

FEINFÜHLIGE GIGANTEN

WIE FUNKTIONERT EIN TEILCHENDETEKTOR?

Die Aufgabe eines Teilchendetektors ist es, die Teilchen, die bei der Kollision zweier Teilchenstrahlen entstanden sind, präzise zu vermessen. Einige dieser entstandenen Teilchen sind sehr kurzlebig. Noch bevor sie den Detektor erreichen, zerfallen sie in langlebigere Teilchen. Aus der Vermessung dieser langlebigen Teilchen lassen sich Rückschlüsse auf die Eigenschaften der ursprünglich bei der Kollision entstandenen Teilchen ziehen.

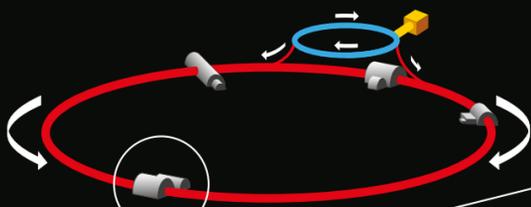
DER AUFBAU EINES TEILCHENDETEKTORS AM BEISPIEL DES CMS-EXPERIMENTS AM LARGE HADRON COLLIDER

Das Compact Muon Solenoid (CMS) ist eines der vier großen Experimente am Large Hadron Collider (LHC). Der CMS-Detektor wurde konstruiert, um neue, zuvor unbekannte Teilchen, wie das 2012 entdeckte Higgs-Boson, nachweisen zu können. Wie die meisten modernen Teilchendetektoren besteht er aus mehreren Komponenten, die wie die Schalen einer Zwiebel angeordnet sind.



STECKBRIEF COMPACT MUON SOLENOID (CMS)

- > Länge: 21 Meter
- > Höhe: 15 Meter
- > Masse: 14000 Tonnen – fast doppelt so schwer wie der Eiffelturm
- > 3000 beteiligte Forscherinnen und Forscher
- > Über 40 beteiligte Nationen



SPURDETEKTOR

Sensoren aus reinem Silizium ermöglichen das Vermessen der durch ein Magnetfeld gekrümmten Bahnen elektrisch geladener Teilchen mit einer Präzision von einem Zehntel der Breite eines menschlichen Haars. Der Detektor funktioniert ähnlich einer Digitalkamera mit ca. 75 Millionen Pixeln auf einem 200 m² großen Sensor. CMS erzeugt jedoch 40 Millionen 3-dimensionale Bilder pro Sekunde!



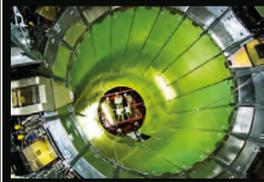
HADRONISCHES KALORIMETER

Aufgebaut aus abwechselnden Lagen aus Material mit hoher Dichte, das die Teilchen bremst, und sogenannten Szintillatoren, die die Bewegungsenergie der Teilchen in Photonen umwandeln. Bestimmt wird die Energie von Teilchen, die aus Quarks bestehen und der starken Wechselwirkung unterliegen.



ELEKTROMAGNETISCHES KALORIMETER

Etwas 80000 Kristalle aus Blei-Wolframat messen die Energien von Elektronen und Photonen, die nur der elektromagnetischen Wechselwirkung unterliegen.



SUPRALEITENDE SPULE

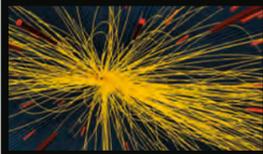
Der weltgrößte supraleitende Solenoid-Magnet hat eine Länge von 13 m und einen Durchmesser von 6 m. Er ist in seinem Inneren auf -270 °C gekühlt und erzeugt ein Magnetfeld von 4 Tesla (etwa 100 000mal stärker als das Erdmagnetfeld). Aufgabe der Spule ist es, die Flugbahn der Teilchen entsprechend ihrer elektrischen Ladung und ihrem Impuls zu krümmen.

