

**Fakultät für Physik und Astronomie  
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**

Bachelorarbeit in Physik  
eingereicht von

**Patrick Fahner**

geboren in Mannheim (Deutschland)

**August 2013**

# Messung von $\sin(2\beta)$ im Zerfall

$$B_d^0 \rightarrow J/\Psi K_s^0$$

Verwendung von „Downstream“-Spuren der LHCb Daten  
aus 2012

Diese Bachelorarbeit wurde von Patrick Fahner am  
Physikalischen Institut der Universität Heidelberg  
unter der Aufsicht von  
Prof. Dr. Stephanie Hansmann-Menzemer  
durchgeführt.

**Kurzfassung:**

**About:**



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Das LHCb-Experiment</b>	<b>9</b>
2.1	Aufgaben und Ziele des Experimentes . . . . .	9
2.2	Der LHCb-Detektor . . . . .	9
2.2.1	Spurdetektoren . . . . .	10
2.2.2	Detektoren zur Teilchenidentifikation . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>15</b>



# **1 Einleitung**





## 2 Das LHCb-Experiment

Der Large Hadron Collider (LHC) am Kernforschungszentrum CERN in Genf ist der derzeit größte Ringbeschleuniger der Erde. Er hat einen Durchmesser von ca. 27km. Im Ring werden zwei geladene Teilchenstrahlen in gegenläufiger Richtung auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und anschließend an vier möglichen Punkten zur Kollision gebracht. Bei den Teilchenstrahlen handelt es sich hauptsächlich um Protonenstrahlen, es werden aber auch Proton-Blei- und Blei-Blei-Kollisionen untersucht. An den vier Kollisionspunkten sind die großen Experimente positioniert: ATLAS, CMS, ALICE und LHCb. Eine der Hauptaufgaben der Experimente ATLAS und CMS ist die Suche nach dem Higgs-Boson, ALICE hingegen untersucht das Quark-Gluon-Plasma. Im folgenden soll nun aber detailliert auf das LHCb-Experiment eingegangen werden. [1]

### 2.1 Aufgaben und Ziele des Experimentes

Während des Urknalls sind Materie und Antimaterie in gleicher Zahl entstanden. Triffen ein Teilchen und ein Antiteilchen aufeinander, so werden diese vernichtet und es wird Energie frei. Doch wenn zunächst gleich viel Materie und Antimaterie vorhanden war, verwundert es, warum das Universum nur aus Materie besteht und überhaupt noch existiert.

Das Standardmodell der Teilchenphysik kann dieses Ungleichgewicht nur unzureichend erklären. Es beschreibt zwar die  $\mathcal{CP}$ -Verletzung der schwachen Wechselwirkung, die auch Bestandteil dieser Arbeit ist, und liefert damit einen potentiellen Kandidaten zur Erklärung, allerdings jene zu schwach. Es muss also auch  $\mathcal{CP}$ -verletzende Beiträge jenseits des Standardmodells geben. Genau dieser Frage hat sich LHCb (Large Hadron Collider beauty) verschrieben. Es untersucht Teilchen und Zerfälle, die von einem  $b$ - bzw.  $\bar{b}$ -Quark (außerdem auch  $c/\bar{c}$ -Quarks) ausgehen. Aus diesen bilden sich B-(D-)Mesonen, die sehr sensitiv auf Hinweise für „neue Physik“ sind. In diversen Zerfalls- und Mischprozessen enthalten die dazugehörigen Feynmangraphen Schleifen, in denen es möglich ist, dass neben dem Standardmodell auch „neue Physik“ Beiträge zu Zerfallsamplituden etc. liefert. Man versucht also indirekt Hinweise auf neue Teilchen und Prozesse zu finden. Um dies erfolgreich zu gestalten, ist eine präzise Messung des Standardmodells unabdingbar. [2]

