

# **Systematic Studies on Reconstruction Efficiency at Belle II**

von

**Martin Sobotzik**

Bachelorarbeit in Physik  
vorgelegt dem Fachbereich Physik, Mathematik und Informatik (FB 08)  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
am 3. Dezember 2019

1. Gutachter: Prof. Dr. Wolfgang Gradl
2. Gutachter: Prof. Dr. Habe Dünkel

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht habe.

Mainz, den [Datum] [Unterschrift]

Martin Sobotzik  
Institut für Kernphysik  
Johannes-Joachim-Becher-Weg 45  
Johannes Gutenberg-Universität D-55128 Mainz  
msobotzi@students.uni-mainz.de

# Contents

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Introduction</b>                           | <b>1</b>  |
| <b>2. Bhabha Scattering</b>                      | <b>2</b>  |
| <b>3. Experimental Setup at SuperKEKB</b>        | <b>3</b>  |
| 3.1. KEKB and SuperKEKB . . . . .                | 3         |
| 3.2. The Belle II Experiment . . . . .           | 5         |
| 3.3. Grundlagen . . . . .                        | 5         |
| 3.4. Versuchsaufbau . . . . .                    | 5         |
| <b>4. BASF2</b>                                  | <b>6</b>  |
| 4.1. Methoden . . . . .                          | 6         |
| 4.2. Ergebnisse . . . . .                        | 6         |
| <b>5. Zusammenfassung und Ausblick</b>           | <b>7</b>  |
| <b>A. Anhang</b>                                 | <b>8</b>  |
| A.1. Tabellen und Abbildungen . . . . .          | 8         |
| A.2. Weiterführende Details zur Arbeit . . . . . | 8         |
| <b>B. Bibliography</b>                           | <b>11</b> |
| <b>C. Danksagung</b>                             | <b>13</b> |

# 1. Introduction

*Dieses Dokument richtet sich an Studierende am Fachbereich 08 im Studiengang Bachelor of Science (Physik). Sie finden hier Beispiele für eine mögliche Gliederung Ihrer Arbeit und Hinweise zur Strukturierung des Inhalts. Selbstverständlich sollen Sie diese Gliederung nach den Gegebenheiten Ihrer Bachelorarbeit anpassen. Besprechen Sie rechtzeitig mit Ihrem Betreuer, ob Ihr Entwurf sinnvoll ist. Holen Sie sich auch Anregungen zur Gestaltung von Abschlussarbeiten aus der Literatur (siehe z. B. [1]).*

*Sofern Sie sich dazu entscheiden, Ihr Dokument in  $\LaTeX$  zu erstellen, können Sie diese Datei als Vorlage verwenden. Fast die gesamte Literatur in der Physik verwendet  $\LaTeX$ , vor allem wegen der ausgezeichneten Möglichkeiten für das Formelschreiben.*

In der Einleitung Ihrer Bachelorarbeit sollte das Thema der Arbeit möglichst allgemeinverständlich eingeführt werden. Gehen Sie dabei auch auf das weitere Umfeld der Arbeit ein und erläutern Sie, warum Aufgabenstellung und Herangehensweise interessant sind. Auch die weitere Gliederung kann angesprochen werden, um dem Leser einen ersten Überblick über den nachfolgenden Text zu geben.

## **2. Bhabha Scattering**

## 3. Experimental Setup at SuperKEKB

SuperKEKB is an two-ring, asymmetric<sup>1</sup>, electron positron accelerator, which is located at KEK (*High Energy Accelerator Research Organization*) in Tsukuba Japan. The electron beam has an energy of 7 GeV and the positron beam has an energy of 4 GeV. These beams collide with a center-of-momentum energy of about 10.58 GeV, which is close to the mass of the  $\Upsilon(4S)$  resonance. Therefore SuperKEKB is a so called *B-factory*. The decay products are then detected by the Belle II detector to study the properties of these B mesons with high precision. In early 2018 Belle II started taking data. One goal of Belle II is to study CP-Violation with respect to new physics.

### 3.1. KEKB and SuperKEKB

This section will only provide a rough overview of the SuperKEKB accelerator since the focus of this work is on the analysis.

SuperKEKB is an upgrade of the KEKB accelerator. KEKB was also an asymmetric electron positron accelerator in the period from 1998 to 2010, but the energies were different compared to SuperKEKB. At KEKB the electrons were accelerated to an energy of 8 GeV and the positrons to an energy of 3.5 GeV. KEKB was also a B-factory and the reaction products were then detected in the Belle detector. In 2009 KEKB achieved an instantaneous luminosity of  $2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . This was the world record at that time. KEKB was discontinued after more than 10 years, to be upgraded to SuperKEKB.

