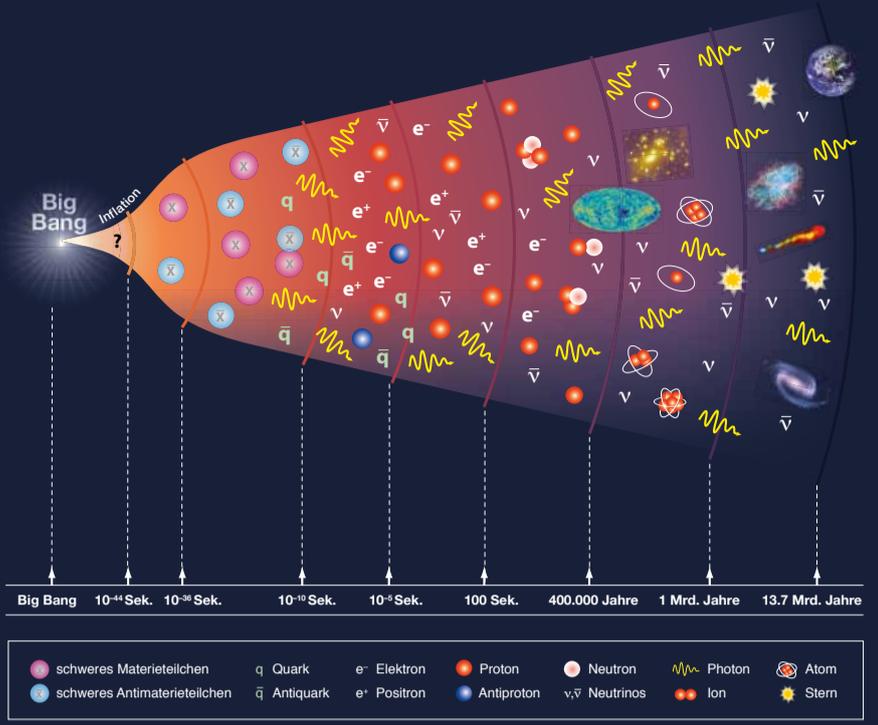




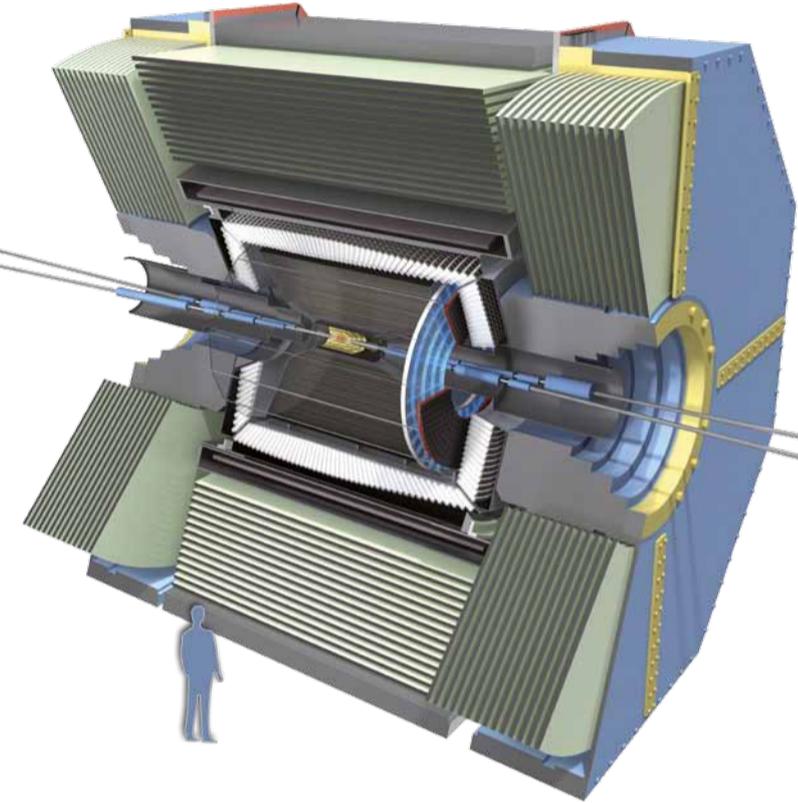
Schwere Materieteilchen und ihre Antiteilchen sollten eigentlich nach dem gleichen Muster in leichtere Teilchen zerfallen, eine Situation, die Physiker als Symmetrie bezeichnen. In den 1960er Jahren fanden Wissenschaftler heraus, dass Teilchen und ihre Antiteilchen nicht völlig gleich, also nicht symmetrisch zerfallen. Diese Asymmetrie nennt man auch CP-Verletzung (C für charge, und P für parity). Mit dem Belle-Experiment konnte in den vergangenen Jahren die CP-Verletzung, wie sie im Standardmodell der Teilchenphysik verankert ist, bestätigt werden. Allerdings: Warum das Universum so gut wie ausschließlich aus Materie besteht und die Antimaterie verschwunden ist, kann im Rahmen des Standardmodells nicht vollständig erklärt werden.