### 2.2 Der LHCb-Detektor

Im Gegensatz zu den anderen Experimenten ist der LHCb-Detektor ein einarmiger Vorwärtsspektrometer. Dies liegt daran, dass  $b\bar{b}$ -Paare hauptsächlich in oder entgegen

## 2 Das LHCb-Experiment

der Protonenstrahlrichtung produziert werden. Aus Kostengründen hat man darauf verzichtet, den Detektor in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung zu bauen. Stattdessen lag der Fokus darauf, nur einen Detektor, aber mit entsprechend besserer Präzision und Auflösung zu bauen. Abbildung 2.1 zeigt einen Schnitt durch die (y,z)-Ebene des Detektors. Der Detektor deckt in x-Richtung einen Bereich von  $10-300\text{mrad}$  und in y-Richtung von  $10-250\text{mrad}$  ab. Die Subdetektoren lassen sich nach ihrem Zweck in zwei Unterkategorien einteilen: Detektoren zur Spurrekonstruktion und zur Teilchenidentifikation.

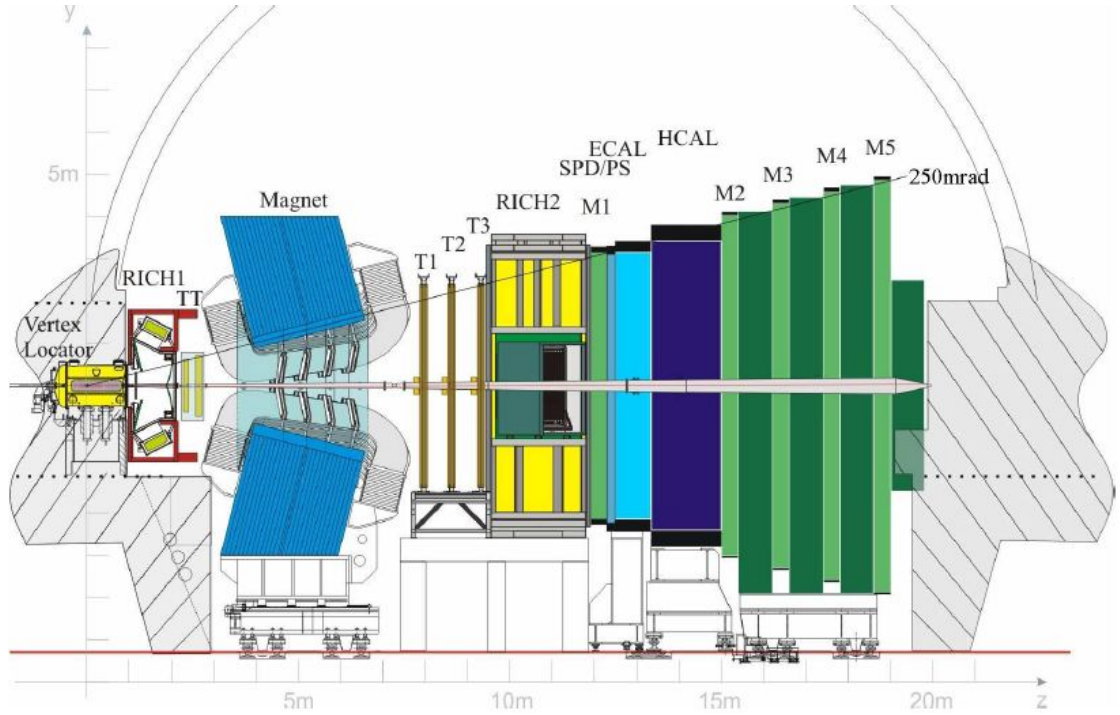


Abbildung 2.1: Schnitt durch die (y,z)-Ebene des LHCb-Detektors. Die Abbildung wurde [3] entnommen.

