

Die offensichtlichste Art und Weise, neue Physik am LHC zu sehen, ist durch die direkte Entdeckung einer oder mehrerer bisher unbekannter Teilchenarten. Dies kann durch die Vermessung von Resonanzen (siehe erster Teil) oder, bei relativ langlebigen Teilchen, durch entsprechende Spuren im Detektor geschehen. Sie können sich aber auch indirekter in Kollisionen bemerkbar machen, zum Beispiel durch fehlenden Impuls (Abschn. 3.2) oder charakteristische Veränderungen von Energie- und Winkelverteilungen, die auf das Mitwirken unbekannter Teilchen schließen lassen. Ebenso gibt es gewisse Konstellationen von Teilchen, die laut Standardmodell nach Kollisionen so gut wie nie auftauchen sollten. Die Experimente ATLAS und CMS sind darauf optimiert, solches zu erkennen.

Mit der Entdeckung eines Higgs-Bosons von 2012 haben sich neue Beobachtungsmöglichkeiten eröffnet, da das Standardmodell für dessen Produktion und Zerfälle genaue Vorhersagen macht, die nun mit Messungen abgeglichen werden. Zum jetzigen Zeitpunkt (02/2016) gibt es hier noch keine statistisch signifikanten Abweichungen (Abb. 2.1), aber auf diesem Gebiet kann mit mehr Daten noch einiges passieren.

Es gibt aber auch einige Zerfallskonstellationen altbekannter Teilchen, die gemäß dem Standardmodell extrem selten oder gar nicht vorkommen sollten. Werden sie beobachtet, ist das eine indirekte, aber zweifelsfreie Entdeckung neuer Physik. Solche Effekte können durch neue Teilchen hervorgerufen werden, deren

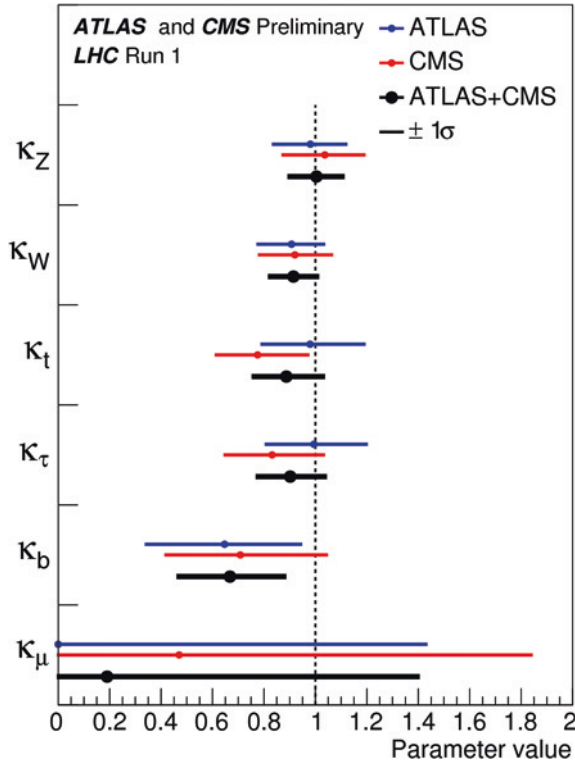


Abb. 2.1 Die Wechselwirkungen des Higgs-Bosons, wie sie im ersten Lauf des LHC vermessen wurden, passen im Rahmen der Mess- und Theoriegenauigkeit gut zur Vorhersage des Standardmodells. Die Zahlen $\kappa_Z \dots \kappa_\mu$ bemessen sechs wichtige Möglichkeiten, wie die Wechselwirkungen des Higgs-Bosons vom Standardmodell abweichen können, wobei der Wert 1 keine Abweichung bedeutet. Gezeigt sind die von den Messungen innerhalb einer Standardabweichung erlaubten Eingabewerte. Dass einer der kombinierten Messwerte leicht außerhalb des 1σ -Intervalls liegt, ist rein statistisch zu erwarten. (Quelle: CERN, Experimente ATLAS und CMS)

virtueller Austausch ansonsten unmögliche Zerfälle vermittelt¹. Im Standardmodell bereits erlaubte Zerfälle könnten durch neue Teilchen einfach ein wenig in ihrer Häufigkeit oder Form beeinflusst werden. Am LHC ist dies die Spezialität des Experiments LHCb. Es ist in seiner Geometrie darauf optimiert, z. B. die Produktion und Zerfälle von B-Mesonen zu studieren. Hier sieht man zurzeit spannende Abweichungen vom Standardmodell, auf die ich in Abschn. 4.3 eingehe.

Exoten

Die oben genannten Phänomene sind in gewissem Sinne konventionell, da Ähnliches im Rahmen der bekannten Physik in der Vergangenheit bereits beobachtet wurde: Seltene Zerfälle und Teilchenkonstellationen sowie fehlender Impuls im Detektor sind für Experimentalphysiker alte Bekannte. Abweichungen vom Standardmodell erkennt man nun daran, dass sie an unerwarteter Stelle oder in unerwartetem Maß auftreten. Darüber hinaus haben sich Theoretiker aber ungewöhnlichere Möglichkeiten überlegt, wie sich neue Physik zeigen kann. So könnten *Quirks* (in Anlehnung an Quarks und engl. quirk = schräge Eigenheit) genannte Teilchenpaare entstehen, die dank einer neuen starken Wechselwirkung über Zentimeter oder gar Meter hinweg wie durch ein Gummiband aus Teilchen verbunden bleiben und sich ein wenig wie die Steine einer Bola durch den Detektor schrauben. Howard Georgi machte vor einigen Jahren die *Unparticles* populär, Feldanregungen, die nicht wie herkömmliche instabile Teilchen als Resonanzen auftreten, sondern ein breites Kontinuum an Schwerpunktsenergien haben können. Sie erwecken am Beschleuniger den paradoxen Eindruck, eine nicht-ganzzahlige Anzahl an Teilchen erzeugt zu haben. Dies sind nur zwei Beispiele von vielen. Wie plausibel es ist, dass solche theoretischen Kuriositäten in der Natur auftreten, ist schwer zu sagen. Überlegungen dieser Art erinnern aber zumindest die Experimentatoren daran, ihre Beobachtungen möglichst breit und vorurteilsfrei durchzuführen und für das Unerwartete gewappnet zu sein. Sie liefern zudem konkrete Inspiration, welche Analysen jenseits des Standardprogramms man noch durchführen sollte, um nichts in den teuer erstandenen LHC-Daten zu übersehen.

¹Ein klassisches Beispiel dafür, das aber nicht in den Bereich der LHC-Physik fällt, ist der Protonzerfall. Das Proton hat im Standardmodell als isoliertes Teilchen unendliche Lebensdauer. In vereinigten Theorien der elektroschwachen und starken Wechselwirkung (*Grand Unified Theories* oder GUTs) treten typischerweise neue Teilchen auf, durch deren Austausch zwei Quarks in ein Lepton und ein Antiquark verwandelt werden. Das würde dem Proton ermöglichen, in Mesonen und Leptonen zu zerfallen. Bisher wurden aber in dedizierten Experimenten wie KAMIOKANE noch keine Zerfälle des Protons nachgewiesen.

Neustart des LHC: neue Physik
Die Teilchenphysik hinter der Weltmaschine
anschaulich erklärt

Knochel, A.

2016, IX, 55 S. 11 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-13906-3