Vor 13,7 Milliarden Jahren entstanden beim Urknall aus einer ungeheuren Energiedichte schwere Materie- und Antimaterieteilchen, deren Natur bis heute unerforscht ist. Die schweren Partikel zerfielen in sehr kurzer Zeit in die uns bekannten Materieteilchen, Quarks und Leptonen, und deren Antiteilchen. Teilchen und Antiteilchen vernichten sich gegenseitig und setzen dabei ihre Masse in Licht (Photonen) um. Demnach dürfte es das heutige, Materiedominierte Universum mit Atomen, Molekülen, Sternen und Galaxien gar nicht geben. Die Wissenschaftler erklären den „Sieg“ der Materie über die Antimaterie, dem wir unsere Existenz verdanken, mit einem winzigen Ungleichgewicht beim Zerfall der schweren Urteilchen. Diese zerfallen letztlich in etwas mehr Protonen als die Anti-Urteilchen in Anti-Protonen. Mit dem neuen Belle II-Experiment am japanischen SuperKEKB-Beschleuniger werden die Ursachen für dieses Ungleichgewicht untersucht.



## Die Aufgabe

Das Bild rechts zeigt den schematischen Aufbau des geplanten Belle II-Detektors, der die Zerfallsprodukte der B-Mesonen aus der Elektron-Positron-Vernichtung aufzeichnet und rekonstruiert. Die B-Mesonen selbst leben so kurz, dass sie noch innerhalb der Strahlröhre zerfallen. Um die Strahlröhre herum sind von innen nach außen schalenförmig verschiedene Nachweisgeräte angeordnet, mit denen sich die Zerfallsprodukte, also Elektronen, Myonen, Pionen und andere Sekundärteilchen messen lassen. Am Kollisionspunkt ist die Strahlröhre von einem Vertexdetektor umgeben, der die Entstehungsorte der Sekundärteilchen bestimmt. Der gesamte Detektor ist etwa 10 Meter breit und hoch und wiegt insgesamt 1.500 Tonnen.



Der neue Beschleuniger SuperKEKB und der Großdetektor Belle II stellen einen Meilenstein in der Erforschung des Materieüberschusses (CP-Verletzung) im Universum dar. In SuperKEKB werden Bündel von Materieteilchen (Elektronen) und ihren Antiteilchen (Positronen) auf bis zu 8 Giga-elektronenvolt beschleunigt und zur Kollision gebracht. Die beim Zusammenprall entstehenden Teilchen und deren Zerfallsprodukte werden im Belle II-Experiment vermessen und ausgewertet. Die Wissenschaftler hoffen, dabei Abweichungen von den Vorhersagen des Standardmodells zu finden. Eine besondere Rolle spielen hier B-Mesonen, die ihrerseits aus einem „schweren“ b-Quark und einem „leichten“ Anti-Quark bestehen. Bei den gewählten Energien für die Elektronen und Positronen werden bei der Kollision genau ein B-Meson und ein Anti-B-Meson erzeugt. Wegen der hohen Dichte der kollidierenden Strahlbündel werden die B-Meson-Paare in großer Anzahl produziert. Daher nennt man den KEK-Beschleuniger auch „B-Fabrik“. Um selbst geringste Abweichungen vom Standardmodell zu finden, benötigen Wissenschaftler eine große Anzahl Kollisionen. Im modernisierten SuperKEKB-Beschleuniger wird durch extrem geringe Strahlquerschnitte eine 40-fach höhere Kollisionsrate gegenüber dem KEKB-Beschleuniger erreicht.

## Die Physik

Die CP-Verletzung ist Gegenstand verschiedener experimenteller Untersuchungen. Mit dem Vorläufer-Experiment Belle am KEKB-Beschleuniger und dem BaBar-Experiment am SLAC (Kalifornien) konnten Wissenschaftler die grundlegenden Mechanismen beim Zerfall von B-Mesonen und ihren Antiteilchen im Rahmen des Standardmodells beschreiben. Für die theoretischen Grundlagen der CP-Verletzung im Standardmodell erhielten M. Kobayashi und T. Maskawa 2008 den Physiknobelpreis. Allerdings bieten die bisherigen Erkenntnisse noch keine zufriedenstellende Erklärung für den beobachteten Materieüberschuss im Universum. Der Belle II-Detektor wird Wissenschaftlern künftig sehr viel präzisere Daten liefern, um nach neuen Quellen für die CP-Verletzung zu fahnden.

