

# MEIN JOB IST DAS ZÄHLEN

## Medien und Massen der CERN-Teilchenphysiker

Am 4. Juli 2012 haben Physiker am Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN) in Genf die Identifizierung eines lang gesuchten Teilchens, vielleicht sogar eines neuen Typs von Teilchen verkündet, des Higgs-Boson. Das Teilchen, das nur für eine sehr kurze Zeitspanne existiert, kann durch die spezifischen Formen seines Zerfalls erkannt werden. Artikel, die vom Erfolg am CERN berichteten, waren illustriert mit sehr schönen Bildern von Protonen-Kollisionen, welche die Spuren zur Identifikation des Higgs-Boson liefern. Ich fragte den Physiker Dr. Olivier Simard, der für einen der Subdetektoren im großen ATLAS-Detektor des Protonenbeschleunigers Large Hadron Collider (LHC) verantwortlich ist, welche Rolle diese Aufnahmen in der Analyse der Ereignisse spielen. Die Antwort war einfach: gar keine. Diese Bilder dienen vor allem PR-Zwecken. Einmal am CERN, wo Tim Berners-Lee das World Wide Web erfand, sprach ich mit Simard über andere Themen wie Sehen, Hören, Messen, Rechnen und die Suche nach dem Unbekannten.

**Olivier Simard** Am CERN rütteln wir an den Grenzen der Wissenschaft und der Teilchenphysik. Wir wissen nicht, was da draußen ist, doch wissen wir mit Sicherheit, dass wir mit den Experimenten sehen werden, was wir nicht wissen. Wir hoffen, Dinge zu vermessen, die wir nicht wissen, und solche, die wir erwarten oder eben nicht erwarten müssen.

Die Forschung hier lässt sich so erklären: Meistens ist unsere Vorstellungskraft sehr viel schneller als unsere Technologie. Wenn jemand eine gute Idee hat, müssen wir sie erst testen und verifizieren. Im Falle des Higgs-Boson ist es die Idee, jenen Prozess, der allen Teilchen Massen gibt, innerhalb des Standard-Modells der Teilchen-Physik zu erklären. Das Higgs-Boson war nicht nur ein Einfall, sondern wurde innerhalb eines Theorierahmens entwickelt.

**Ute Holl** Peter Higgs' grundlegende Idee war, dass es eine Beziehung zwischen Teilchen und Feld gibt.

**O.S.** Ja. Die ständige Interaktion mit dem Feld verlangsamt jedes Teilchen in Hinblick auf Lichtgeschwindigkeit auf unterschiedliche Weise und zeigt damit

die Energie an, die ihm entzogen und in Masse verwandelt wird. Auf diese Weise können wir Elementarteilchen unterscheiden. Für das Higgs-Boson wurde vorausgesagt, dass es, aufgrund eines gewissen gegebenen Bereichs hypothetischer Masse für dieses Teilchen, möglich sein würde, es innerhalb einiger Jahre und in einer kalkulierbaren Anzahl von Ereignissen zu finden.

**U.H. Ist das Standard-Modell der Physik an eine bestimmte Form des Rechnens gebunden? Könnte es eine ganz andere Kalkulations-Technik geben, die das Standard-Modell widerlegt?**

**O.S.** Wir wissen mit Sicherheit, dass das Standard-Modell die Physik so beschreibt, wie wir sie kennen. Alles, was wir messen, kann sehr genau mit dem Standard-Modell vorausgesagt werden. Aber wir wissen nicht, ob sich das Standard-Modell in niedrigen Energieregionen genauso verhält wie in sehr hohen. Am LHC laufen die Experimente auf sehr viel höherem Energieniveau, als es in früheren Collider-Experimenten möglich war. Wir wissen heute noch nicht, was für höhere Skalierungen gilt. Ich spreche über Skalierung, weil wir erklären wollen, was am Anfang des Universums, im Big Bang geschah. Dafür müssen wir die Bedingungen mit dem Standard-Modell simulieren, haben aber Schwierigkeiten, das es auf solch extreme Energiewerte anzuwenden, die es ganz am Anfang der Big-Bang-Phase gab.

**U.H. Ist es Anliegen der Detektoren am CERN, die Kollisionen, die sich weit unterhalb jeder menschlichen Wahrnehmung abspielen, sichtbar zu machen?**

**O.S.** Nein, sicher nicht. Diese farbkodierten Bilder, die unsere Experimente abwerfen, sind sehr schön, aber Experimentieren am CERN heißt nicht, wie es Astronomen und Astrophysiker mit Teleskopen tun, im Weltraum nach Galaxien oder Planeten zu suchen. Obwohl auch sie, ähnlich wie wir am CERN, Informationen jenseits menschlicher Wahrnehmung finden, wenn sie etwa ultra-violette Strahlen analysieren. Wir können beim Fotografieren viel lernen, aber dann müssen wir die Bilder in messbare Zahlen übersetzen.

