

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 81 (2023)

Heft: 3

Artikel: CERN : auf der Suche nach den letzten Elementarteilchen

Autor: Schulthess, Elias von

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1049493>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

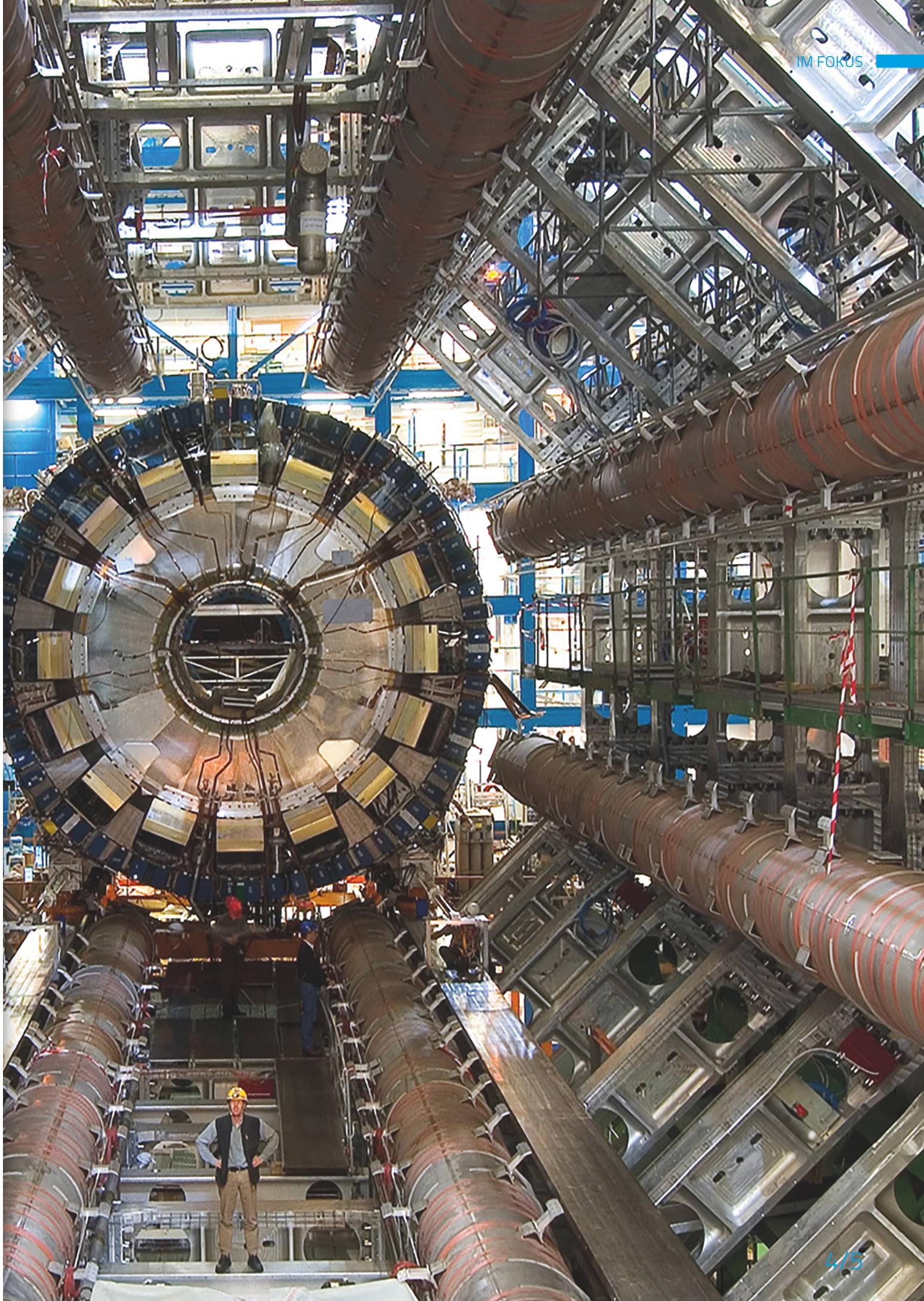
Das CERN in Genf zählt zweifellos zu den herausragendsten Forschungsinstituten weltweit und gilt insbesondere im Bereich der Teilchenphysik als unangefochtener Vorreiter. Hier wurden wegweisende Entdeckungen wie diejenige des Higgs-Boson-Teilchens und die Geburtsstunde des World Wide Web verzeichnet. Nach einer umfangreichen Wartungspause nahm das Herzstück der Einrichtung, der «Large Hadron Collider», im Sommer 2022 mit beeindruckenden Verbesserungen seine Arbeit wieder auf. Gepaart mit neuen Wissenschaftstalenten steht den Teilchenwissenschaften eine aufregende Zukunft bevor.

