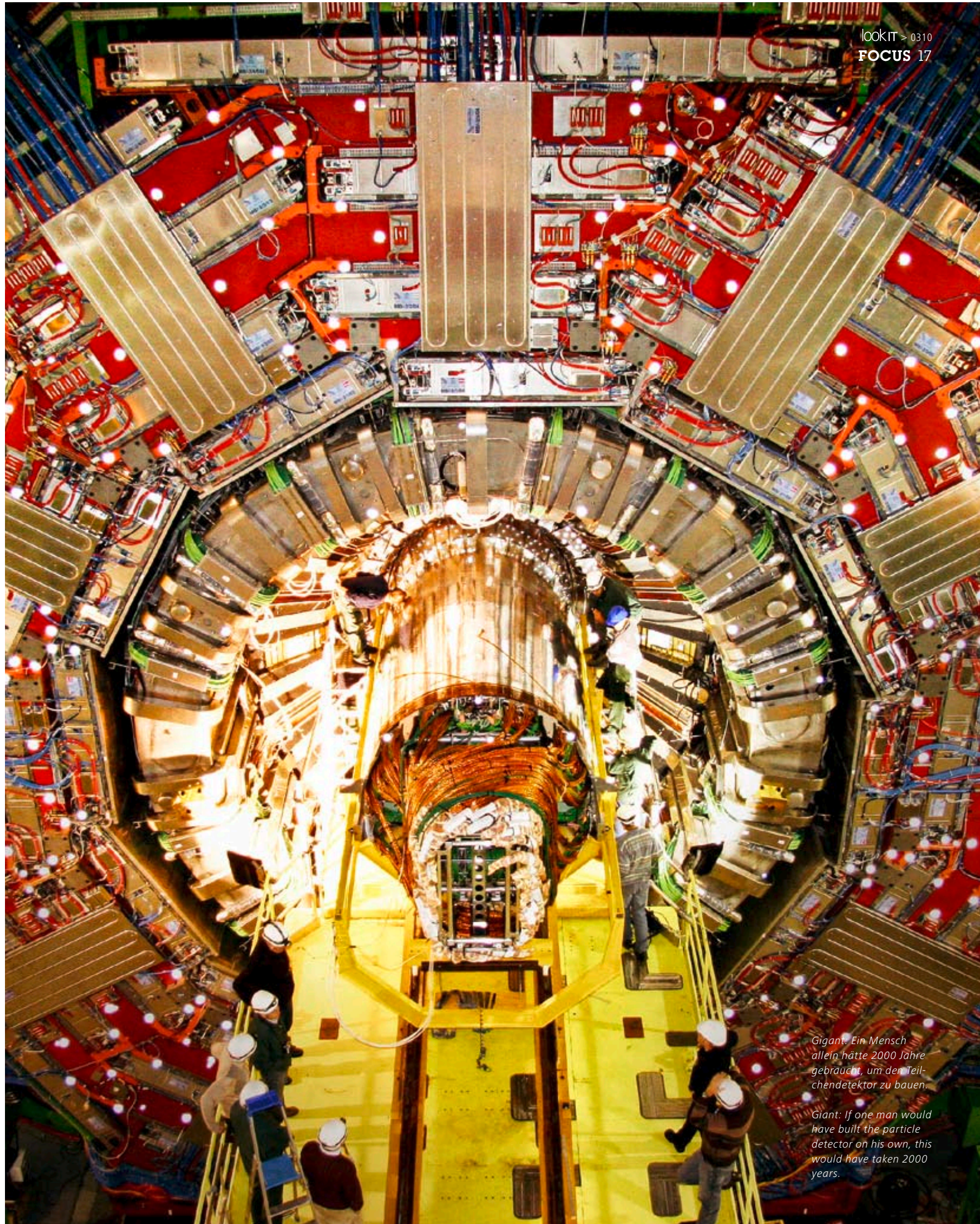




KIT am CERN  
**DRINNEN  
HINTER  
DER TÜR**

DAS KCETA IST MASSGEBLICH AM GROSSEN  
BESCHLEUNIGEREXPERIMENT IN GENÈVE BETEILIGT  
– UND LEGT SCHON JETZT DEN GRUNDSTEIN  
FÜR DIE KOMMENDE GENERATION DER  
TEILCHENDETEKTOREN.

