Nach dem Higgs ist vor …?

Zehn Jahre nach dem Nachweis des Higgs-Bosons läuft der Large Hadron Collider am CERN auf neuer Rekordenergie.

CERN

Nach drei Jahren Wartung und Upgrade war die Spannung groß, ob am Large Hadron Collider alles wie geplant funktioniert. Die Erleichterung um CERN-Generaldirektorin Fabiola Gianotti war groß, als die neue Rekordenergie von 13,6 TeV erreicht wurde.

„Als Laie würde ich sagen: Wir haben es." – so der damalige CERN-Generaldirektor Rolf-Dieter Heuer am 4. Juli 2012, als die ATLAS- und CMS-Kollaborationen im Rahmen eines großen Kolloquiums ihre neuesten Ergebnisse verkündeten: Sie hatten ein neues Teilchen gefunden, genauer ein Boson mit einer Masse von rund 126 Giga-Elektronenvolt. Heuer bezog sich auf das lange gesuchte Higgs-Boson. Dieses Boson ist mit dem fundamentalen Higgs-Feld verbunden, durch das die Teilchen ihre Masse erhalten und damit unser Universum seine Stabilität.

Das entdeckte Teilchen schien zum Steckbrief für das Higgs-Boson zu passen. Doch Heuers vorsichtige Formulierung war berechtigt, denn noch war unklar, ob es sich um das Higgs-Boson des Standardmodells handelte oder das leichteste einer supersymmetrischen Theorie. Nachdem die Kollaborationen der Detektoren ATLAS und CMS noch 2,5-mal so viele Daten ausgewertet hatten, herrschte Gewissheit: Am 14. März 2013 gab das CERN bekannt, das Higgs-Boson des Standardmodells entdeckt zu haben.[1)]

Peter Higgs und François Englert erhielten 2013 den Nobelpreis für Physik. Die beiden hatten getrennt voneinander 1964 den zugrundeliegenden Mechanismus postuliert – Englert zusammen mit Robert Brout –, mit dem zunächst masselose Teilchen durch Wechselwirkung mit einem Hintergrundfeld Masse erhalten. „Die Entdeckung des Higgs-Bosons war ein monumentaler Meilenstein in der Teilchenphysik. Sie markiert sowohl das Ende einer jahrzehntelangen Forschungsreise als auch den Beginn einer neuen Ära der Erforschung dieses ganz besonderen Teilchens", sagte Fabiola Gianotti, Generaldirektorin des CERN und Projektleiterin des ATLAS-Experiments zum Zeitpunkt der Entdeckung.

Das Higgs-Boson ist gewissermaßen der Schlussstein des Standardmodells der Teilchenphysik und markiert gleichzeitig den dringenden Bedarf für weitere Forschungen. Denn auch wenn sich das Standardmodell bislang bewährt hat, liefert dieses keine Antworten auf die großen Fragen der Physik: Wie lässt sich die Gravitation mit dem Standardmodell vereinen? Wieso ist die Materie-Antimaterie-Symmetrie gebrochen? Woraus besteht Dunkle Materie?

Der Large Hadron Collider (LHC) nahm daher einen Tag nach dem Higgs-Jubiläum rundum erneuert seine Arbeit wieder auf. Der Jubel im Kontrollraum war groß, als der LHC mit der bislang unerreichten Energie von 13,6 TeV lief, um neue Protonenkollisionen zu liefern. Damit die auf vier Jahre angelegte dritte Phase der Datennahme beginnen konnte, waren immerhin drei Jahre Wartung und Ausbau nötig.

So haben die über 1200 Dipolmagnete, die sich über 18 der 27 Kilometer des Beschleunigers erstrecken, verbesserte elektrische Isolierungen der Dioden erhalten. Die Magnete dienen dazu, die Flugbahn der Teilchenstrahlen abzubiegen und werden mit einem starken elektrischen Strom von bis zu 13 000 A betrieben, der bei Bedarf sicher abgeleitet werden muss. Zu weiteren Nachrüstungen zählen das Austauschen von 19 Dipol- und drei Quadrupolmagneten und die Installation der kryogenen Baugruppen für das LHC-Projekt mit hoher Luminosität (HL-LHC) sowie zusätzlicher Instrumente, mit denen sich die durch den Strahl verursachte Wärmebelastung untersuchen lässt. All das soll beim LHC für höhere Energie und Intensität der Teilchenstrahlen und somit für eine höhere Produktionsrate an Kollisionsereignissen sorgen. Dafür wurden auch die Detektorleistungen und die Trigger, welche die besonders interessanten Ereignisse herausfiltern, entscheidend verbessert.

Das wird nicht nur der Suche nach der Bruchstelle im Standardmodell zugutekommen, sondern auch den weiteren Untersuchungen des Higgs-Bosons. Die Messung eines Zerfalls des Higgs-Bosons in Myonen könnte beispielsweise bestätigen, dass auch Teilchen der zweiten Generation durch den Higgs-Mechanismus Masse erhalten. Und auch die Fragen, ob das Higgs-Boson ein fundamentales oder ein zusammengesetztes Teilchen ist und ob es weitere Higgs-Bosonen gibt, gilt es noch zu klären.[2)]

Alexander Pawlak

1) Einen englischer Überblick über die Erkenntnisse zum Higgs-Boson aus zehn Jahren Forschung findet sich auf bit.ly/3dhjvU1, vgl. auch *R. Wolf, K. Köneke* und *H. Rzehak*, Physik Journal, Oktober 2021, S. 42

2) Zu den Erwartungen an den Run 3 des LHC siehe home.cern/press/2022/run-3 (engl.)

© 2022 Wiley-VCH GmbH