

Schweizer Familie | Wissen | 2. Mai 2008

## Abenteuerreise ins Unbekannte

*Was ist unmittelbar nach dem Urknall passiert? Wie ist die Welt zu dem geworden, was sie ist? Tausende Physiker am Forschungszentrum Cern in Genf machen sich mit dem grössten Teilchenbeschleuniger auf die Jagd nach den kleinsten Partikeln.*

Felicitas Pauss legt den Kopf in den Nacken und lässt ihren Blick über den Koloss aus Detektorelementen und Kabelbündeln schweifen. «Schön ist er, nicht wahr?», sagt sie und strahlt. Die ETH-Professorin für Teilchenphysik steht in einer riesigen Kaverne rund 100 Meter unter dem Erdboden. Vor ihr thront eine Apparatur, die mit 12 500 Tonnen schwerer ist als der Eiffelturm. Compact Muon Solenoid heisst das gewaltige Gerät, kurz CMS. Es ist Teil einer gigantischen neuen Anlage im europäischen Laboratorium für Elementarteilchenphysik Cern bei Genf. Noch ist der CMS nicht in Betrieb. Doch in wenigen Monaten ist es so weit: Im Untergrund zwischen dem französischen Jura und dem Genfersee soll eines der grössten Experimente aller Zeiten starten. Tausende von Physikern aus der ganzen Welt werden versuchen, ins Innere der Materie zu schauen und zu ergründen, was die Welt zusammenhält.

Die Frage, woraus die Welt gebaut ist, beschäftigt die Menschheit sei jeher. Der altgriechische Philosoph Demokrit hatte die bestechende Idee, dass alle Dinge des Universums aus kleinsten Bestandteilen aufgebaut sein müssen, die nicht weiter aufgespaltet werden können. Er nannte diese Teilchen «Atomos» nach dem griechischen Wort für «unteilbar». Chemiker und Physiker griffen dieses Konzept immer wieder auf, doch erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelten sie eine genauere Vorstellung von diesen kleinen Teilchen. Der britische Physiker Ernest Rutherford entdeckte, dass die scheinbar unteilbaren Atome aus noch kleineren Teilchen zusammengesetzt sind: aus einem Kern und Elektronen, die den Kern umgeben. Später stellte sich heraus, dass sich der Atomkern noch weiter zerlegen lässt: in Protonen und Neutronen. Und sogar diese sind wieder aus kleineren Teilchen zusammengesetzt, den sogenannten Quarks. Elektronen und Quarks sind zwei Beispiele von sogenannten Elementarteilchen, den Grundbausteinen der Materie.

Mittlerweile haben die Physiker eine Reihe weiterer solcher unteilbarer Punkte entdeckt. Insgesamt stehen auf ihrer Liste heute zwölf Arten von Teilchen, welche die Materie ausmachen, sowie eine Hand voll sogenannter Feldteilchen, welche für die Übertragung von Kräften zuständig sind. Dieses ganze Sammelsurium von kleinsten Teilchen lässt sich wunderbar in einem einzigen physikalischen Modell unterbringen, dem Standardmodell der Teilchenphysik. «Dieses mathematische Modell beschreibt die Grundbausteine aller Materie und die Kräfte, die zwischen diesen Grundbausteinen wirken», erklärt Felicitas Pauss. Doch die Theorie hat einen Schönheitsfehler: Sie vermag nicht zu erklären, warum alle Materie eine Masse hat. Warum sind Dinge schwer? Und warum sind gewisse Teilchen schwerer als andere?

Um diesen Makel des Standardmodells zu beseitigen, fand der schottische Physiker Peter Higgs vor über 40 Jahren folgende Notlösung: Er behauptete, es müsse ein weiteres Elementarteilchen geben, das sich bislang verborgen gehalten hat und allen Grundbausteinen ihre Masse verleiht. Die meisten Physiker halten Higgs' Theorie für plausibel – nur nachweisen konnte den geheimnisvollen Winzling bisher niemand.

Die Monstermaschine CMS soll das Problem nun richten: Das Higgs-Teilchen aufzuspüren, mit dem das Weltbild der Physiker steht und fällt, ist eine seiner Hauptaufgaben. Physikprofessorin Pauss – eine von fast 3000 Wissenschaftlern aus aller Welt, die mit dem CMS arbeiten werden – ist zuversichtlich: «Wenn es das Teilchen gibt, werden wir es finden.»

Mit dem CMS allein lässt sich noch kein Higgs-Teilchen einfangen. Dafür braucht es zuerst einmal einen sogenannten Teilchenbeschleuniger. Large Hadron Collider (LHC) heisst das Prachtstück am Cern – frei übersetzt: grosser Atomkern-Beschleuniger. Er ist der grösste und leistungsstärkste Teilchenbeschleuniger der Welt und das Kernstück der neuen Cern-Anlage.