VON KLAUS RÜMMELE // FOTOS: MARKUS BREIG



*Gigant. Ein Mensch allein hätte 2000 Jahre gebraucht, um den Teilchendetektor zu bauen.*

*Giant: If one man would have built the particle detector on his own, this would have taken 2000 years.*

**D**ie Tür ist zu. Daneben eine sieben Meter dicke Betonwand, dahinter ein verschlungener, knapp 20 Meter langer Weg. Er führt zum Experiment Compact Muon Solenoid, einem haushohen Teilchendetektor am CERN in Genf. Die Serpentina hinter der Tür blockieren die Strahlung. Mit einem Dosimeter behält sie jeder Mitarbeiter, der doch einmal näher an die Anlage heran muss, im Auge. Für die Besucher aber ist an dieser Stelle der Weg in die Tiefe zu Ende.

An der Erdoberfläche, 80 Meter höher, hatte er begonnen. Der CMS-Detektor liegt in der Nähe des französischen Dorfes Cessy, rund 15 Kilometer vom Genfer Flughafen entfernt. Bei der Anfahrt mit dem Auto bietet sich ein atemberaubender Blick auf den Mont Blanc – doch schon nach ein paar Schritten im Gebäude, beim Blick in einen abgründigen Schacht, durch den gewaltige Kabelbündel laufen, ruft der Berg nicht mehr. Dahinter liegt die erste Sicherheitsstation: Helme kommen auf die Köpfe, Geräte in die Materialschleuse. Nur mit einer Karte, die ein Mitarbeiter aus dem Safe holt, gelangen die Besucher durch ein Drehkreuz. Sie gehen durch Hallen voller Rechnerkästen, die ein Sicherheits- und Kühlsystem erfordern, das ausgeklügelter ist als das eines Flugzeugs. Später, als sie mit dem Aufzug wieder nach oben fahren, begegnen ihnen Mitarbeiter, die zweimal pro Tag eine „Safety-Tour“ absolvieren. Dann geben sie ihre Karte zurück.

Das CMS-Experiment zeichnet die Teilchenspuren auf, die bei den Proton-Proton-Kollisionen im Beschleuniger entstehen, dem Large Hadron Collider (LHC), der in einem kreisförmigen Tunnel von 28 Kilometern Länge

unter der Erde verläuft. Wissenschaftler des Instituts für Experimentelle Kernphysik am KIT-Zentrum für Elementarteilchen und Astroteilchenphysik (KCETA) forschen nun schon seit 15 Jahren am CMS unter der Leitung von Professor Thomas Müller. Sie waren auch beim Bau des Detektors beteiligt. Mit rund 50 wissenschaftlichen Mitarbeitern, von denen zehn direkt am CERN stationiert sind, stellt die Karlsruher CMS-Gruppe die größte deutsche Forschergruppe dar. Sie wirkt maßgeblich an Betrieb und Weiterentwicklung des CMS mit. Unter anderem bereitet sie die Analyse und Interpretation der LHC-Daten sorgfältig vor, von denen nicht nur die Fachwelt, sondern mittlerweile eine wachsende interessierte Öffentlichkeit Antworten auf fundamentale Fragen aus Teilchenphysik und Kosmologie erwartet – etwa nach dem Ursprung der Masse oder der Natur der Dunklen Materie im Kosmos.

Kein Wunder, dass die Forscher den Detektor hüten wie ihren Augapfel. Die 14.000 Tonnen schwere Anlage wurde in Scheiben gebaut, in einer mittlerweile leer stehenden Halle, und einen 100 Meter tiefen Schacht heruntergelassen. Vier Monate dauerte es allein, bis 250 Kilometer dicht gepackte Spezialkabel und 80 Kilometer Rohre für Gas und Kühlflüssigkeit für den inneren Detektorbereich angeschlossen waren. Ein Postdoktorand am KIT hatte ein Programm dafür entwickelt. 2000 Mannjahre brauchte es, bis der Detektor stand und 2008 die ersten Daten auswerten sollte.