### 2.2.1 Spurdetektoren

Hauptaufgabe der Spurdetektoren ist die Impulsbestimmung geladener Teilchen. Dazu werden diese durch das Feld eines Dipolmagneten abgelenkt. Die Trajektorien werden mit den Stationen VELO, TT und T1-T3 gemessen, die im Folgenden detaillierter beschrieben werden. Die Ablenkung des Teilchens von seiner ursprünglichen Trajektorie gibt Aufschluss über den Impuls. Das Magnetfeld ist weitestgehend homogen mit einer dominierenden y-Komponente, sodass die Ablenkung hauptsächlich in der (x,z)-Ebene vonstattengeht. Über die Länge  $l = 10\text{m}$  integriert beträgt die Feldstärke  $\int B dl = 4\text{Tm}$ . Um ladungsabhängige Detektorasymmetrien zu messen, kann die Orientierung des Magnetfeldes umgekehrt werden. [4]

### Vertex Locator (VELO)

Aufgabe des Vertex Locator (VELO) ist die Detektion des Primärvertex (Entstehung eines Teilchens) sowie des Sekundärvertex (erste Interaktion des Teilchens, meist Zerfall). Er ist sehr nah am Kollisionspunkt aus Silikonstreifen aufgebaut und besteht aus 21 Stationen. Um Schäden zu vermeiden, besteht der VELO aus zwei Hälften, die erst zusammengeführt werden, sobald der Teilchenstrahl im Experiment stabil ist.

### Tracker Turicensis (TT)

Der Tracker Turicensis (TT) besteht aus zwei Stationen, die sich hinter dem Magneten befinden und eine Detektionsfläche von etwa  $8,4\text{m}^2$  bieten. Sie sind wie der VELO aus Silikonstreifen aufgebaut und ermöglichen eine dreidimensionale Spurrekonstruktion, wobei die TT-Stationen so aufgebaut sind, dass die Präzision in der horizontalen Ablenkungsebene (x,z) des Magneten am besten ist. Die Auflösung eines einzelnen Teilchentreffers beträgt etwa  $50\mu\text{m}$ .

### Inner Tracker (IT)

Im Zentrum der drei Stationen T1-T3 nach dem Dipolmagneten ist der sogenannte Inner Tracker platziert. Er ist 120cm breit und 40cm hoch, ebenfalls ein Silikonstreifendetektor und besteht aus vier Schichten, die ähnlich wie die TT Stationen aufgebaut sind. Er deckt eine Fläche von etwa  $4\text{m}^2$  ab und erzielt ebenfalls eine Trefferauflösung von  $50\mu\text{m}$ .

### Outer Tracker (OT)

Der Outer Tracker bildet den äußeren Teil der Stationen T1-T3, der nicht vom IT abgedeckt wird. Er besteht ebenfalls aus 4 Schichten und ist aus Driftröhrchen aufgebaut, die mit einem Gasgemisch aus Argon (70%),  $\text{CO}_2$  (28,5%) und  $\text{O}_2$  (1,5%) gefüllt sind. Im Innern der Röhrchen verläuft ein mit Gold beschichteter Anodendraht aus Wolfram. Die räumliche Auflösung eines einzelnen Röhrchens liegt bei  $200\mu\text{m}$ .

### Klassifizierung von Spuren

Je nachdem, welche Detektoren getroffen wurden, teilt man die Spuren in vier unterschiedliche Kategorien ein:

- **VELO Spuren** enthalten Treffer ausschließlich im VELO und dienen hauptsächlich der Rekonstruktion des Primärvertex.
- Hinterlassen die Teilchen Treffer im VELO und den TT-Stationen, spricht man von **Upstream Spuren**. Hierbei handelt es sich dann um Teilchen mit kleinem Impuls, da der Magnet die Teilchen so stark ablenkt, dass jene den Akzeptanzbereich des Detektors verlassen und die anschließenden Detektoren nicht mehr passieren.
- Bei **Downstream Spuren** gibt es nur Treffer in den Stationen TT und T1-T3. Diese treten vor allem bei langlebigen Teilchen wie dem  $K_s^0$  auf, die den VELO vor

ihrem Zerfall verlassen. In dieser Arbeit werden ausschließlich Downstream Spuren verwendet (siehe dazu auch Kapitel ??)