In figure 3.1 you can see the schematic layout of the SuperKEKB accelerator. The electrons are start at the Low emittance gun. They are then accelerated in the *J*-shaped linear particle accelerator (linac). Due to lack of space, the linac has to have this special form. After the curve and a second acceleration stage the electrons hit the positron production target, where the positrons are created. After this target there are more acceleration stages, before the two beam are then injected into their independent storage rings. The electrons are stored in the high-energy ring (HER) and the positrons are stored in the low-energy ring (LER). Each of these rings has a circumference of about 3 km. Both beams collide at the interaction region (IR). The products of the collisions are then detected by the Belle II detector, an upgraded version of the Belle detector. (See chapter 3.2)

SuperKEKB uses a smaller asymmetry in the beam energies. This allows the usage for higher beam currents and better focusing magnets compared to KEKB. This can then

---

<sup>1</sup>asymmetric means that there is an energy difference between the two colliding beams

### 3. Experimental Setup at SuperKEKB

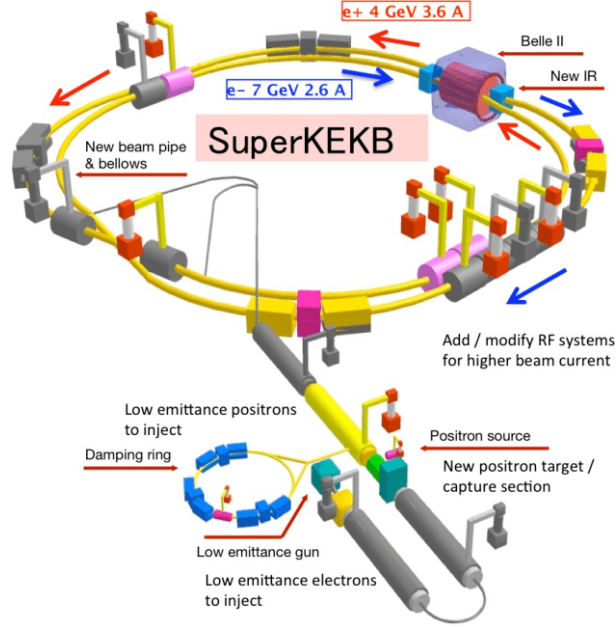


Figure 3.1.: The SuperKEKB collider.

result into a higher luminosity. The goal is to achieve a 40 times higher luminosity with SuperKEKB compared to KEKB. An integrated luminosity of  $50 \text{ ab}^{-1}$  will be achieved by 2025.

The instantaneous luminosity  $\mathcal{L}$  specifies the performance of the collider. Knowing  $\mathcal{L}$  and the cross section  $\sigma$  one can calculate the events per second for a process by the following formula.

$$\frac{dN}{dt} = \mathcal{L} \cdot \sigma \quad (3.1)$$

To increase the event rate one has to increase the instantaneous luminosity since  $\sigma$  is given by the processes. The instantaneous luminosity can be calculate by

$$\mathcal{L} = \frac{N_{e-} N_{e+} f_c}{4\pi\sigma_x\sigma_y} \cdot R_L \quad (3.2)$$

assuming that both beams have a Gaussian profile of horizontal and vertical size  $\sigma_x$  and  $\sigma_y$ . In equation 3.2  $N_{e-}$  is the number of particles in an electron bunch and  $N_{e+}$  is the number of particles in a positron bunch.  $f_c$  is the average crossing rate, which can be calculated by  $f_c = n \cdot f_r$ . Where  $n$  is the number of bunches and  $f_r$  is the revolution frequency. SuperKEKB increased the luminosity by a factor of two compared to KEKB by increasing the number of bunches and the number of particles per bunch.

Also the size of the interaction region at SuperKEKB is just one twentieth of what it was at KEKB, resulting in a vertical beam size of  $\sigma \approx 50 \text{ nm}$ . This can be seen in

### 3. Experimental Setup at SuperKEKB

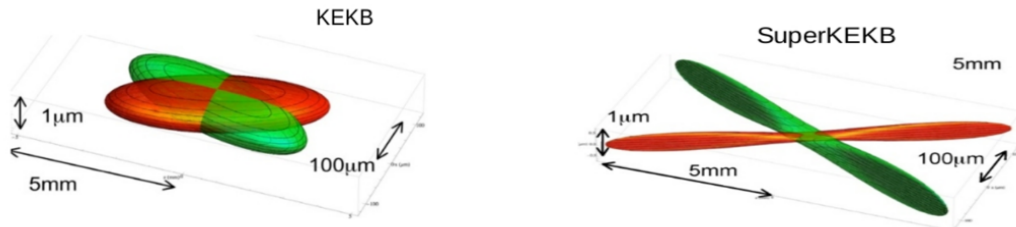


Figure 3.2.: Sketch of the beam crossing at KEKB (left) and SuperKEKB (right).  
At KEKB the size of the interaction region was about 10 mm. At SuperKEKB it is about 0.5 mm

figure 3.1. This decrease in beam size, along with the increase in the beam currents, results in a 40-fold increase in luminosity.

## 3.2. The Belle II Experiment

## 3.3. Grundlagen

Beschreiben Sie bei einer experimentellen Arbeit die wesentlichen theoretischen Grundlagen und in jedem Fall den Stand der Forschung.

## 3.4. Versuchsaufbau

Wenn Sie an einem experimentellen Thema arbeiten, beschreiben Sie den Versuchsaufbau, auch wenn Sie an einem bereits vorhandenen Versuch arbeiten, soweit dies für Ihre spezielle Fragestellung relevant ist.