**U.H. Bis weit in die siebziger Jahre wurden in den Detektoren richtige Fotos von den Photonenkollisionen im LHC gemacht.**

**O.S.** So wurde sogar die Antimaterie nachgewiesen. Man wusste, dass sich Elektronen in einem Feld in einer bestimmten Weise zusammenrollen. Als Experimentatoren ein Teilchen beobachteten, das sich exakt andersherum verhielt, wurde das Phänomen, aufgenommen in einem einzigen Foto, zum Beweis dafür, dass es Anti-Materie in der Natur wirklich gibt. Anti-Materie ist eine Entdeckung der Fotografie, bewiesen an einem einzigen Ereignis.

**U.H. Die Prozedur am LHC ist heute anders.**

**O.S.** Am LHC produzieren wir Protonen in Bündeln, die in bestimmten Frequenzen in sehr hoher Energie im Collider-Ring zirkulieren. Wir lassen sie

in hohen Frequenzen aufeinanderprallen, genau in der Mitte der Detektoren, die an vier Punkten am Ring installiert sind. Jedes Protonenbündel hat eine bestimmte Länge, die nicht als Entfernung, sondern als Zeit gemessen ist: 25 Nanosekunden. Das macht 40.000 Kollisionen pro Sekunde. Daher treffen wir eine Vorauswahl der Ereignisse, die wir für interessant halten, speichern diese auf Computern, die an die Detektoren angeschlossen sind und analysieren sie.

**U.H. Wie funktionieren die Detektoren?**

**O.S.** Wir erhalten ein elektrisches Signal aus einer physikalischen Reaktion, die wir gut kennen. Das ist im Grunde nichts anders als die Aufnahme mit einer Fotokamera, nur eben digitalisiert. Anstelle einer Belichtung des Films mit natürlichem Licht...

**U.H. ... haben Sie einen elektronischen Signaldetektor konstruiert. Wie unterscheiden Sie in ihrer Analyse Signal und Rauschen?**

**O.S.** Der Detektor, an dem ich arbeite, ist so kalibriert, dass er sekundäre Teilchen einfach subtrahiert und das Ereignis durch den Einsatz hoher Voltzahlen am Detektor in ein elektrisches Signal transformiert. Durch tägliches Kalibrieren wird das elektrische Signal in Energie verwandelt.

**U.H. Sie erkennen also das Signal mithilfe der Rechnerprogramme?**

**O.S.** Natürlich gibt es im ATLAS noch andere Sub-Detektoren und wenn wir etwas als ein Signal erkennen, die anderen aber nichts sehen, wird die zentrale Datenverarbeitung entscheiden, dass das Ereignis nicht weiter in Betracht gezogen wird.

**U.H. Sehen heißt also Übersetzung von Energie in Signale und Zahlen...**

**O.S.** ... in Zahlen und messbare Dinge.

**U.H. Wo kommen Sie als Interpretierender der Ereignisse ins Spiel?**

**O.S.** Das Einmessen der Kalibrierungen, der Kontrollmargen und der Arbeitsleistung ist entscheidender Teil der Experimente. Daraus erhalten wir die direkte Übersetzung, wie Sie es nannten, zwischen elektronischem Signal und messbarer Physik.

**U.H. Sie haben es also mit Übersetzungsprozessen zu tun.**

**O.S.** Mit sehr langen Ketten von Übersetzungen, bevor das Ereignis auf der Festplatte zur Analyse vorliegt. Zum Schluss wird die Information durch eine Software, in die alle unsere Kenntnisse über die Funktionsweise des Detektors eingeflossen sind, rekonstruiert zu eigentlichen Teilchen, physikalischen Objekten.

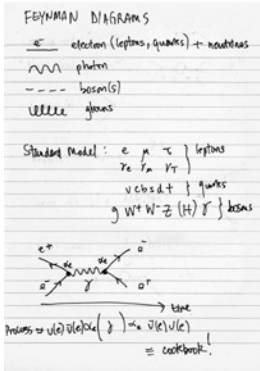
**U.H. Wenn Sie sagen «Teilchen», ist das nur ein Modell für etwas, das geschieht?**

**O.S.** Nein, wir messen die eigentlichen Bauteile. Es geht hier schließlich nicht

um Chemie, Moleküle oder Atome, sondern um grundlegende Objekte, wie Elektronen, Protonen, Neutronen.