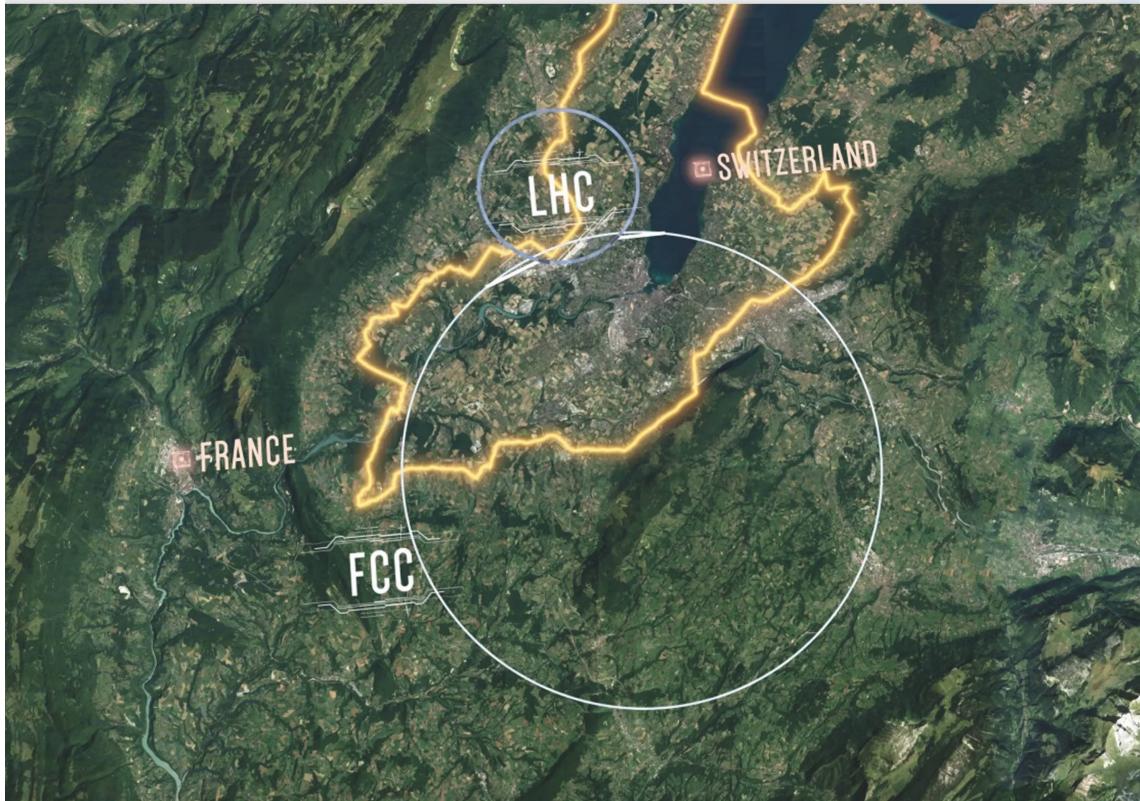
CERN – Auf der Suche nach den letzten Elementarteilchen

von Elias von Schulthess

ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) ist der grösste Teilchendetektor, der jemals an einem Beschleuniger gebaut wurde: Er ist etwa so gross wie ein fünfstöckiges Haus. ATLAS erforscht ein breites Spektrum physikalischer Phänomene. Beispiele sind die präzise Vermessung der Eigenschaften des Higgs-Teilchens, Präzisionstests des Standardmodells der Teilchenphysik oder die Suche nach neuen Teilchen und Phänomenen.

Bild: CERN





Der Future Circular Collider FCC ist noch Zukunftsmusik. Ab dem Jahr 2030 soll mit dem Bau eines 100 Kilometer langen Tunnelrings begonnen werden, der ab 2040 einen Elektronen-Positronen-Beschleuniger beherbergen soll.

Quelle: CERN

Im Zentrum der europäischen Wissenschaft und Forschung steht eine Institution, die seit ihrer Gründung im Jahr 1954 die Grenzen unseres Wissens immer weiter auslotet: Das CERN, die Europäische Organisation für Kernforschung. Als eines der grössten und bedeutendsten Forschungszentren weltweit hat das CERN nicht nur bahnbrechende Entdeckungen gemacht, sondern auch die Grundlagen der modernen Physik massgeblich mitgeprägt. In den weitläufigen Anlagen nahe Genf, an der Grenze zwischen der Schweiz und Frankreich, arbeiten Tausende von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus aller Welt daran, die Geheimnisse des Universums zu lüften. Mit seinem Flaggschiff, dem Large Hadron Collider (LHC), einem 27 Kilometer langen unterirdischen Teilchenbeschleuniger, hat das CERN weltweit für Aufsehen gesorgt und neue Massstäbe in der Forschung gesetzt. Doch das CERN ist weit mehr als nur der LHC. Hier werden Experimente durchgeführt, um fundamentale Fragen zur Natur der Materie und des Universums beantworten zu können. Dabei geht es um Themen wie Dunkle Materie, das Higgs-Boson und mögliche neue Teilchen jenseits des Standardmodells der Physik. Die Forschung am CERN hat das Potenzial, unsere grundlegenden Vorstellungen von Raum, Zeit und Energie zu revolutionieren.