- Gibt es Treffer in allen Stationen (VELO, TT, T1-T3), so spricht man von **Long Spuren**. Da es hier die meisten Treffer gibt, haben diese Spuren die präziseste Impulsauflösung. [4]

### 2.2.2 Detektoren zur Teilchenidentifikation

Neben der Rekonstruktion der Spuren ist es natürlich essentiell, auch die Teilchen zu identifizieren. Hierzu werden die Informationen der Detektoren RICH1/2, SPD, PS HCAL, ECAL sowie M1-M5 für eine Teilchenhypothese verwendet.

#### Die Ring Imaging Cherenkov Detektoren (RICH)

Die beiden RICH Detektoren nutzen die Cherenkov-Strahlung, um Teilchen voneinander zu unterscheiden, insbesondere  $\pi^\pm$  und  $K^\pm$ . Ähnlich dem Machschen Kegel bei Schall emittieren geladene Teilchen Photonen in Kegelform, wenn sie ein Medium mit einer Geschwindigkeit  $v$  passieren, die größer ist als die Lichtgeschwindigkeit  $c' = c/n$  in diesem Medium ( $n$  : Brechungsindex des Mediums). Für den Öffnungswinkel  $\theta_C$  des Lichtkegels gilt dann:

$$\cos \theta_C = \frac{c}{vn}. \quad (2.1)$$

Durch Messung des Öffnungswinkels und der Impulsinformation aus den Spurdetektoren lässt sich die Teilchenmasse bestimmen. RICH1 ist dabei für kleine Impulse im Bereich von 1GeV bis 60GeV zuständig und deckt den kompletten Akzeptanzbereich des Detektors ab, RICH2 arbeitet dagegen bei Impulsen von 15GeV bis 100GeV und deckt einen Winkelbereich von ca. 15mrad bis 120mrad in horizontaler und 100mrad in vertikaler Ebene ab.

#### Kalorimetersystem

Das Kalorimetersystem dient zur Identifikation von Elektronen, Photonen sowie Hadronen und soll deren Energie und Position bestimmen. Durch Wechselwirkung mit dem Kalorimetermaterial erzeugen jene einen kaskadenartigen Zerfall. Bei den Subdetektoren des Systems handelt es sich um Szintillationsdetektoren. Diese sind im Einzelnen:

- Der **Scintillating Pad Detector (SPD)** kann nur geladene Teilchen detektieren und dient damit der Unterscheidung von Photon und Elektron.
- Auf den SPD und eine 12mm dicke Bleiplatte folgt der **Preshower Detector (PS)**. Die Platte löst Kaskaden von Photonen und Elektronen aus. Hadronische Kaskaden beginnen erst später und können damit unterschieden werden.
- Das **elektromagnetische Kalorimeter (ECAL)** besteht im Wechsel aus Blei- und Szintillationsplatten und detektiert Photonen- und Elektronenschauer.

- Beim **hadronischen Kalorimeter (HCAL)** wechseln sich Eisen- und Szintillationsplatten ab. Er ist sensitiv für hadronische Kaskaden.

### Myonkammern

Der LHCb-Detektor besitzt insgesamt 5 Myonenkammern (M1-M5). Zur Verbesserung der Impulsmessung im Trigger ist M1 vor den Kalorimetern angebracht, die restlichen am Ende des Detektors. Zwischen M2-M5 befinden sich 80cm dicke Eisenplatten zur Absorption hadronischer Teilchen. Ab einem Impuls von etwa  $6\text{GeV}/c$  können die Myonen alle 5 Stationen passieren. [4]

### 2.2.3 Trigger

Der LHCb-Detektor besitzt ein dreistufiges Triggersystem, um die Ereignisrate von 40MHz auf  $2 - 3\text{kHz}$  zu reduzieren. Die hierin enthaltenen Informationen werden dann zur weiteren Bearbeitung gespeichert. Die drei Stufen bestehen aus dem Hardwaretrigger **L0**, der die Ereignisrate auf 1MHz senkt, sowie den beiden software-basierten „High Level Trigger“ **HLT1**(50kHz) und **HLT2**( $2 - 3\text{kHz}$ ).