„Es ist die komplexeste Anlage, die je gebaut wurde“, sagt Dr. Frank Hartmann. Der KIT-Forscher ist am CMS für Sicherheit und Detektorbetrieb („Operations“) verantwortlich. An diesem Tag ist er erst um sechs Uhr morgens ins Bett gekommen. Ein



Zentrale: Im runden Bürogebäude des CERN arbeiten Wissenschaftler Daten aus den Experimenten auf.

Head office: In the round central CERN building, scientists process data from the experiments.

Problem mit der Synchronisation hielt ihn im CMS-Kontrollzentrum fest, wo die Qualität des Teilchenstrahls kontrolliert wird. Am Tisch in der Mitte des Raums legt er mit seinem Team fest, was zu tun ist. Ein Mitarbeiter überwacht die Detektion an den Bildschirmen, am „Emergency Rack“ leuchten die Lämpchen, es flackert keins.

So findet Hartmann Zeit und Ruhe, von dem zu erzählen, was sich hinter der Tür befindet. „Circa 20 Prozent des CMS-Spuredetektors stammen von Wissenschaftlern des KCETA“, sagt Hartmann – vom Design der Sensoren bis zur Konstruktion, vom Sicherheits- und Kontrollsystem bis zur Wartung. Auch für Studierende gibt es Jobs – als Frank Hartmann jüngst nach Freiwilligen für die Kabelkontrolle suchte, hatten sich nach fünf Minuten 30 gemeldet. Sie alle leisten einen Beitrag zu einem Experiment der Superlative: Alleine das Magnetfeld, in dem geladene Teilchen auf eine gekrümmte Bahn gebracht werden und so das Verhältnis von Ladung und Impuls berechnet wird, besitzt eine Energie, die ausreicht, um zwei Tonnen Kupfer zu schmelzen. „Die Kräfte sind so stark, dass sich der Eisenkoloss 20 Zentimeter zusammenzieht“, sagt Hartmann. Im Inneren des CMS befinden sich Spuredetektoren aus Silizium, mit denen die Bahn von geladenen Teilchen genau bestimmt werden kann. Sie sind vergleichbar mit einer Superkamera mit einer Fläche von 200 Quadratmetern: 40 Millionen Aufnahmen macht sie pro Sekunde.

100 Computer auf vier Stockwerken kontrollieren den Betrieb, das An- und Ausschalten, die Spannungsversorgung des Detektors. Nur auf einem Stockwerk entnehmen Rechner Daten – aber nicht

alle, dafür reicht selbst die Anlage in Genf nicht aus. Auf einer Million Kanälen entstehen Daten mit einer Frequenz von 40 Megahertz – „in einer Sekunde erzeugen wir eine Datenmenge, die der globalen Telekommunikation im Jahr entspricht“, sagt Hartmann. Also filtern die Rechner die interessanten Daten heraus – und reduzieren die Frequenz auf 100 Kilohertz, bevor eine weitere Computerfarm die hochwertigen Daten entnimmt. Das sind immer noch 100 Hertz.

Wertvolle Daten, über denen die Wissenschaftler am CERN brüten – auch die Forscher aus Thomas Müllers Team, in deren Büros sich Kaffeetasen neben dicken Wälzern stapeln, in denen die Experimente dokumentiert sind. Um die Informationsmasse aber auszuwerten, braucht es ein „Computing“-Netz: Rechenzentren in der ganzen Welt verarbeiten die Informationen, das GridKa am Steinbuch Center for Computing (SCC) des KIT gehört zu den elf Hauptknotenpunkten (siehe auch Grafik Seite 26). Teilchenphysiker und Informatiker am KIT tauschen sich intensiv aus – das Bundesministerium für Bildung und Forschung finanziert drei Stellen am KCETA, damit der Kontakt zwischen Forschern und Datenverarbeitern produktiv bleibt.