Um die Magnetspule herum, mit dem Myonendetektor verbunden, befindet sich das rote Magnetjoch. Dieses Joch besteht aus etwa derselben Menge Stahl wie der Eiffelturm.



ZENTRUM

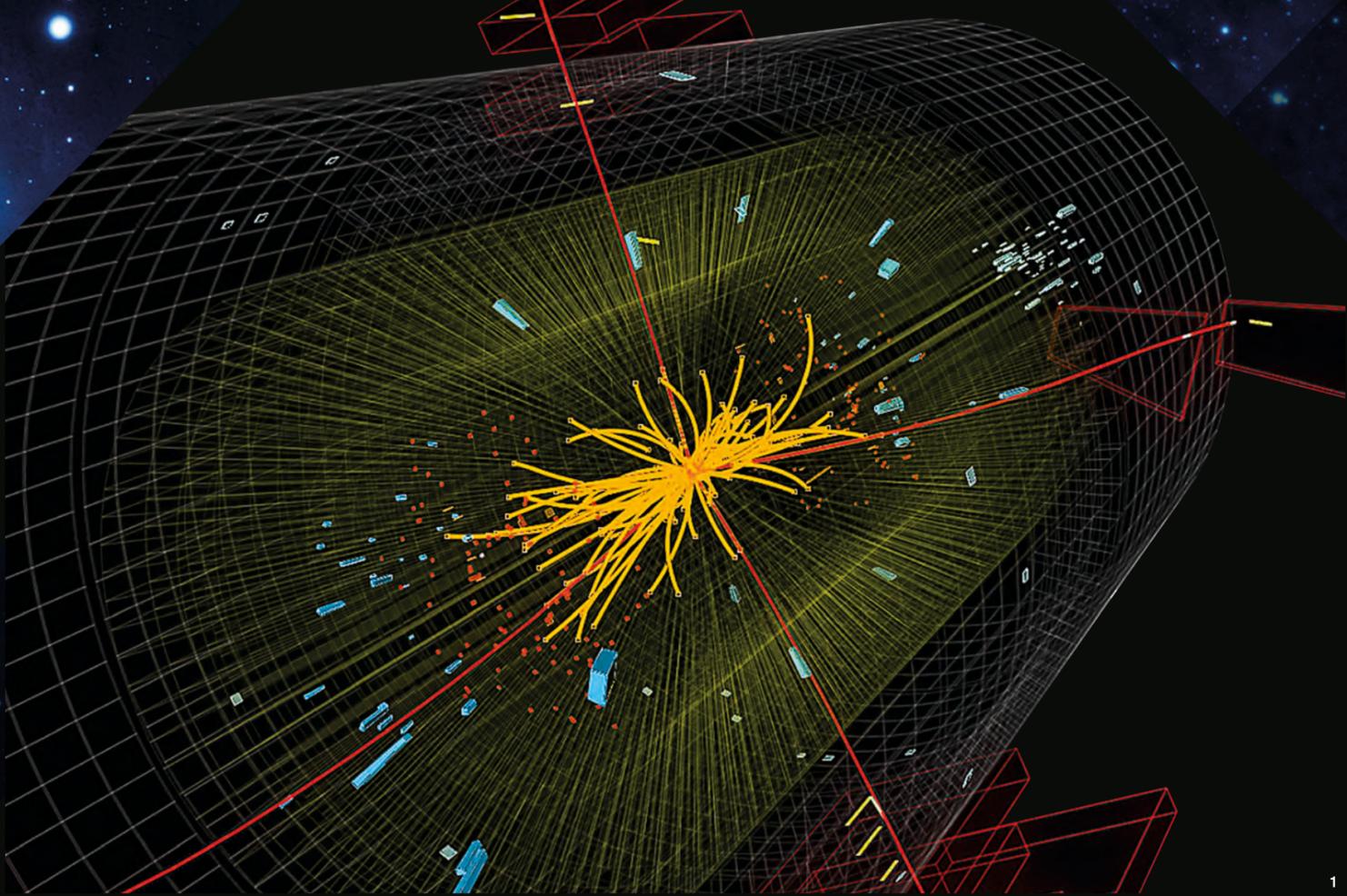
Teilchen der gegenläufigen Strahlen kollidieren. Daraus können neue Teilchen entstehen, die sich in alle Richtungen weg bewegen.