## 3 Datenselektion

### 3.1 Bereitgestellter Datensatz

### 3.2 Schnitte

Um Signal besser vom Untergrund zu trennen, werden in mehreren Schritten diverse Schnitte angewandt.

#### 3.2.1 Trigger

Den erste Schritt bildet das Trigger-System, das schon während der Datennahme die Ereignisse sondiert. Der LHCb-Detektor verwendet dabei ein dreistufiges System: Der hardwarebasierte „L0 Trigger“ reduziert die Ereignisrate von 40MHz auf 1MHz. Im Anschluss folgt der zweiteilige, softwarebasierte „High Level Trigger“ (HLT), der die Ereignisrate schlussendlich auf 2kHz reduziert.[13]

Die in dieser Analyse verwendeten Trigger-Entscheidungen entsprechen denen der 2011 Analyse [5] und wurden wie folgt gewählt:

#### L0 Trigger

Hier wird keine spezielle Entscheidung benötigt.

#### High Level Trigger 1 (HLT1)

Hier wird die `HltDiMuonHighMassDecision` gewählt. Diese greift - wie der Name schon suggeriert - lediglich auf die Spuren der Myonen zurück, sodass nur das vom  $B_d^0$  ausgesandte  $J/\Psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$  für den Trigger verantwortlich ist. Es werden hierbei Schnitte auf die Qualität des  $J\Psi$ -Vertex, die Myonen-Spuren, sowie die Masse und den (Transversal)Impuls des  $J\Psi$  angewandt. Die `HltDiMuonHighMassDecision` erzeugt kein Bias auf die Lebensdauer des  $B_d^0$ -Mesons.

#### High Level Trigger 2 (HLT2)

In dieser Analyse werden zwei unterschiedliche Entscheidungen verwendet. Zur Bestimmung der Detektorauflösung wird die `Hlt2DiMuonJPsiDecision` verwendet, die ähnliche Variablen wie beim HLT1 verwendet und somit auch kein Bias erzeugt. Für die reguläre Analyse wird jedoch die `Hlt2DiMuonDetachedJPsiDecision` verwendet, die zusätzlich die Signifikanz der Zerfallszeit eines  $J/\Psi$  berücksichtigt. Dadurch kommt es jedoch zu

einem Bias der Lebensdauer. Der Vorteil dieser Triggerwahl liegt jedoch darin, dass mehr Statistik zur Verfügung steht.

### 3.2.2 Downstream Spuren

?? Für die Rekonstruktion der  $J/\Psi$  werden ausschließlich sog. „Long“-Spuren verwendet. Diese passieren das gesamte Rekonstruktionssystem. Durch die relativ lange Lebensdauer des  $K_s^0$  kommt es in etwa 2/3 der Fälle vor, dass der VeLo dieses nicht mehr registriert. Hinterlassen Teilchen nur in den TT und T Stationen Spuren, so spricht man von „Downstream“-Spuren. Diese Analyse beschränkt sich auf ebenjene. Damit hat man im Vergleich zu  $K_s^0$  aus Long-Spuren mehr Statistik zur Verfügung, muss aber bei Qualität der Rekonstruktion Einbußen hinnehmen, da die Informationen des VeLo fehlen. Insbesondere leidet die Präzision der Impuls- und Positionsmessungen. Folglich dürfen die Schnitte bei Downstream-Spuren teilweise nicht so hart sein wie bei Long-Spuren. [?]

### 3.2.3 Stripping

!!! Achtung !!! Anpassen !!! Welches Stripping wurde verwendet???

Die Schnitte, die hierbei angewandt wurden, sind in Tabelle ?? aufgeführt.

