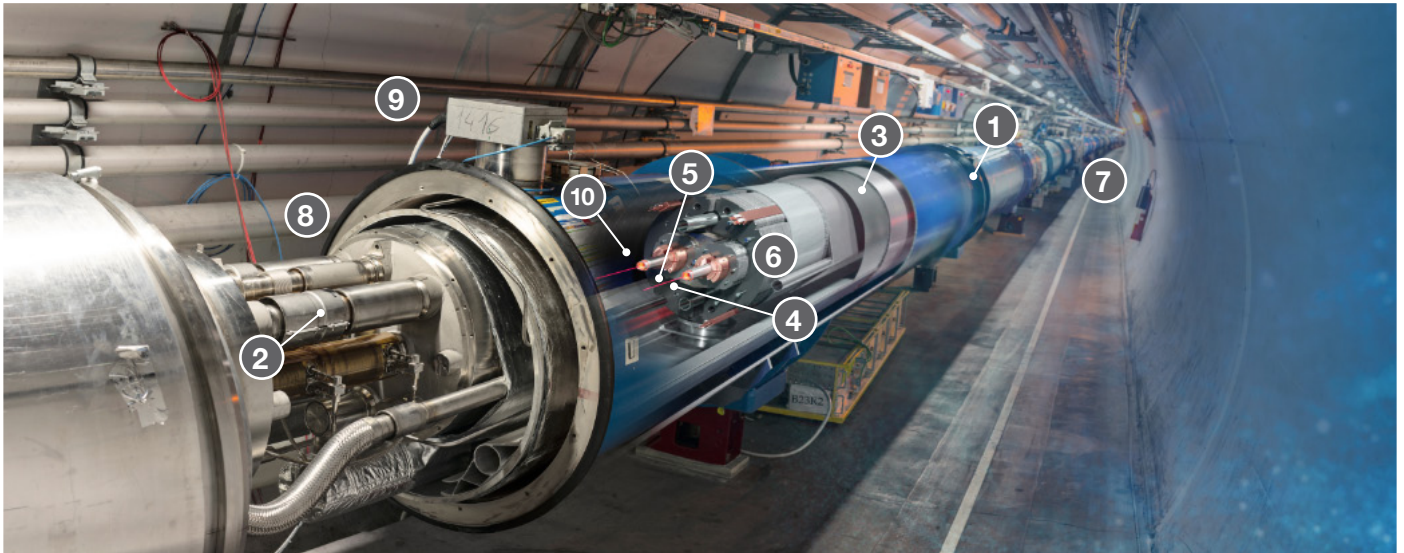


## 2. Laufzeit des LHC mit einer leistungsfähigeren Maschine

Anfang 2013 wurde der Large Hadron Collider (LHC) nach drei Jahren Laufzeit für geplante Wartungsmaßnahmen heruntergefahren. Hunderte Ingenieure und Techniker warteten und reparierten zwei Jahre lang die Maschine und rüsteten sie damit für eine erhöhte Kollisionsenergie. Jetzt ist der größte und leistungsfähigste Teilchenbeschleuniger bereit, seine Arbeit aufzunehmen. Was hat sich getan?



### 1) NEUE MAGNETE

Von 1232 LHC supraleitenden Dipolmagneten, die die Teilchenstrahlen im den Beschleuniger halten, wurden 18 Magnete auf Grund von Verschleiß ersetzt.

### 2) STÄRKERE VERBINDUNGEN

Mehr als 10.000 elektronische Verbindungsstellen zwischen den Dipolmagneten am LHC wurden mit Nebenwiderständen ausgestattet. Falls ein Fehler auftreten sollte, bieten diese Metallstücke dem Strom von 11.000 Ampere einen alternativen Weg, um die eigentlichen Verbindungen zu schonen.