WISSENSCHAFT HAT KEINE NATIONALITÄT

Die Geschichte des CERN reicht bis in die Nachkriegszeit des Zweiten Weltkriegs zurück, als Europa den Wiederaufbau vorantrieb und gleichzeitig den Blick auf neue wissenschaftliche Herausforderungen richtete. Im Jahr 1952 entstand die Idee einer europäischen Organisation für Kernforschung, um die Zusammenarbeit der europäischen Nationen in diesem Bereich zu fördern. Zwei Jahre später wurde das CERN offiziell gegründet. Anfangs waren es nur zwölf Mitgliedsstaaten, die sich dem CERN anschlossen.

Wie funktioniert ein Teilchenbeschleuniger?

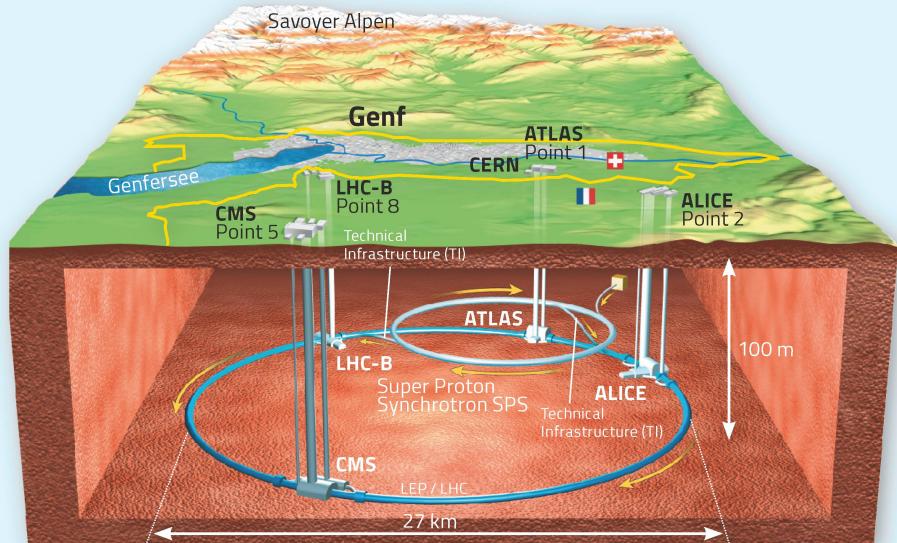
Das Prinzip besteht darin, dass geladene Teilchen durch elektrische Felder

beschleunigt und durch magnetische Felder auf eine Kreisbahn gezwungen werden, wobei sich die Stärke der magnetischen Felder mit zunehmender Geschwindigkeit der Teilchen vergrössern muss. Eine solche Anordnung wird als Synchrotron bezeichnet. Geladene Elementarteilchen oder Ionen können darin auf sehr hohe (relativistische) Geschwindigkeiten beschleunigt werden, wodurch sie sehr hohe kinetische Energien erhalten. Am CERN wird physikalische Grundlagenforschung betrieben, insbesondere wird mit Hilfe des grössten je gebauten Teilchenbeschleunigers der Aufbau der Materie erforscht. Die Teilchen werden in mehreren Umläufen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und mit extrem hoher kinetischer Energie zur Kollision gebracht. Am CERN wurden 2008 erstmals Protonen in den LHC geschossen, doch noch vor der ersten Kollision musste die Anlage aufgrund eines technischen Problems vorzeitig abgeschaltet werden. Ende März 2010 gelang es erstmals, Protonen mit einer Rekordenergie von jeweils 3.5 TeV (also insgesamt 7 TeV) aufeinandertreffen zu lassen.

Eine Sensation war der Nachweis des vom britischen Physiker Peter Higgs postulierten Higgs-Bo-