MYONENDETEKTOR

Drei unterschiedliche Typen von gasgefüllten Detektoren vermessen die Spuren der Myonen, um einfache Hinweise auf die in der Kollision entstandenen Teilchen zu bekommen. Die geladenen Teilchen ionisieren das Gas in diesen Detektoren und lösen so ein elektrisches Signal aus.





1

1. DIE SPURENSUCHE

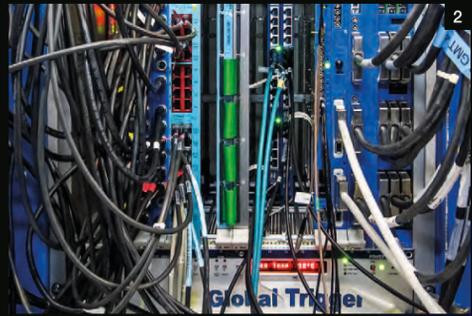
Die Teilchen, die in der Kollision entstanden sind, hinterlassen in den einzelnen Detektorlagen charakteristische Muster. Dadurch können sie identifiziert werden.

2. DIE SELEKTION

Die Muster aller Kollisionen würden einen Datenstrom von mehr als 1 TByte/s erzeugen, was unmöglich zu speichern ist (über 3000 vollgeschriebene Festplatten pro Stunde).

Es entstehen jedoch nur in wenigen Kollisionen interessante Teilchen und nur diese sollen abgespeichert werden.

Zuständig für diese Auswahl ist das sogenannte Triggersystem, welches jede Sekunde aus 40 Millionen Kollisionen die physikalisch interessanten Ereignisse herausfiltert.



2

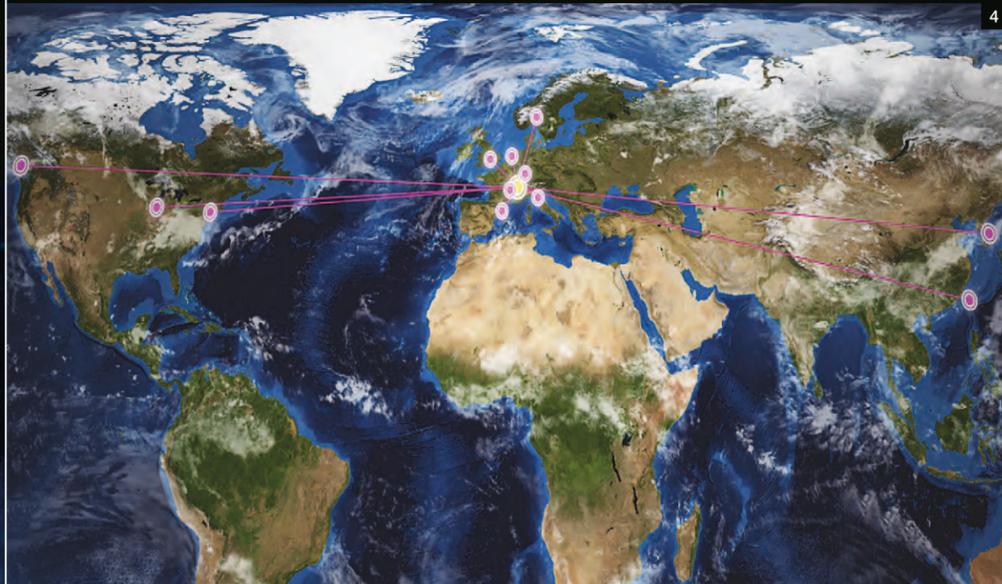
3. DAS ERGEBNIS

Jährlich wird eine Datenmenge von 15 Millionen Gigabytes erzeugt. Das entspricht einem 20 km hohen Stapel an CDs.