### 3) SICHERERE MAGNETE

Die supraleitenden Dipolmagneten haben ein verbessertes Quench-Schutz-System. Gekühlte supraleitende Magnete leiten Strom ohne Widerstand und können so höhere magnetische Felder erreichen. Wenn allerdings die Supraleitung in einem Magneten zusammenbricht, der Magnet „quencht“, leitet er Strom wieder mit Widerstand und setzt dabei große Mengen an Energie frei. Das neue Quench-Schutz-System im LHC dient dazu, die Energie kontrolliert abzuführen, wenn sich abnormale Spannung an einem Magneten bildet.

### 4) STRAHLEN MIT HÖHEREN ENERGIEN

Im Jahr 2015 wird die Kollisionsenergie am LHC 13 Tera-Elektronenvolt (oder 6,5 Tera-Elektronenvolt pro Strahl) betragen. Im Jahr 2012 waren es 8 Tera-Elektronenvolt (bzw. 4 Tera-Elektronenvolt pro Strahl). Die höhere Kollisionsenergie ermöglicht es Physikern,

nach neuen Teilchen zu suchen und ihre bisher nicht überprüfbaren Theorien auf Richtigkeit zu testen.

### 5) FOKUSSIERTERE STRAHLEN

Der Durchmesser des Teilchenstrahls wird kleiner, wenn die Energie sich erhöht. Daher werden die Teilchenstrahlen im LHC von nun an stärker fokussiert. Ziel ist es, mehr Kollisionen zu erlangen, die von den Experimenten aufgezeichnet und untersucht werden können.

### 6) KLEINERE ABER HÄUFIGERE PROTONEN PAKETE

Die Anzahl der Protonen pro Paket wird reduziert. Pro Strahlenpaket sind es nun noch  $1.2 \times 10^{11}$  Protonen und nicht mehr  $1.7 \times 10^{11}$  wie im Jahr 2012. Denn wenn Dutzende Kollisionen gleichzeitig stattfinden, wird es für die Detektoren schwieriger zu entwirren, welches Teilchen welcher Kollision zuzuordnen ist. Mit weniger Protonen pro Kollision wird dieses Problem verringert. Die kleineren Teilchenpakete werden nun jedoch einen Abstand von 25 Nanosekunden statt wie bisher 50 Nanosekunden haben. Der LHC wird dadurch letztendlich mehr Protonen transportieren und es wird noch mehr Kollisionen geben, die die Experimente untersuchen können.

### 7) HÖHERE SPANNUNG

Hochfrequenz-Beschleunigungsstrukturen, die den Teilchen kleine Energieschübe geben, wenn die Teilchen durch sie hindurchfliegen, arbeiten mit erhöhter Spannung, um den Teilchen höhere Energien mitzugeben.

### 8) VERBESSERTERTE TIEFTEMPERATURTECHNIK

Die Dipolmagneten am LHC müssen sehr stark gekühlt werden, damit sie supraleitend sind. Die Tieftemperaturtechnik wurde komplett überarbeitet. Es wurden sowohl Wartungsarbeiten an den Kälte-Kompressoren vorgenommen als auch ein Upgrade des Steuerungssystem und Renovierungsarbeiten an der Kühlanlage.

### 9) STRAHLENRESISTENTE ELEKTRONIK

Die gesamte Elektronik am LHC wurde gewartet und verbessert. Dafür wurden 400.000 Tests durchgeführt und strahlungsresistente Systeme eingebaut.

### 10) VERBESSERTES VAKUUM

Das Innere des Strahlrohrs steht unter Vakuum, damit die Teilchenstrahlen bei ihrem Weg um den Beschleuniger nicht mit Luftmolekülen kollidieren. Jedoch können geladenen Teilchenstrahlen Elektronen von der Innenfläche der Rohre lösen und damit eine sogenannte Elektronenwolke verursachen, die dann wiederum den Teilchenstrahl beeinflusst. Um diesen Effekt zu vermindern, wurde das Innere des Stahlrohres mit einer nicht verdampfenden Getterschicht ausgekleidet, einem Material, das Elektronen bindet. An einigen Stellen wurden zudem Magnetspulen um das Stahlrohr gewickelt, um die Elektronen daran zu hindern, sich von der Innenfläche des Rohres zu lösen.

