e^{\beta(m - \mu)} \cdot K_{\lambda - \frac{1}{2}} \left(\zeta \sqrt{1 + \left(\frac{m - \mu}{A_{\lambda}(\zeta)\sigma} \right)^2} \right), & \text{wenn } \frac{m - \mu}{\sigma} > -a \\ \frac{G(\mu - a\sigma, \mu, \sigma, \lambda, \zeta, \beta)}{\left(1 - m \left(n \frac{G(\mu - a\sigma, \mu, \sigma, \lambda, \zeta, \beta)}{G'(\mu - a\sigma, \mu, \sigma, \lambda, \zeta, \beta)} - a\sigma \right) \right)^n}, & \text{sonst} \end{cases}$$

