

**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

1	Einleitung	7
2	Das LHCb-Experiment	9
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	11
3	CP-Verletzung in B-Meson-Systemen	13
3.1	B-Mesonen und der Zerfallskanal $B_d^0 \rightarrow J/\Psi K_s^0$	13
3.1.1	Das Standardmodell der Teilchenphysik	13
3.1.2	B-Mesonen und ihre Mischung	14
3.1.3	Der Zerfallskanal $B_d^0 \rightarrow J/\Psi K_s^0$	14
3.2	Diskrete Symmetrietransformationen	15
3.2.1	Scheinbare \mathcal{CP} -Invarianz	16
3.3	\mathcal{CP} -Verletzung in der Mischung	16
3.4	Direkte \mathcal{CP} -Verletzung	18
3.5	\mathcal{CP} -Verletzung in der Interferenz	18
3.6	CKM-Formalismus	19
4	Zusammenfassung	21

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.

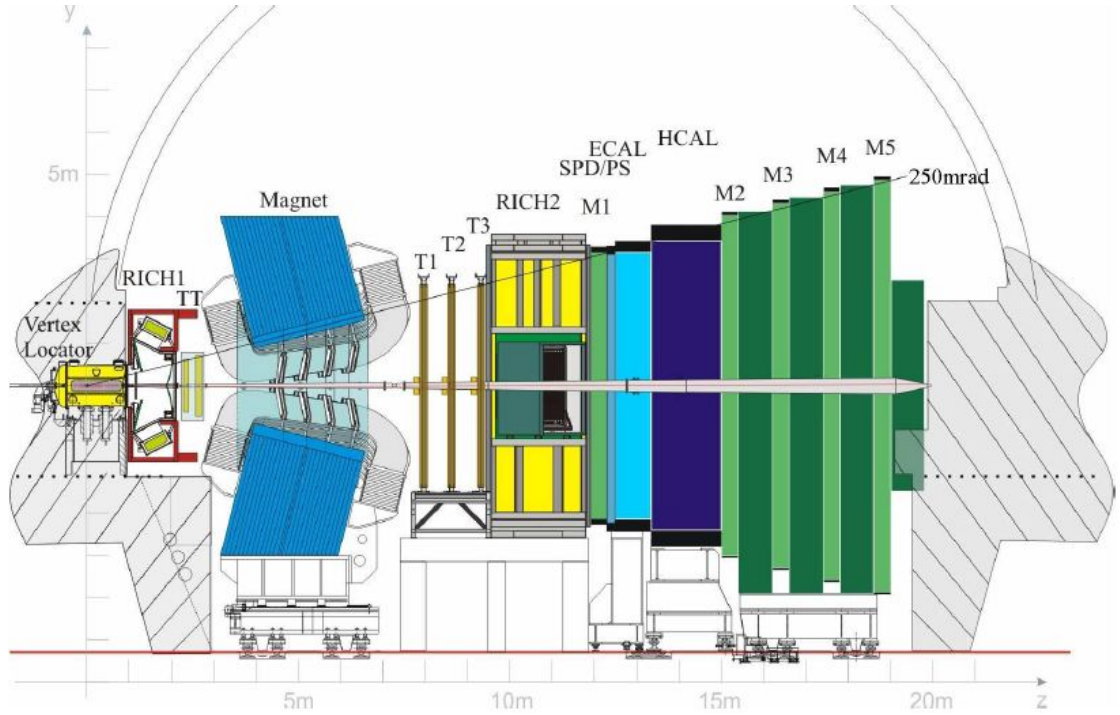


Abbildung 2.1: Schnitt durch die (y,z)-Ebene des LHCb-Detektors. Die Abbildung wurde [3] entnommen.

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 4m^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%), CO_2 (28,5%) und 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

2 Das *LHCb*-Experiment

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

3 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 (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/
- [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 ...,