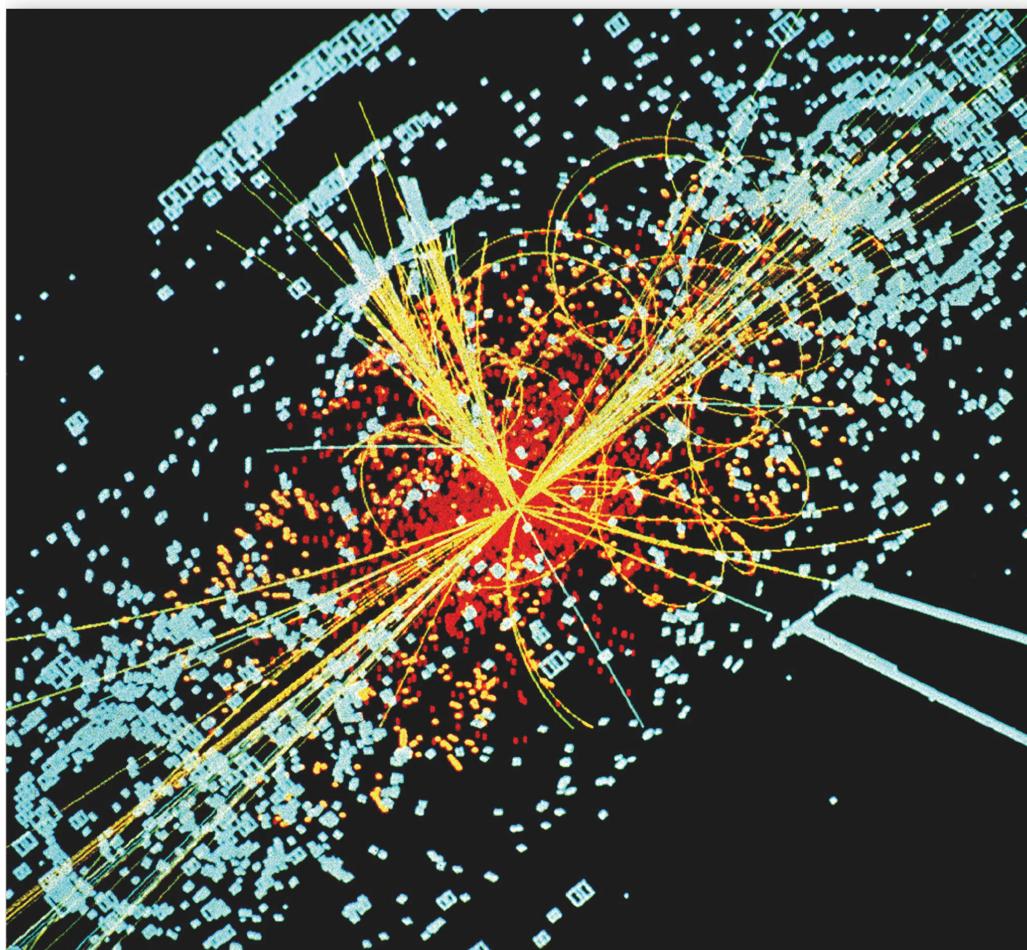
sens. Das Higgs-Teilchen wurde bereits 1960 vermutet, konnte aber erst 2012 am CERN experimentell nachgewiesen werden. Higgs und der belgi-

sche Physiker François Englert erhielten für die theoretische Entwicklung des Higgs-Mechanismus 2013 den Nobelpreis für Physik.



Darstellung des LHC inklusive der vier Detektoren ALICE, ATLAS, CMS und LHC-Bb.