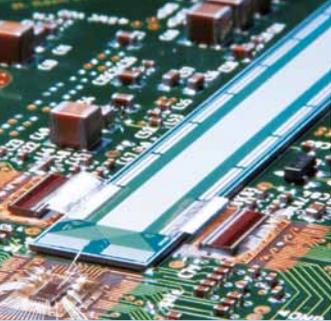


Das kleine Bild zeigt das aktuelle Belle-Experiment. Auf dem Bild rechts ist der Tunnel des KEKB-Beschleunigers zu sehen. Er besteht aus zwei getrennten Ringen mit je 3 Kilometern Umfang, in dem Elektronen und Positronen auf maximal 8 Giga-elektronenvolt beschleunigt werden. Man erkennt rechts die Strahlführungsmagneten des Elektronenringes (blau), in der Mitte die Magneten für den Positronenring (grün), und links das Radiofrequenzsystem zur Einspeisung der elektrischen Wechselfelder für die Beschleunigung der Elektronen und Positronen.

## Das Experiment

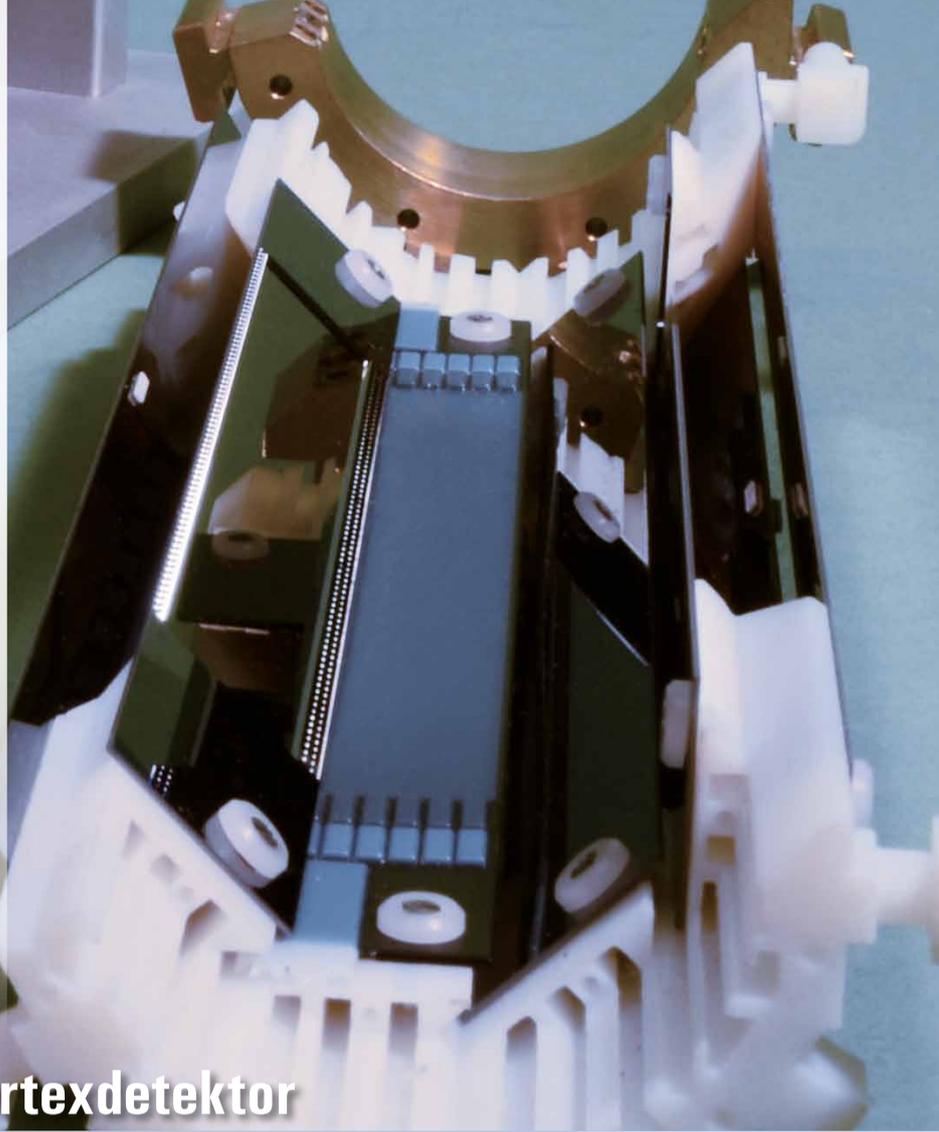
# Das Experiment Belle II am SuperKEKB-Beschleuniger Deutsche Forschung in Japan





Der Pixel-Vertexdetektor untersucht den Zerfallsort der B-Mesonen und die Flugrichtung ihrer Zerfallspunkte. Die insgesamt acht Megapixel des Detektors zeichnen dabei circa 50.000 Bilder pro Sekunde auf. Dies entspricht einer Datenmenge von 800 Gigabyte pro Sekunde. Um die enorme Datenmenge auf aussagekräftige Informationen zu reduzieren, werden mittels spezieller Berechnungen „Untergrund“-Daten bereits im Vorfeld aussortiert. Die DEPFET-Sensoren wurden am Max-Planck-Institut für Physik in München und dem Halbleiterlabor (HLL) der Max-Planck-Gesellschaft entworfen und werden ausschließlich am HLL produziert.