Tabelle 3.1: Im Stripping verwendete Schnitte zur Selektion von  $B_d^0$ ,  $J/\Psi$  und  $K_s^0$

Zerfall	Variable	Wert
$B_d^0 \rightarrow J/\Psi K_s^0$	$M(B_d^0)$	$\in [5150, 5550]\text{MeV}/c^2$
	$\frac{\chi_{vtx}^2}{\text{nDof}}(B_d^0)$	$< 10$
$J/\Psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$	$\frac{\chi_{track}^2}{\text{nDof}}(\mu^\pm)$	$< 3$
	$\Delta \ln \mathcal{L}_{\mu\pi}$	$> 0$
	$p_T(\mu^\pm)$	$> 500\text{MeV}/c$
	$\frac{\chi_{vtx}^2}{\text{nDof}}(J/\Psi)$	$< 16$
	$ M(\mu^+ \mu^-) - M(J/\Psi) $	$< 80\text{MeV}/c^2$
$K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$p(\pi^\pm)$	$> 2000\text{MeV}/c$
	$\frac{\chi_{vtx}^2}{\text{nDof}}(K_s^0)$	$< 20$
	$\frac{\chi_{track}^2}{\text{nDof}}(\pi^\pm)$	$< 3$
	$ M(\pi^+ \pi^-) - M(K_s^0) $	$< 64\text{MeV}/c^2$
	$\frac{\chi_{IP}^2}{\text{nDof}}(\pi^\pm)$	$> 4$

Hierbei bezeichnen  $M$  die rekonstruierte Masse,  $p$  den Impuls sowie  $p_T$  den Transversalimpuls eines Teilchens. Zur Rekonstruktion werden Spuren an die Detektortreffer gefittet. Um eine Aussage über die Güte des Fits zu erhalten, betrachtet man hier das entsprechende auf die Zahl der Freiheitsgrade (nDof) normierte  $\chi_{track}^2$ . Analog gilt dies für die Rekonstruktion der Vertices ( $\chi_{track}^2$ ). Je näher das reduzierte  $\chi^2$  der 1 kommt,



desto besser ist der Fit. !!! Impact Parameter !!!  $\Delta \ln \mathcal{L}_{\mu\pi}$  ist ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, ein Myon als Pion zu interpretieren.

### 3.2.4 Zusätzliche Schnitte

Um den Datensatz noch besser vom Untergrund zu bereinigen, werden einige Schnitte aus den Stripping verschärft und weitere eingeführt (siehe Tab. ??). Diese wurden aus [5] übernommen.

Tabelle 3.2: Zusätzlich eingeführte Schnitte zur Untergrundbereinigung bzw. Selektion von  $B_d^0$ ,  $J/\Psi$  und  $K_s^0$

Zerfall	Variable	Wert
$B_d^0 \rightarrow J/\Psi K_s^0$	$M(B_d^0)$	$\in [5170, 5420] \text{ MeV}/c^2$
	$\tau(B_d^0)$	$> 0, 3 \text{ ps}$
	$\sigma_\tau(B_d^0)$	$< 0, 2 \text{ ps}$
	$\frac{\chi_{DTF(B+PV)}^2}{\text{nDof}}(B_d^0)$	$< 5$
	$\frac{\chi_{IP}^2}{\text{nDof}}(B_d^0)$	$< 20$
	$\frac{\chi_{IP}^2}{\text{nDof}}(B_d^0)$ des nächstbesten PV	$> 50$
$J/\Psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$	$\frac{\chi_{vtx}}{\text{nDof}}(J/\Psi)$	$< 11$
	$ M(\mu^+ \mu^-) - M(J/\Psi) $	$\in [3030, 3165] \text{ MeV}/c^2$
$K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$\frac{\tau}{\sigma_\tau}(K_s^0)$	$> 5$
	$\frac{x}{\sigma_x}(K_s^0)$	$> 5$
	$\sigma_{\vec{s}}^2$	
	$\frac{\chi_{track}}{\text{nDof}}(\pi^\pm)$	$< 3$
	$ M(\pi^+ \pi^-) - M(K_s^0) $	$\in [475, 520] \text{ MeV}/c^2$