Quelle: Philippe Mouche, CERN



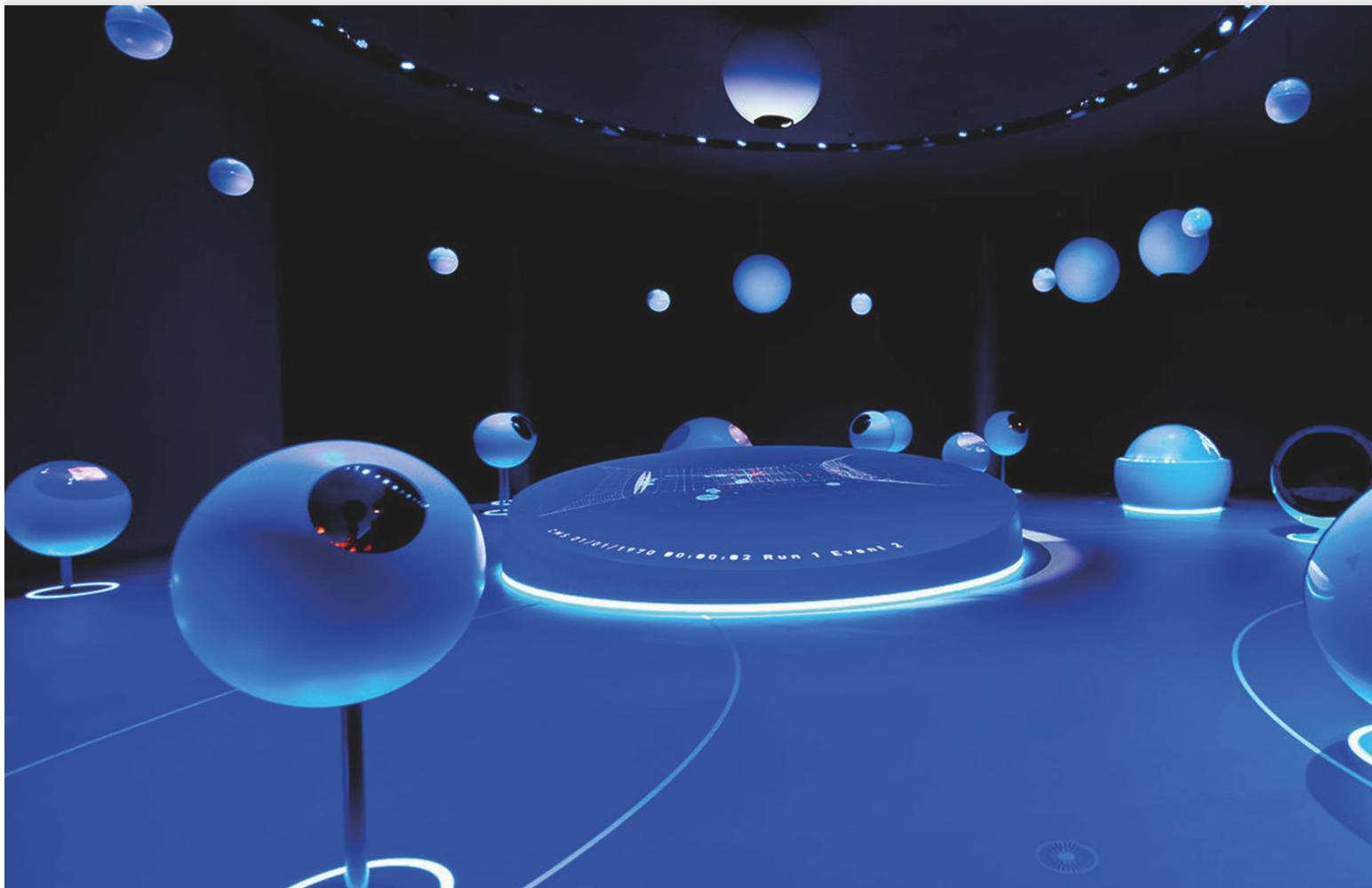
Was wie ein abstraktes Kunstwerk anmuten mag, ist in Wirklichkeit eine simulierte Detektion von Teilchen nach Protonenkollisionen im LHC.

Bild: CERN

sen, darunter Belgien, Dänemark, Westdeutschland, Frankreich, Griechenland, Italien, die Niederlande, Norwegen, Schweden, die Schweiz, Spanien und das Vereinigte Königreich. Heute zählt das CERN 23 Mitgliedsländer und eine Vielzahl von Partnerländern auf der ganzen Welt, die sich an den Forschungsaktivitäten beteiligen. Schon in den Anfangsjahren zeigte das CERN sein Streben nach Spitzenleistungen und Innovationen. 1959 wurde der *Proton Synchrotron* (PS) in Betrieb genommen, der damals der grösste Teilchenbeschleuniger der Welt war. In den folgenden Jahrzehnten baute das CERN seine Forschungsinfrastruktur kontinuierlich aus und schuf modernste Experimentieranlagen, darunter der *Super Proton Synchrotron* (SPS) und schliesslich den *Large Electron-Positron Collider* (LEP). Der Höhepunkt der bisherigen Erfolgsgeschichte des CERN kam im Jahr 2008, als der *Large Hadron Collider* (LHC) in Betrieb genommen wurde. Mit einer gigantischen Ringstrecke von 27 Kilometern ermöglicht der LHC die Kollision von Protonen mit bislang unerreichter Präzision. Das CERN ist nicht nur für seine herausragende wissenschaftlichen Errungenschaften bekannt, sondern auch für seine offene und kollaborative Arbeitskultur. Es hat massgeblich zur Entwicklung des World Wide Web beigetragen, indem es die Grundlagen für den Datenaustausch zwischen Wissenschaftlern legte.

DAS FLAGGSCHIFF ALLER FLAGGSCHIFFE

Mit ihren aktuell neun Teilchenbeschleunigern haben die Forschenden am CERN ein riesiges Arsenal an Geräten und Beschleunigern, mit denen sie die Elementarphysik tagtäglich auf den Kopf stellen. Doch was machen Teilchenbeschleuniger eigentlich? Und wieso ist der Large Hadron Collider ein derart wichtiges Portal zur Welt der Elementarteilchen? Mit einer Kollisionsenergie von 14 TeV (Teraelektronenvolt) schafft er es, die Teilchen auf 99.9999991 % der Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen. Zusam-



«WIR HABEN AN DER OBERFLÄCHE GEKRATZT. ABER WIR HABEN OFFENSICHTLICH NOCH VIEL MEHR ZU ENTDECKEN.» PETER HIGGS, BRITISCHER THEORETISCHER PHYSIKER

men mit seiner beeindruckenden Länge von 26.7 Kilometern macht ihn das zum leistungsstärksten und grössten Teilchenbeschleuniger der Welt.