Das Ergebnis einer Teilchenkollision ist ein chaotisches Durcheinander verschiedenster Teilchenspuren. Um diese auszuwerten und daraus haltbare wissenschaftliche Ergebnisse zu gewinnen, bedarf es modernster Präzisionsinstrumente. Am „Hot Spot“ des Experiments, wo künftig Elektronen und Positronen mit Lichtgeschwindigkeit aufeinander prallen, sitzt ein Pixel-Vertexdetektor, mit dem der genaue Zerfallsort eines B-Mesons gemessen wird. Dieses Nachweisgerät arbeitet mit hochempfindlichen Sensoren, die auf der DEPFET-Technologie beruhen (Depleted P-Channel Field Effect Transistor). Der Pixel-Vertexdetektor wurde von deutschen Gruppen entwickelt und wird jetzt in einer europäischen Kollaboration für Belle II gebaut.



## Der Pixel-Vertexdetektor



Das KEK (kō-enerugō kasokuki kenkyō-kikō) ist Japans nationales Forschungszentrum für Hochenergiephysik. Das Institut liegt nahe der Stadt Tsukuba ungefähr 60 Kilometer nordöstlich von Tokio und beschäftigt etwa 1.000 Mitarbeiter.



## Das Forschungszentrum

Das KEK betreibt einen Beschleunigerring mit einem Umfang von 3 Kilometern, in dem Elektronen und Positronen bei einer Energie von bis zu 8 Gigaelektronenvolt kollidieren. Derzeit wird der Beschleuniger modernisiert; das wissenschaftliche Programm wird im Jahr 2015 starten. Der neue SuperKEKB-Ring erzeugt dann eine wesentlich höhere Strahldichte als das Vorgängermodell. Parallel dazu entsteht auch der Nachfolger des Belle-Detektors: Dank hochauflösender Messtechniken erlaubt Belle II die weitaus genauere Auswertung der gesammelten Kollisionsdaten. Die Zerfallsereignisse lassen sich dann in bisher nicht gekannter Präzision untersuchen und auswerten.

### Impressum

Herausgeber:  
Belle II-Kollaboration  
(deutsche Institute)

c/o Max-Planck-Institut für Physik  
(Werner-Heisenberg-Institut)  
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Silke Zollinger (verantwortl.)

Föhringer Ring 6  
80805 München  
Tel.: +49 89 32354-292  
Fax: +49 89 32267-04  
E-Mail: silke.zollinger@mpp.mpg.de

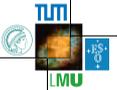
Internet:  
<http://www.kek.jp>  
<http://www.mpp.mpg.de/belleII>

Redaktion:  
Prof. Dr. Christian Kiesling,  
Barbara Wankel,  
Silke Zollinger

Gestaltung:  
Vasco Kintzel, [www.kintzel.com](http://www.kintzel.com)

Bilder:  
NASA, ESA, KEK, MPI für Physik,  
Universität Bonn, The Hubble Heritage  
Team, STScI, AURA

Der neue Belle II-Detektor wird in einer internationalen Kollaboration entwickelt, an der 560 Wissenschaftler aus 94 Forschungsinstituten in 23 Ländern mitwirken. Der Pixel-Vertexdetektor wird von der europäischen DEPFET-Kollaboration und an acht Standorten in Deutschland entworfen und gebaut.

	<b>Belle II-Kollaboration</b>		<b>KEK, High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba, Japan</b>
	<b>DEPFET-Kollaboration</b>		<b>Halbleiterlabor der Max-Planck-Gesellschaft</b>
	<b>Karlsruher Institut für Technologie</b>		<b>Universität Bonn</b>
	<b>Ludwig-Maximilians-Universität, München</b>		<b>Universität Gießen</b>
	<b>Max Planck Institut für Physik, München</b>		<b>Universität Göttingen</b>
	<b>Technische Universität München</b>		<b>Universität Heidelberg</b>
	<b>Excellence Cluster „Universe“</b>		<b>GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung</b>
	<b>Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg</b>		

## Die Kollaboration

# Das Experiment Belle II am SuperKEKB-Beschleuniger Deutsche Forschung in Japan