Der LHC ist eine Art Rennstrecke für Protonen. In einem kreisförmigen, 27 Kilometer langen unterirdischen Tunnel sind zwei gegenläufige Röhren installiert, in denen die kleinen Teilchen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit im Kreis herum rasen. Die Protonen umlaufen den Ring dabei über 11 000-mal pro Sekunde. Tonnenschwere supraleitende Elektromagnete halten die Teilchen auf ihrer Kreisbahn. Damit die Magnete diese Leistung vollbringen können, werden die Magnetspulen mit flüssigem Helium auf minus 271 Grad Celsius abgekühlt. So ist die Röhre im Cern einer der kältesten Orte im ganzen Sonnensystem.

### **Wie kurz nach dem Urknall**

An vier Stellen des Ringes laufen die beiden gegenläufigen Rennbahnen zusammen. Einige der Teilchenpakete krachen deshalb frontal zusammen. Tausende von neu entstandenen Partikeln stieben in alle Richtungen davon. Der Aufprall ist so heftig, dass der Zustand einem Moment ganz kurz nach dem Urknall ähnelt.

Was genau bei einem solche Crash passiert, ist für Nichtphysiker schwer vorstellbar. Der amerikanische Wissenschaftsautor Jim Holt vergleicht das Geschehen mit dem Zusammenstoss zweier Wassermelonen: «Stellen Sie sich einen Zusammenstoss zweier Wassermelonen bei hoher Geschwindigkeit mitten in der Luft vor. Es gäbe eine rechte Sauerei, aber es käme nichts sonderlich Interessantes heraus.» Doch im Mikrokosmos kämen eben besondere Gesetze zum Spielen: Laut Albert Einstein kann sich die Energie des Zusammenstosses nämlich in Masse umwandeln und umgekehrt. So entstehen bei der Kollision von Protonen neue Teilchen. «Es ist so», schreibt Holt, «als würden die zwei Wassermelonen zerplatzen und sich in einen Regen von Ananas, Blaubeeren, Mangos und anderen exotischen Früchten verwandeln.»

Die Physiker hoffen natürlich, in diesem Fruchtsalat nicht nur auf altbekannte, sondern auch auf nie gesehene Teilchen zu stossen. Zum Beispiel auf das Higgs-Teilchen. Damit möglichst kein Partikel unbeobachtet entweichen kann, steht an jeder der vier Kollisionsstellen im Ring ein riesiger Detektor, der den Teilchenschauer aufzeichnet. Der CMS, der Stolz von Felicitas Pauss, ist einer von ihnen.

Der CMS-Detektor besteht wie eine Zwiebel aus verschiedenen Schalen. «Jede dieser Schalen hat ihre besondere Aufgabe beim Aufspüren der verschiedenen Teilchen», erklärt Pauss. Insgesamt enthält der CMS 100 Millionen Einzelmesserelemente, die den Wissenschaftlern ermöglichen, die neu entstandenen Partikel zu identifizieren und ihre Energien und Impulse genau zu messen. Pro Sekunde dürften sich im LHC bis zu 600 Millionen Teilchenkollisionen ereignen. Daraus filtert das System automatisch die 100 interessantesten Zusammenstösse heraus, deren Daten es wert sind, gespeichert und weiter analysiert zu werden. Die Datenmengen, welche die Anlage produziert, bleiben gigantisch genug. «Würden die Daten aus allen vier Detektoren auf CDs gespeichert, ergäbe sich jedes Jahr ein CD-Stapel von 20 Kilometer Höhe», sagt Felicitas Pauss. Da die Datenmassen so enorm sind, werden sie zum Rechnen und Speichern auf Computerzentren in der ganzen Welt verteilt.

In der ganzen Datenflut suchen die Physiker nicht nur nach dem mysteriösen Higgs-Teilchen. Auch in anderen ungelösten Fragen zum Ursprung der Materie und zu den grundlegenden Kräften der Natur erhoffen sich die Forscher Antworten (siehe Box): Was ist kurz nach dem Urknall passiert? Wie ist die Welt zu dem geworden, was sie ist? Warum besteht ein grosser Teil des Universums aus dunkler Materie und woraus besteht diese? Warum blieb nach dem Urknall nur Materie und keine Antimaterie übrig? Gibt es neben den drei Dimensionen des Raums, wie wir sie kennen, noch weitere?

Um solch grundlegenden Fragen auf die Spur zu kommen, ist grosses Geschütz nötig. Fast zehn Jahre hat der Bau der neuen Anlage gedauert. Allein der Teilchenbeschleuniger LHC kostete rund vier Milliarden Franken, und sein Betrieb wird pro Jahr weitere 600 Millionen Franken verschlingen. Dazu kommen die Kosten für die Detektoren und die Datenanalyse. Kein Land könnte sich das alleine leisten. Die Ausgaben werden aufgeteilt zwischen den 20 Mitgliedstaaten der Europäischen Organisation für Kernforschung, zu denen auch die Schweiz gehört, und rund 40 weiteren Staaten, welche die Anlage mitbenützen. Insgesamt sind über 10 000 Ingenieure und Wissenschaftler aus allen Kontinenten an dem Riesenprojekt beteiligt. Auch wenn die Grundlagenforschung am Cern auf Laien reichlich abstrakt wirkt, gehen aus den Arbeiten der Teilchenphysiker immer wieder praktische Anwendungen hervor.