Die Hauptaufgabe des LHC besteht darin, Hadronen (unter anderem Protonen und Neutronen) oder Bleionen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit zu beschleunigen und dann in präzis kontrollierten Kollisionen aufeinandertreffen zu lassen. Diese Kollisionen ermöglichen es den Wissenschaftlern, die entstehenden Teilchen und Phänomene zu untersuchen und tiefer in die Geheimnisse des Universums einzudringen. Im Jahr 2018 trat der LHC in eine Phase der Instandhaltung und Aufwartung, die als Long Shutdown 2 (LS2) bekannt war. Während dieser Pause wurden umfangreiche Arbeiten durchgeführt, um den LHC noch leistungsfähiger und präziser zu machen. Diese umfassten die Installation neuer Magnete, die Verbesserung der Kühl- und Vakuumsysteme sowie die Aktualisierung der Detektoren. Nach zwei Jahren Pause kehrte der LHC im Frühjahr 2022 mit erhöhter Leistung zurück.



Nicht nur die Forschenden sind am CERN gut bedient, auch Besucher und Interessierte kommen im Visitor Center und in den Ausstellungen auf ihre vollen Kosten.

Quelle: CERN

Was sind eigentlich Elementarteilchen?

ASTRONOMIE
EINFACH ERKLÄRT!

Aus dem Physik- und Chemieunterricht sind uns Atome und Moleküle noch ein Begriff. Auch Protonen und Neutronen, um die negativ geladenen Elektronen auf unterschiedlichen Bahnen herumschwirren, dürften vielen noch vor dem geistigen Auge erscheinen. Doch was sind denn Elementarteilchen? Vereinfacht erklärt, sind es die kleinsten Teilchen überhaupt, kleiner als Atome und unteilbar. Sie sind die kleinsten Bausteine der Materie. Daher bezeichnet man sie als «subatomar». In der Physik hat man längst eine Vorstellung, wie dieser «Elementarteilchen-Zoo», wie er gelegentlich bezeichnet wird, aussieht oder aussehen könnte. Man spricht auch vom Standardmodell der Teilchenphysik, zu dem die Elementarteilchen «Quarks», «Leptonen», «Eichbosonen» – bei diesen handelt es sich um Wechselwirkungsteilchen – und das Higgs-Boson zählen. Die Physiker vermuten sogar noch weitere Elementarteilchen, doch diese «existieren» erst hypothetisch, denn ein experimenteller Nachweis gibt es (noch) nicht. Sämtliche Materie ist aus den Quarks und Leptonen aufgebaut, während die Eichbosonen wie «Postboten» für die Übermittlung aller Wechselwirkungen zwischen der Materie fungieren. Durch die Interaktion

mit dem Higgs-Boson erhalten die Elementarteilchen ihre Masse. Das Standardmodell umfasst alle Elementarteilchen, die in erster Ebene in **Fermionen** und **Bosonen** unterteilt sind. Die Fermionen werden weiter unterteilt in **Leptonen** und **Quarks**, die jeweils als Paare in drei Generationen auftreten. Es existieren demnach sechs Quarks sowie sechs Leptonen, die sich in ihrer Masse unterscheiden (siehe Schema rechts).

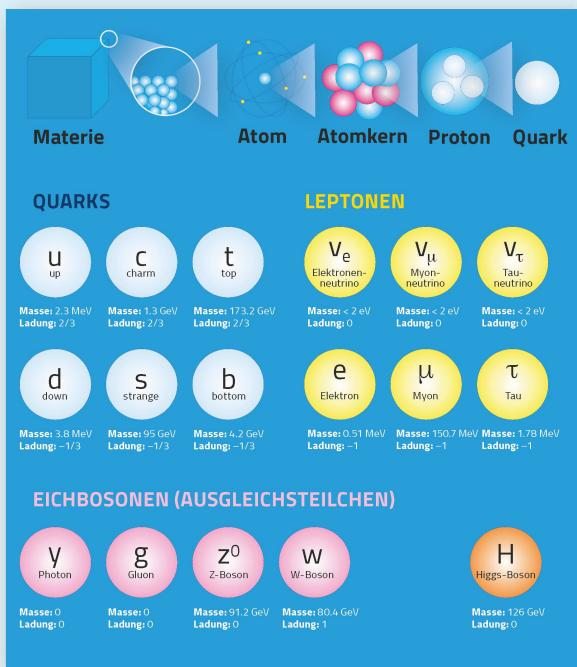
Das Standardmodell der Elementarteilchenphysik ist eine herausragende Errungenschaft der modernen Physik und beschreibt eine Vielzahl physikalischer Phänomene korrekt. Aber dennoch gibt es einige Herausforderungen der modernen Physik, die nicht mit diesem Modell beschrieben werden können.