Die neu eingeführten Größen sind hier die Zerfallszeit  $\tau$  und die Flugstrecke  $x$  sowie deren Unsicherheit  $\sigma_\tau$  und  $\sigma_x$ . Weiterhin gibt es noch einen kinematischen Fit des Zerfallsbaums („DecayTreeFit“- DTF). Um die Wirkung der einzelnen Schnitte zu untersuchen, werden alle Schnitte bis auf den zu untersuchenden angewandt und in der Massenverteilung das Signal-zu-Untergrund-Verhältnis bestimmt. Dieses wird dann mit den entsprechenden Werten bei Anwendung aller Schnitte verglichen.

!!! Muss fortgesetzt werden !!!

### 3.2.5 Geister-Wahrscheinlichkeit

!!! Hier auch !!!

### 3.2.6 Bester Kandidat

Es ist äußerst unwahrscheinlich, dass es mehrere  $B_d^0 \rightarrow J/\Psi K_s^0$ -Zerfälle in einem Ereignis gibt. Jedoch kann es vorkommen, dass es mehr als ein rekonstruiertes  $B_d^0$  im Ereignis gibt.

### 3 Datenselektion

Da aber nur ein  $B_d^0$  am Zerfall beteiligt ist, wird der beste Kandidat anhand des kleinsten  $\chi_{DTF}^2/\text{nDoF}$  des DecayTreeFit identifiziert. [5]

#### 3.2.7 Fitbereiche

In den Analysen werden beim Fit die Massenbereiche zusätzlich eingeschränkt. Bei der Bestimmung der Detektorauflösung werden  $J/\Psi$  im Bereich  $[3035, 3160]\text{MeV}/c^2$  betrachtet, im regulären Fit wird nur  $B_d^0$ -Kandidaten im Bereich  $[5230, 5330]\text{MeV}/c^2$  berücksichtigt.

### 3.3 Verwendeter Datensatz

## **4 Zusammenfassung**



# Literaturverzeichnis

- [1] <http://home.web.cern.ch/about/accelerators/large-hadron-collider>  
(Stand: 01.08.2013)
- [2] <http://www.weltmaschine.de/experimente/lhcb/>(Stand: 01.08.2013)
- [3] The LHCb Collaboration, The LHCb Detector at the LHC, 2008 JINST, 3 S08005.
- [4] Christian Linn, ...
- [5] LHCb-Analyse, ...
- [6] [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard\\_Model\\_of\\_Elementary\\_Particles-de.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard_Model_of_Elementary_Particles-de.svg) (Stand: 07.07.2013)
- [7] <http://press.web.cern.ch/press-releases/2013/03/new-results-indicate-particle-discovered-cern-higgs-boson>
- [8] K. Kleinknecht, Uncovering ...
- [9] PDG-Wert für Tau  
<http://pdglive.lbl.gov/popupblockdata.brl?nodein=S042T&inscript=Y&fsizein=1&clumpin0=> (Stand: 02.07.2013)
- [10] [http://www-zeus.physik.uni-bonn.de/~brock/feynman/vtp\\_ss06/](http://www-zeus.physik.uni-bonn.de/~brock/feynman/vtp_ss06/)
- [11] Nir, Heavy Flavour Physics
- [12] Noguchi, ...
- [13] <http://lhcb-trig.web.cern.ch/lhcb-trig/>
- [14] <http://arxiv.org/pdf/0905.0724v1.pdf>
- [15] <http://arxiv.org/pdf/physics/0402083v3.pdf>
- [16] Stefania Vecchi, OS combination for Reco14
- [17] <http://arxiv.org/pdf/1201.5069.pdf>



# Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Heidelberg, den ...,