**U.H. Was ist ein Ereignis?**

**O.S.** Ein Ereignis wird durch den Schnappschuss definiert, den wir machen.

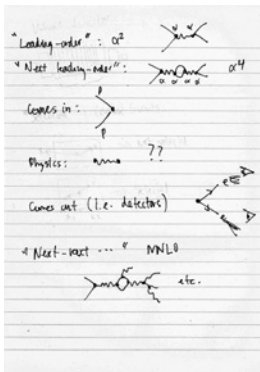


**U.H. Ein Ereignis erhält man dann, wenn man eine Aufnahme macht, Information einsammelt?**

**O.S.** Natürlich gibt es auch Ereignisse, die nicht aufgezeichnet werden, das heißt nicht, dass sie nicht passiert sind.

**U.H. Sichern Sie nur solche Ereignisse, die Sie interessant finden?**

**O.S.** Das Higgs-Boson, an dem ich forsche, zerfällt nach der Theorie in verschiedene Formen und liefert entsprechend unterschiedliche Signale. Daher halten wir Ausschau nach einem Paar Photonen oder nach vier Elektronen oder vier Myonen, denn das Modell sagt vorher, dass das Boson auf diese Weise zerfällt. Ich schaue mir nur die gefilterten Daten an. Nachdem hunderte von Leuten an der Software gearbeitet haben, vertrauen wir dieser Prozessierung und Transformation der Signale in Physik, denn sie repräsentieren unsere besten Messergebnisse, obwohl sie natürlich auch mit einer gewissen Unsicherheit verbunden sind.



**U.H. Unsicherheit?**

**O.S.** Jedes Messgerät hat inhärente Rasterungen, die mit dem Gerät zusammenhängen. Das ist eine Quelle der Unsicherheit. Nicht aufgrund der eigentlichen Rechengvorgänge werden die Messungen ungenau, sondern aufgrund des dem Detektoren inhärenten Verhaltens.

**U.H. In welcher Form schauen Sie sich die Daten an?**

**O.S.** Als Bites auf einer Festplatte.

**U.H. Was sehen Sie da?**

**O.S.** Was ich von den Teilchen sehe, lässt sich mit einem MP3-Format in der Musik vergleichen. Man braucht die richtige Software, um etwas wahrzunehmen. In diesem Fall konvertiert die Software die Daten in physikalische Objekte. Diese Software wird extrem streng getestet. Wir haben Leute, die darauf spezialisiert sind, schlechte Ereignisse zu simulieren und die Software darüber laufen zu lassen, um zu sehen, was passiert.

Die ausgedruckten Diagramme von einzelnen beobachtbaren Ereignissen vergleichen wir zuerst mit der Simulation des physikalischen Szenarios, das wir suchen, dann mit Simulationen von Prozessen, die wir nicht unbedingt wollen, aber die so ähnlich aussehen wie die Physik, die wir suchen. Daher landen sie in der Gruppe der von uns zu analysierenden Beispiele. Erst wenn die simulierten

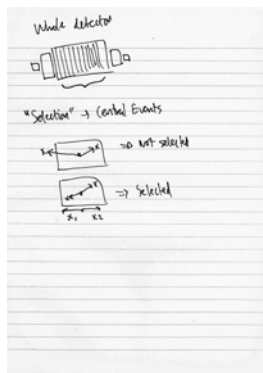


Abb. 1-3 Feynman-Diagramm, Skizze von Olivier Simard

Einheiten mit den Daten, die wir haben, exakt korrespondieren, wissen wir, dass wir das richtige Modell haben, um die Daten zu beschreiben.

Die Theorie des Standard-Modells kann alle Prozesse beschreiben, die wir beobachten können. Um das Higgs-Boson zu finden, versuchen wir, einen bestimmten Teil der Theorie an allem zu testen, was wir bis heute wissen. Dieses neue Teil, das Higgs-Boson, zeigt sich nur in einer sehr kleinen Anzahl von Ereignissen und diese können sehr genau simuliert werden.

Um ein höchst unwahrscheinliches Higgs-Ereignis im ATLAS-Detektor zu produzieren, braucht man eine extrem hohe Anzahl von Kollisionen und von diesen werden nur sehr wenige interessant sein. Daher die große Kollisionsanlage, das CERN, die Expertise von vielen Wissenschaftlern und die Menge schneller elektronischer Rechner. Selbst wenn alles geklappt hat, müssen Physiker auf der User-Seite, wie ich, eine extrem große Zahl von Ereignissen durchschauen. Die Daten werden auf der ganzen Welt bearbeitet, sonst wäre es schwierig, die Analyse durchzuführen. Stellen Sie sich vor, wie das in den 60ern oder 70ern war, als es noch keine Computer gab. Damals machten sie Fotos, es war schwierig, das richtige Foto zum richtigen Zeitpunkt zu machen und das auch noch sehr oft zu wiederholen. Und dann diese ganzen Bilder per Hand zu analysieren ... unmöglich. Aber sie haben das so gemacht.