Das Standardmodell ist im Rahmen der Quantenmechanik, als physikalische Theorie formuliert, welche das Verhalten der Materie im atomaren und subatomaren Bereich beschreibt. Bis heute ist es nicht gelungen, die Quantenmechanik mit Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie zu vereinen. Daher ist die Gravitation auch nicht als vierte Wechselwirkung im Standardmodell enthalten. Ebenso gibt es kein Austauschteilchen der Gravitation. Die dunkle Materie, die einen Grossteil der Materie des Universums ausmacht, kann ebenfalls nicht durch die

WIE MASSE ZUSTANDE KOMMT

Eine der bemerkenswertesten Entdeckungen war zweifellos die des Higgs-Bosons im Jahr 2012. Es ist nach dem britischen Physiker *Peter Higgs* benannt, der 1964 zusammen mit anderen Wissenschaftlern eine Theorie entwickelte, welche die Existenz dieses Teilchens vorhersagte. Um dieses mysteriöse Teilchen zu verstehen, müssen wir einen Blick auf das sogenannte Higgs-Feld werfen. Das Higgs-Feld erstreckt sich über den gesamten Raum und durchdringt alle anderen Teilchen. Es interagiert mit ihnen und verleiht ihnen Masse. Man kann es sich wie eine Art unsichtbares Gewebe vorstellen,



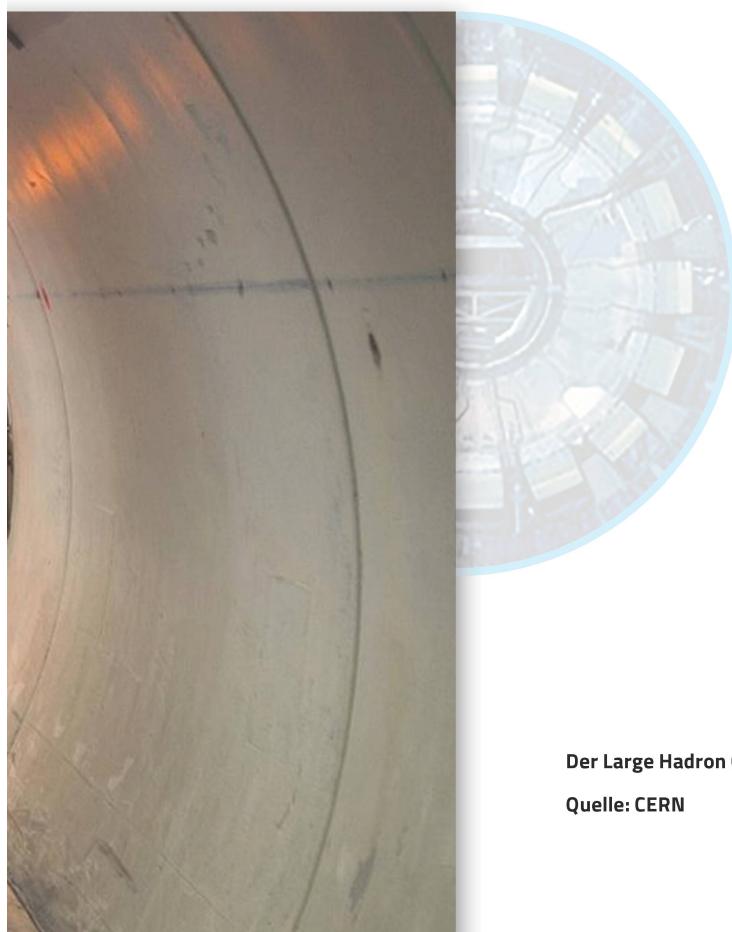


Teilchen des Standardmodells erklärt werden, genauso wenig, wie die Dunkle Energie, die den Hauptbestandteil des Energiegehalts des Universums ausmacht. In der Quantenphysik gibt es noch unzählige Rätsel zu lösen und auf so manche Ungereimtheit eine Theorie zu formulieren oder eine Antwort zu finden. Genau dies aber macht den Reiz der theoretischen Physik aus. Und das CERN bietet dazu die nötigen Instrumente.

Als Elementarteilchen bezeichnet man die kleinsten Bausteine der Materie, aus der auch alle Stoffe zusammengesetzt sind. Früher nahm man an, dass die Atome und Moleküle die kleinsten Bausteine der Materie sind. All diese neuen Entdeckungen und Erkenntnisse des 20. Jahrhunderts sind im Standardmodell zusammengefasst.