Grundvoraussetzung für Menge und Qualität der Daten ist der einwandfreie Betrieb des LHC. Im Kontrollzentrum des Beschleunigers sitzen viele CERN-Mitarbeiter an Rechnern, um zu beobachten, wie er Teilchen fast auf Lichtgeschwindigkeit antreibt, die einen links, die anderen rechts herum, bis sie bei der Kollision zerplatzen. „Hier muss alles synchronisiert werden“, erklärt Thomas Müller. Die Mitarbeiter müssen die Beschleunigung der Teilchen so steuern, dass sie an der richtigen Stelle kollidieren. „Das ist ein komplizierter Bahnhof“, so Müller. Der Besucher kann sich die Hektik in diesem großen, runden, mit Glasfenstern eingefassten Raum ausmalen, als die Anlage 2008 überhitzte und schnell wieder gestoppt werden musste. Wie Argusaugen des 21. Jahrhunderts wachten Zigtausende von Sensoren über den Betrieb – „und doch fehlten einige“, so Müller. Als die Teilchen durch die supraleitenden Kabel jagten, wurde es zu warm, die Lötstellen aus Silber schmolzen, Helium, das der Kühlung dient, trat aus. Erst im November 2009 nahm der Beschleuniger den regulären Betrieb auf.

Seither läuft die Anlage rund um die Uhr, bewacht von Schichten und Bereitschaften, die Partikel zirkulieren und kollidieren, es entstehen Millionen



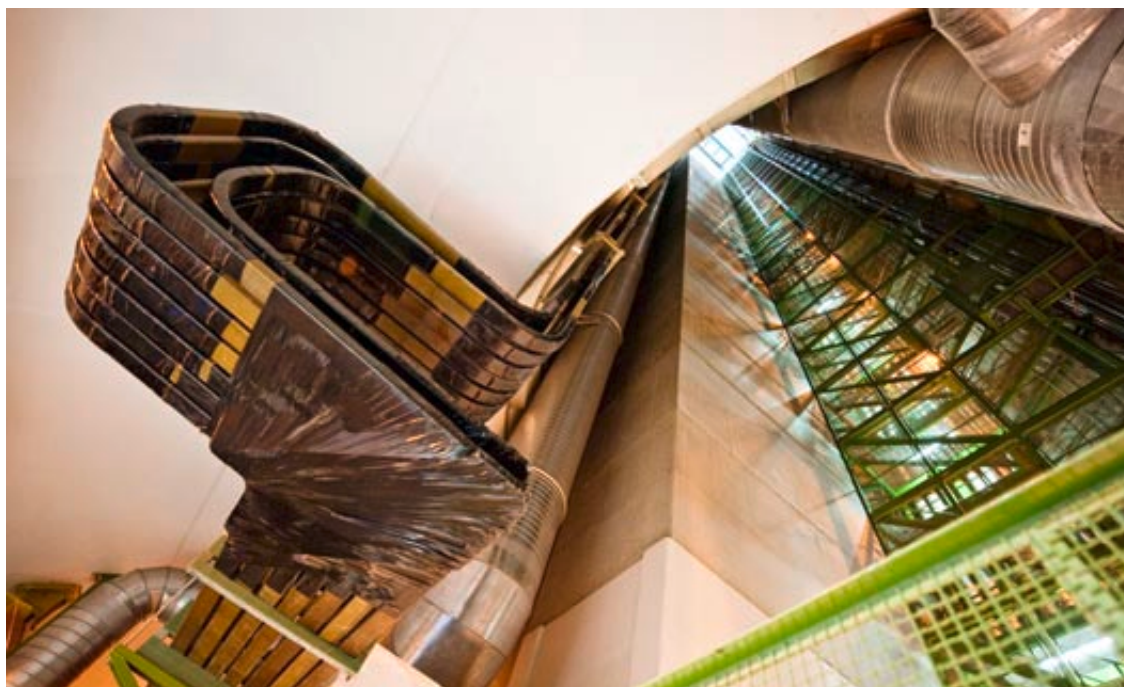
*Komplizierter Bahnhof: das Kontrollzentrum des Beschleunigers (links). In der Testhalle (rechts) finden kleinere Versuche statt.*

*Complicated central station: The control center of the accelerator (left). In the test hall, smaller experiments take place (right).*



*Im Gespräch: Professor Müller und Wissenschaftler im Kontrollzentrum des Detektors. 80 Meter tiefer liegt der Zugang zum Experiment.*