**U.H. Sie sprechen stets vom «Anschauen» der Ereignisse ... gab es je den Versuch, sie akustisch zu untersuchen?**

**O.S.** Nicht hier, aber in anderen Laboren beobachtet man sehr kleine Schwingungen in Flüssigkeiten und benutzt diese Signale für eine neue Physik. Man könnte sich diese Schwingungen als Klang vorstellen, aber sie sind natürlich zu tief für Menschenohren. Daher benutzen auch diese Experimente Detektoren, genau wie wir und sagen nicht, dass sie Ereignisse «hören», sondern dass sie sie «anschauen», denn es kommt ja alles vom Computerbildschirm.

**U.H. Könnten Sie erklären, warum das Higgs-Boson so wichtig ist?**

**O.S.** Im Standard-Modell, wie es heute besteht ...

**U.H. Das Standard-Modell ist ein universelles Modell für die Teilchenphysik ...**

**O.S.** Naja, wir versuchen ja nicht das Universum zu erklären, sondern die Interaktion elementarer Partikel. Wir glauben, alle Bausteine, die Elementarteilchen und die vier Kräfte, die das Standard-Modell konstituieren, zu kennen: starke und schwache Kräfte, das elektromagnetische Feld und die Schwerkraft, die aber noch nicht richtig reinpasst. Im Standard-Modell fehlt nur ein Teil, das mit dem Higgs-Boson erklärt wird, ein Feld oder Partikel, das mit allen anderen interagiert und ihnen dadurch Masse gibt. Masse erscheint als eine Art von Widerstand. Partikel bewegen sich nicht durch leeren Raum, sondern durch etwas, das wir für leeren Raum halten, wo aber genau das Higgs-Boson aktiv ist.

**U.H. Warum lässt es sich so schwer entdecken?**

**O.S.** Das Higgs-Boson existiert nur ganz kurz, zerfällt dann in andere Teile und das beobachten wir im Detektor.

**U.H. Haben Sie manchmal das Gefühl, in die Materie selbst hineinzuschauen?**

**O.S.** Nein. Wenn man Ereignisse anschaut oder Daten auf dem Computer, kann man nie mit Sicherheit sagen, dass etwas ein Higgs-Boson-Ereignis darstellt. Bei öffentlichen Statements oder auf Pressekonferenzen sprechen wir daher immer von Kandidaten: «Das ist die Signatur, die ich suchte!» Mehr nicht. Es ist sehr schön, man könnte noch viele Adjektive dafür erfinden, aber im Bild wird man niemals sehen, wie ein Detektor gerade ein Higgs misst.

**U.H. Gibt es überhaupt Bildformen, die für Sie nützlich sind?**

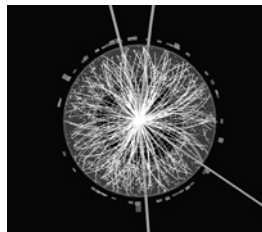
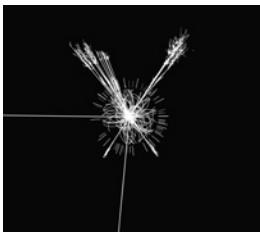
**O.S.** Die Feynman-Diagramme sind immer noch die intuitivsten Werkzeuge für Teilchenphysiker. Sie schreiben vor, wie der gegebene Input, der Output und die Physik dazwischen verrechnet werden müssen. Den hübschen Bildern des Colliders fehlt alles Intuitive. Wir sehen den Output, aber nicht, welche physikalischen Prozesse dem zugrunde liegen könnten. Auch wenn man eine bestimmte Analyse anwendet, gibt es immer noch sehr viele Möglichkeiten, zu dem oder jenem schönen Bild zu kommen.

**U.H. Die Bilder sind also nicht gerade operativ.**

**O.S.** Mein Job, und hier spreche ich für eine ganze Generation von Teilchenphysikern, ist das Zählen. Auf der einen Seite gibt es das Modell, auf der anderen die Daten. Wir zählen. Wenn Diskrepanzen auftreten, müssen wir die erklären. In diesem Fall gab es eine sehr glückliche Diskrepanz, denn wir können sagen, ohne die Annahme des Higgs-Bosons funktioniert das Modell nicht. Also muss es das Higgs-Boson geben, oder ein Teilchen, das ziemlich genauso aussieht.

**U.H. Vielen Dank für das Gespräch, Dr. Simard.**

---



**Abb. 4/5** «Higgs Candidate Events» und »Simulated Higgs boson«, Atlas Experiment, CERN