## **4. BASF2**

### **4.1. Methoden**

Entsprechend kann es bei einer theoretischen Arbeit sinnvoll sein, die Lösungsmethoden in einem eigenen Kapitel zu beschreiben.

### **4.2. Ergebnisse**

Hauptteil Ihrer Arbeit ist das Kapitel (oder die Kapitel) mit den Ergebnissen. Bei einer theoretischen Arbeit kann damit auch die Herleitung von Formeln oder die Beschreibung eines Computerprogramms gemeint sein.

## **5. Zusammenfassung und Ausblick**

In der Zusammenfassung sollten Sie in knapper Form die Aufgabenstellung und die wichtigsten Ergebnisse rekapitulieren. Es ist für die Gutachter hilfreich, wenn Sie ausdrücklich beschreiben, worin Ihre eigenen Beiträge liegen. Scheuen Sie sich auch nicht davor auszusprechen, welche Untersuchungen durch die Zeitbegrenzung der Bachelorarbeit nicht möglich waren und nutzen Sie dies als Überleitung zu einem Ausblick auf mögliche weitergehende Arbeiten an der Aufgabenstellung.

# **A. Anhang**

## **A.1. Tabellen und Abbildungen**

In der Regel sind die in Tabellen und Abbildungen enthalten Informationen so wichtig, dass sie im Hauptteil der Arbeit erscheinen sollten. Unter Umständen sind aber ergänzende Tabellen und Abbildungen gut in einem Anhang aufgehoben. Wie im Hauptteil sollten Sie auch hier darauf achten, dass die in Tabellen und Figuren (siehe Abb. ??) dargestellte Information im Text angesprochen wird und selbsterklärende Legenden vorhanden sind.

Figure A.1.: Das ist ein Test

## **A.2. Weiterführende Details zur Arbeit**

Manch wichtiger Teil Ihrer tatsächlichen Arbeit ist zu technisch und würde den Hauptteil des Textes unübersichtlich machen, beispielsweise wenn es um die Details des Versuchsaufbaus in einer experimentellen Arbeit oder um den für eine numerische Auswertung verwendeten Algorithmus geht. Dennoch ist es sinnvoll, entsprechende Beschreibungen in einem Anhang Ihrer Bachelorarbeit aufzunehmen. Insbesondere für zukünftige Arbeiten, die an Ihre Bachelorarbeit anschließen, sind dies manchmal hilfreiche Informationen.

## List of Figures

|  |   |
|--|---|
| 3.1. The SuperKEKB collider. . . . .   | 4 |
| 3.2. Sketch of the beam crossing at KEKB (left) and SuperKEKB (right).<br>At KEKB the size of the interaction region was about 10 mm. At<br>SuperKEKB it is about 0.5 mm . . . . . | 5 |
| A.1. Das ist ein Test . . . . .  | 8 |

## List of Tables

## B. Bibliography

Machen Sie genaue Angaben, so dass die verwendeten Literaturstellen eindeutig identifiziert und aufgefunden werden können. Bei Lehrbüchern [3] ist es sinnvoll, den Titel anzugeben, eventuell auch die Ausgabe. Bei Artikeln in Fachzeitschriften [4] ist es üblich, nur die gebräuchlichen Abkürzungen für den Titel der Zeitschrift, Band, Erscheinungsjahr und Seite anzugeben. Unter Umständen kann es auch sinnvoll sein, im Internet aufgefundene Informationsquellen anzugeben, zum Beispiel für Software [5] oder zu den Details von Ergebnissen großer experimenteller Kollaborationen. Es ist selbstverständlich, dass Sie auch Bachelor- [6], Diplom- oder Doktorarbeiten angeben, wenn Sie diese in Ihrer eigenen Arbeit verwendet haben.

Im folgenden Beispiel werden die in der Datei enthaltenen Anweisungen als Stilvorlage verwendet. Andere Möglichkeiten für die Gestaltung eines Literaturverzeichnisses findet man im Internet: <http://janeden.net/bibliographien-mit-latex>.

## Bibliography

- [1] H. F. Ebel, C. Bliefert, “Bachelor-, Master- und Doktorarbeit: Anleitungen für den naturwissenschaftlich-technischen Nachwuchs,” Wiley-VCH, Weinheim (2009).
- [2] S. Becker, D. Götz, C. Reuschle, C. Schwan, S. Weinzierl, <http://www.thep.physik.uni-mainz.de/site/news/168/>.
- [3] S. Weinberg, “The Quantum theory of fields. Vol. 1: Foundations,” Cambridge, UK: Univ. Pr. (1995) 609 p.
- [4] S. Moch, P. Uwer, S. Weinzierl, [hep-ph/0110083].
- [5] T. Hahn, “The LoopTools Site,” <http://www.feynarts.de/looptools/>.
- [6] B. Freund, Bachelorarbeit, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 2012.

## **C. Danksagung**

... an wen auch immer. Denken Sie an Ihre Freundinnen und Freunde, Familie, Lehrer, Berater und Kollegen.