*Discussing: Professor Müller and scientists in the control center of the detector. 80 meters deeper, access to the experiment is located.*



von Teilchen, die Forscher messen sie und zeichnen ihre Flugbahnen auf. Schon jetzt erzeugt der LHC mit 7000 Giga-Elektronenvolt dreieinhalbmal mehr Energie als das Fermilab in Chicago, der bislang größte Teilchenbeschleuniger der Welt – wer mit dem Auto von einem CERN-Standort zum anderen fährt, kommt an einem riesigen Umspannwerk vorbei, das nur für das Teilchenzentrum ausgelegt ist. Noch aber ist die Zahl der Kollisionen in der US-Anlage größer. Ziel der Forscher am CERN ist, dass sich alle 25 Nanosekunden ein Zusammenstoß ereignet. 2012 stehen Umbauarbeiten an, danach soll der Betrieb bei noch höheren Energien weitergehen.

Die Forscher am KCETA denken darüber schon hinaus. Sie tüfteln an leistungsfähigeren Sensoren für den Detektor für die Zeit, wenn der LHC mit nochmals fünf- bis zehnfacher Leistung betrieben wird. „Der Zeitplan ist knapp“, sagt Frank Hartmann, auch wenn eine Inbetriebnahme des Super-LHC erst ab 2020 geplant ist. Am S-LHC, so erklärt Thomas Müller, „werden die Kollisionereignisse sehr viel komplizierter sein als beim Betrieb des LHC, auch wird die Strahlenbelastung für die Detektorelemente deutlich höher sein“.

Auf jeden Fall rechnen die Forscher damit, in den kommenden Jahren die fundamentalen Bausteine der Materie und die Kräfte zu identifizieren und zu verstehen, die Frage zu beantworten, was sich nach dem Urknall genau ereignete. „Das Standardmodell der Teilchenphysik ist nicht vollständig“, sagt Müller. Je größer die Energie der Experimente, desto höher sei die Wahrscheinlichkeit, dass neue Phänomene zutage treten, dass die Forscher das finden, was zur Beschreibung in hohen Energie fehlt: zum Beispiel massebewirkende Higgs-Teilchen. Das werde, so Müller, eventuell auch zu plausibleren Gedanken über die dunkle Energie führen. Er kann sich auch vorstellen, dass Teilchen der Supersymmetrie gefunden werden. In dem Falle würde es eine gute Erklärung für die Dunkle Materie im Universum geben, die als leichtestes stabiles Teilchen aus dem frühen Universum übrig geblieben ist. Mit einem Durchbruch rechnet der KCETA-Wissenschaftler, der 1979 erstmals am CERN forschte, in den nächsten fünf Jahren. „Das ist die Hoffnung“. ■



*Oben: Gebäude und Hallen des CERN.*

*Above the ground: CERN buildings and halls.*

## KIT at CERN **THE MAN INSIDE**

Near the French village of Cessy, 15 km from the airport at Geneva, the Compact Muon Solenoid, a CERN particle detector that is as high as a house, is located 100 m below the earth's surface. The CMS experiment records particle tracks produced by proton-proton collisions in the accelerator, the Large Hadron Collider (LHC), housed in an underground circular tunnel that is 28 km long. About 50 scientists from the Institute of Experimental Nuclear Physics of the KIT Center for Elementary Particle and Astroparticle Physics (KCETA), headed by Professor Thomas Müller, conduct research at the CMS. They search for solutions to fundamental problems of particle physics and cosmology.

The facility of 14,000 tonnes in weight "is the most complex facility ever built," says Dr. Frank Hartmann. The KIT researcher is responsible for safety and operations of the CMS. The CMS contains track detectors made of silicon to exactly determine the trajectories of charged particles. They take 40 million photos per second. Nevertheless, KCETA scientists are already working on sensors of increased performance for the detector.

One hundred computers on four floors control the operation, startup, shutdown, and voltage supply of the detector. Only on one floor do the computers retrieve data, but the facility in Geneva is not sufficient to collect all of them. The experiment produces a data output of 40 megahertz on a million channels. "Within one second, we generate a data volume corresponding to that of global telecommunications for a year," says Hartmann. Consequently, the computers must filter out the data of interest. To evaluate these data, a computing grid is required. Computing centers all over the world process the information, among them GridKa at KIT, which is one of eleven tier-1 centers.