Gafik: Thomas Baer, Redaktion ORION

durch das sich die Teilchen bewegen und dabei einen Widerstand erfahren, der ihnen Masse verleiht. Ohne das Higgs-Feld würden alle Teilchen masselos sein und unser Universum sähe völlig anders aus. Das Higgs-Boson ist dabei das kleinste Energiepaket oder «Quant» des Higgs-Feldes; das unsichtbare Gewebe besteht also aus lauter Higgs-Teilchen. Wenn genügend Energie vorhanden ist, kann es erzeugt werden und kurzzeitig existieren, bevor es wieder zerfällt. Dies ist auch der Grund, warum es so schwierig war, das Higgs-Boson nachzuweisen, obwohl das Higgs-Feld, das eigentlich aus lauter Higgs-Bosonen besteht, omnipräsent ist: Es entsteht und zerfällt schlichtweg zu schnell. Am



Der Large Hadron Collider in seinem unterirdischen Tunnel.

Quelle: CERN



Der Globus der Wissenschaft und Innovation dient als Ausstellungs- und Veranstaltungsort für öffentliche Events am CERN.

Quelle: CERN

LHC lässt man deshalb Teilchen mit extrem hoher Energie kollidieren, was uns ermöglicht, das Higgs-Boson für einen winzigen Moment zu erzeugen und seine Spuren zu analysieren.

AUF DER SUCHE NACH DEM UNSICHTBAREN

Das Higgs-Boson ist jedoch nicht das einzige Phänomen, das man nur sehr schwer nachweisen kann, und auf das es das CERN abgezielt hat. Die Dunkle Materie, die seit Anfang des 20. Jahrhunderts, wo sie zum ersten Mal erwähnt wurde, nie direkt nachgewiesen werden konnte, steht gleichermassen im Fokus am CERN. Sie ist eine unsichtbare Form von Materie, welche die meisten Anteile des Universums ausmachen könnte. Ihr Name stammt von ihrer Eigenschaft; sie sendet keine elektromagnetische Strahlung aus oder reflektiert sie, wodurch sie für uns unsichtbar bleibt. Dennoch haben Astronomen indirekte Hinweise auf die Existenz von Dunkler Materie gefunden. Um zu verstehen, was Dunkle Materie ist, müssen wir uns zuerst mit der Gravitation beschäftigen. Gravitation ist die Kraft, die Gegenstände anzieht, wie zum Beispiel die Erde, die uns auf ihrer Oberfläche hält. Laut der Allgemeinen Relativitätstheorie von *Albert Einstein* wird Gravitation durch die Anwesenheit von Materie verursacht, da sie Raum und Zeit um sich herum krümmt. Mit anderen Worten: Wo Materie ist, gibt es auch Gravitation. Die Dunkle Materie spielt eine entscheidende Rolle in der kosmischen Gravitation. Obwohl sie unsichtbar ist, interagiert sie durch die Schwerkraft mit anderen Objekten im Universum. Ihre Anwesenheit kann beobachtet werden, indem man die Bewegungen von Galaxien und Galaxienhaufen studiert. Astronomen haben festgestellt, dass die sichtbare Materie, wie Sterne und Gas, allein nicht ausreicht, um die beobachteten Gravitationswirkungen zu erklären. Es muss eine zusätzliche Masse vorhanden sein; eben diese Dunkle Materie. Die genaue Natur der Dunklen Materie ist jedoch noch völlig unbekannt. Es wird vermutet, dass es sich um eine neue Art von Teilchen handelt, das



Das Hauptgelände des CERN aus der Luft.

Quelle: CERN

bisher nicht direkt nachgewiesen werden konnte. Eine Möglichkeit, wie der LHC zur Suche nach der Dunklen Materie beitragen kann, ist die Produktion von Teilchen, die als Kandidaten für Dunkle Materie in Frage kommen. Wenn Dunkle Materie tatsächlich aus bisher unbekannten Teilchen besteht, könnte der LHC genügend Energie generieren, um solche Teilchen entstehen zu lassen. Wenn diese Teilchen erzeugt werden, würden sie den Detektoren am LHC entgehen, was auf ihre Existenz hinweisen könnte. Da Energie bekanntlich weder kreiert noch zerstört werden kann, ist bekannt, wie viele von den bekannten Teilchen bei einer solchen Kollision entstehen sollten. Wenn bei der Messung dann ein Teil der Energie verloren gegangen ist, müssen bei der Kollision Teilchen entstanden sein, die nicht detektiert werden konnten – man entdeckt also die Dunkle Materie, indem man sie eben NICHT sieht.

Während die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des CERN beharrlich nach der Dunklen Materie und weiteren wissenschaftlichen Antworten suchen, erinnert uns ihr unermüdlicher Einsatz daran, wie viel wir noch über das Universum zu lernen haben. Das CERN ist und bleibt eine Quelle der Inspiration für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weltweit, aber auch für die nächsten Generationen und künftige Forscher. Es sind eben diese fesselnden Rätsel, die uns antreiben, die Grenzen unseres Wissens immer weiter auszudehnen und nach den verborgenen Geheimnissen des Kosmos zu suchen, denn wir dürfen nicht vergessen, was wir eigentlich sind: Menschen. Und Menschen sind vor allem eines; neugierig. <