Um diese enorme Menge an Daten auszuwerten, wurde das LHC-Computing-Grid entwickelt. Auf die dort gespeicherten Daten greifen Physikerinnen und Physiker aus der ganzen Welt zu und durchforsten Millionen von LHC-Kollisionen nach Mustern, die auf ein neues Teilchen oder ein neues Phänomen hinweisen könnten.



3



4

- 1 Resultat einer Proton-Proton Kollision im CMS-Detektor. Ein Higgs-Boson ist kurzzeitig bei einer Kollision entstanden und anschließend in 4 Myonen zerfallen. Die vier roten Linien sind die Spuren der Myonen. Die zahlreichen gelben Linien sind Spuren von Teilchen aus anderen Kollisionen, deren Energie im elektromagnetischen (rote Punkte) und im hadronischen Kalorimeter (blaue Rechtecke) gemessen wird.
- 2 Elektronik des Triggersystems
- 3 Computerfarm am CERN zur Analyse und Speicherung von Daten der LHC-Experimente
- 4 Lage des Hauptrechenzentrums am CERN, sowie der 12 großen Rechenzentren des LHC-Computing-GRIDS. Innerhalb dieses Verbundes werden die Daten aller LHC-Experimente ausgetauscht, gespeichert und analysiert.



ÖSTERREICHISCHE BEITRÄGE

Das Institut für Hochenergiephysik (HEPHY) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften ist maßgeblich an zwei internationalen Großexperimenten beteiligt: Am Compact Muon Solenoid (CMS) Experiment am CERN (Schweiz) und am Belle- und Belle-II Experiment am KEK (Japan).

DAS CMS-EXPERIMENT AM CERN

Das CMS-Experiment wurde mit besonderem Augenmerk auf die genaue Vermessung und Identifizierung von Myonen, Elektronen und Photonen gebaut, um Antworten auf grundlegende Fragen, die das Standardmodell aufwirft, zu beantworten.

- › Qualitätstest von Silizium-Streifensensoren
- › Bau und Test von Streifendetektor-Modulen
- › Ausleseelektronik für Pixel- und Streifendetektoren
- › Bau und Betrieb des Spurdetektors
- › Elektronik für das Myon-Messsystem und Triggersystem
- › Computerzentrum am HEPHY im Rahmen des LHC-Computing-Grid
- › Programme für die Erkennung und Rekonstruktion von Teilchenspuren
- › Datenanalyse zur Gewinnung von Physikresultaten

DAS BELLE-EXPERIMENT AM KEK

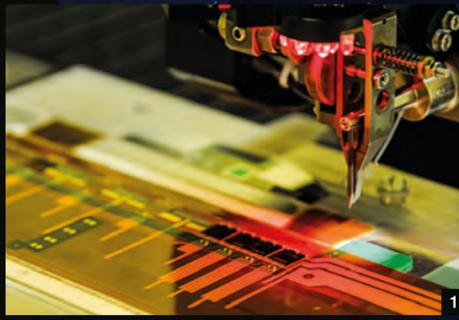
Das Belle- und Belle II-Experiment wurde unter anderem für die Klärung der Frage, weshalb es deutlich mehr Materie als Antimaterie in unserem Universum gibt, gebaut.

BELLE I:

- › Bau der Ausleseelektronik für den Silizium-Vertexdetektor (SVD)
- › Datenanalyse zur Gewinnung von Physikresultaten

BELLE II:

- › Gesamtverantwortung für die Entwicklung und den Bau des neuen Vertexdetektors mittels Streifensensoren
- › Design und Bereitstellung von Silizium-Streifensensoren
- › Konstruktion von Detektor-Modulen
- › Entwurf und Bau der Ausleseelektronik
- › Design von Mechanik und Kühlung



- 1 Zusammenbau eines Detektor-Moduls
- 2 Elektronik-Baugruppen für Belle II
- 3 Detail des CMS-Spurdetektors
- 4 Verkabelung an der CMS-Trigger-Elektronik
- 5 CMS-Detektor im geöffneten Zustand