## World Wide Web - eine Cern-Erfindung

«Die Technik der Teilchendetektoren steckt heute unter anderem in medizinischen Geräten, zum Beispiel in PET-Scannern», sagt ETH-Professorin Pauss. Eine der bekanntesten Erfindungen des Cern ist das World Wide Web. Es sollte ursprünglich schlicht den Austausch zwischen Wissenschaftlern in verschiedenen Ländern der Erde vereinfachen. Heute ist es aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Wenn alle Tests glatt verlaufen, geht der neue Teilchenbeschleuniger am Cern noch diesen Sommer in Betrieb - für Felicitas Pauss der Beginn einer Abenteuerreise ins Unbekannte. Bis zu den ersten wichtigen Entdeckungen werden wahrscheinlich noch einige Jahre vergehen. Doch für Pauss lohnt sich die Geduld allemal: «Niemand weiss genau, was wir finden werden», sagt sie. «Aber ich bin sicher: Wie die Ergebnisse auch ausfallen mögen, sie werden uns helfen zu verstehen, weshalb die Welt so ist, wie sie ist.»

Box:

### Die wichtigsten Fragen, die die Physiker beschäftigen

#### *Warum haben Teilchen eine Masse?*

Bis heute ist ein Rätsel, weshalb Teilchen unterschiedlich schwer sind. Als Antwort auf diese Fragen sagen die Theorien der Physiker ein noch unbekanntes Teilchen voraus: das Higgs-Teilchen. Es könnte allen Teilchen und damit auch uns selbst die Masse verleihen. Falls das Higgs-Teilchen wirklich existiert, werden die neuen Detektoren des Cern es nachweisen können. Falls nicht, müssen die Physiker über die Bücher und ihre bisherigen Vorstellungen über die Materie und ihre kleinsten Teilchen revidieren.

#### *Was hat sich kurz nach dem Urknall abgespielt?*

Mit dem neuen Teilchendetektor können die Physiker am Cern Bedingungen schaffen, die herrschten, als unser Universum ein Hundertstel einer Milliardstelsekunde alt war. Daraus ergeben sich neue Erkenntnisse zum Wesen der Materie und zu den Kräften, die das Universum seit dem Beginn der Zeit geformt haben.

#### *Was ist dunkle Materie?*

Die Materie, die wir kennen, also alles, was aus Atomen aufgebaut ist, macht nur einen kleinen Teil der Materie des Universums aus. Der Rest besteht aus einer noch unbekanntem Art Materie. Physiker nennen sie dunkle Materie. Mit der neuen Anlage wollen die Forscher untersuchen, woraus diese dunkle Materie besteht.

#### *Warum haben sich nach dem Urknall Materie und Antimaterie nicht gegenseitig ausgelöscht?*

Ganz zu Beginn des Universums existierten Materie und Antimaterie zu gleichen Teilen. Sobald ein Materie-Teilchen und ein entsprechendes Antimaterie-Teilchen zusammentreffen, zerstrahlen sie in Energie. Trotzdem haben sich Materie und Antimaterie nach dem Urknall nicht völlig gegenseitig vernichtet. Etwas Materie ist übrig geblieben, und Galaxien, unser Sonnensystem, die Erde, wir selbst sind entstanden. Also müssen doch kleine Ungleichheiten zwischen Materie und Antimaterie bestehen. Diese Unterschiede wollen die Physiker genauer erforschen.

#### *Gibt es mehr als oben und unten, hinten und vorn, links und rechts?*

Wir alle kennen aus dem Alltag die drei Dimensionen des Raums, in denen wir uns bewegen. Unter den Physikern kursiert jedoch die irrwitzige Idee, dass womöglich noch weitere Raumdimensionen existieren, die wir bloss noch nicht bemerkt haben. Die Wissenschaftler haben zum Beispiel eine Theorie ausgetüftelt, die endlich alle vier fundamentalen Kräfte der Natur unter einem Dach vereinen würde. Doch funktioniert diese Theorie nur dann, wenn es anstatt der bekannten drei räumlichen Dimensionen deren neun gäbe.

Tipp:

### Ausstellung fürs Publikum

Am Cern in Genf kann eine interaktive Ausstellung besucht werden. Erreichbar mit Bus Nr. 9. Mo bis Sa von 9 bis 17.30 Uhr. Eintritt frei. Auch geführte Touren, aber nur nach Voranmeldung: [visits.service@cern.ch](mailto:visits.service@cern.ch)