



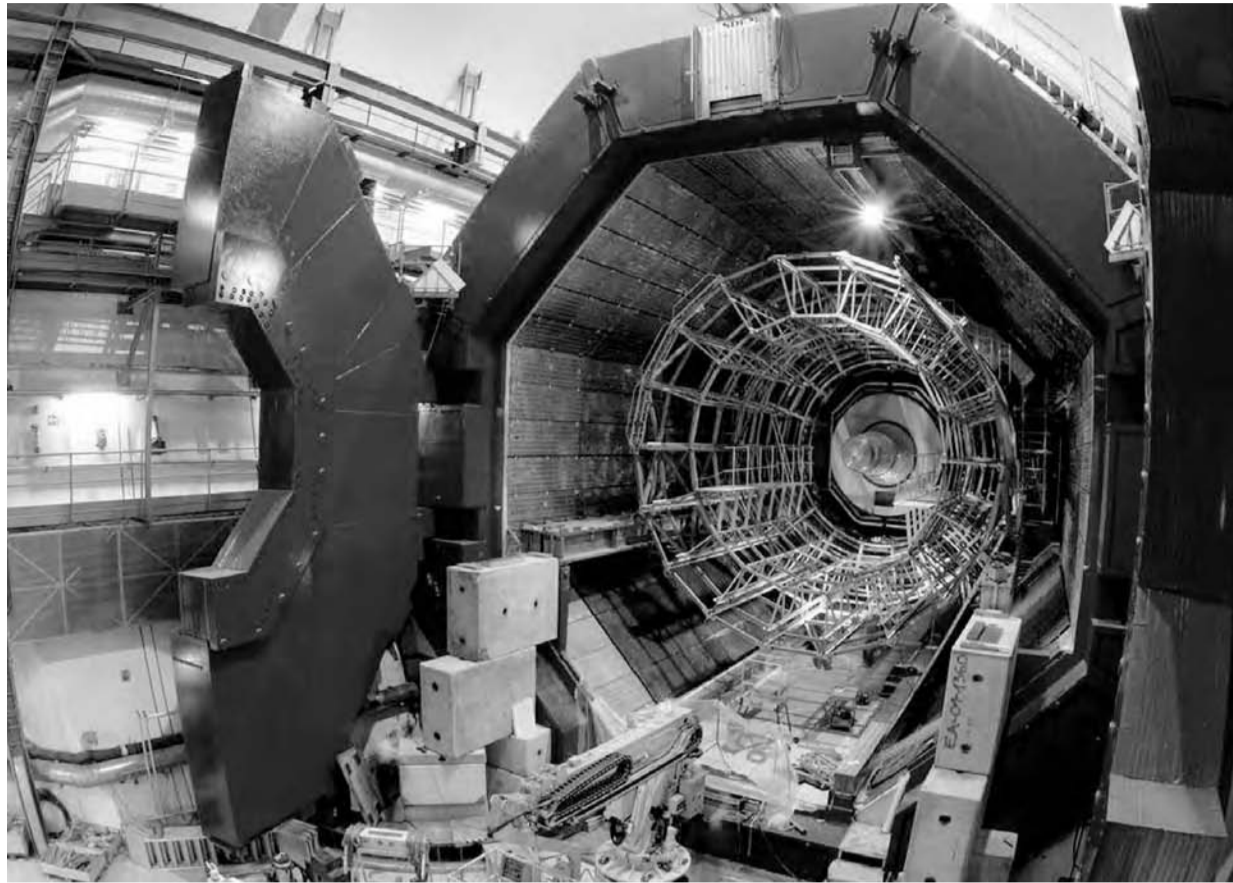
Die Reise zum Urknall

Frankfurter Kernphysiker untersuchen am CERN die ersten Mikrosekunden unseres Universums

Im Herbst 2007 erfüllen sich die Träume der Frankfurter Kernphysiker: nach rund 20-jähriger Vorbereitungszeit wird am Europäischen Kernforschungszentrum CERN der größte und leistungsfähigste Teilchenbeschleuniger aller Zeiten in Betrieb gehen, der »Large Hadron Collider« (LHC). Damit wollen die Wissenschaftler noch mehr über die elementaren Bausteine unserer Welt und die frühe Entstehungsgeschichte des Universums erfahren. Die Frankfurter Physiker interessieren sich dabei besonders für eine spezielle Form der Materie: das »Quark-Gluon-Plasma« (QGP), der Zustand des Universums, als es etwa eine Mikrosekunde alt war.

Die Reise zum Urknall beginnt tief unter der Erde. Der große Kasten, der sich langsam durch einen weiten Schacht tief unter den Schweizer Jura hinabsenkt, gehört zu einem der größten und aufwändigsten Experimente, die es in der Physik je gegeben hat. ALICE (A Large Ion Collider Experiment) haben die Physiker ihr Experiment getauft, und steigt man in den runden, 27 km langen Tunnel hinab, der bis zu 100 Meter tief ins Französisch-Schweizer Grenzgebiet am Europäischen Kernforschungszentrum CERN bei Genf gegraben wurde, dann mag es einem wahrlich wie ein technisches Wunderland erscheinen. Der schmale Tunnel öffnet sich in eine große künstliche Höhle, in der bereits der riesige Magnet des Experiments aufgebaut ist. Langsam füllt sich der Raum nach einem ausgeklügelten Plan mit tausenden Kilometern von Kabeln und sehr aufwändigen Messinstrumenten, den Detektoren. Und auch wenn jetzt noch viel Luft ist – es wird einmal eng werden, wenn all die verschiedenen Detektoren, die über der Erde zusammengesetzt und bis zum letzten Augenblick immer wieder getestet werden, alle einmal ihren Platz finden sollen. Das spürt man bereits, wenn die Techniker den großen Kasten, das erste von 18 Modulen des Transition-Radiation-Detektors (TRD), langsam und millimetergenau in Position bringen. »Das ist ein wichtiger Meilenstein für unser Projekt«, freut sich Prof. Christoph Blume vom Institut für Kernphysik der Universität Frankfurt. Seit vielen Jahren arbeiten die Arbeitsgruppen von Blume und Prof. Harald Appelhäuser bereits an der Planung und Realisierung des ALICE Experiments mit. Worum geht es dabei?

Jedes Kind weiß, dass Eis zu schmelzen beginnt, wenn die Temperatur null Grad Celsius überschreitet, und bei hundert Grad beginnt das Wasser zu verdampfen. Was aber passiert, wenn die Temperatur noch weiter erhöht wird, zum Beispiel auf eine Billion Grad Celsius? Bei diesen hohen Temperaturen haben Atome und sogar Atomkerne längst aufgehört zu existieren. Heute glaubt man, dass Materie dann in Form eines Plasmas aus Quarks und Gluonen vorliegt, den kleinsten heute bekannten Materiebausteinen. In der Frühphase des Universums, etwa eine Mikrosekunde nach dem Urknall, hat es einmal so hohe Temperaturen gegeben. Daher geht man davon aus, dass unsere gesamte Welt in ihrer frühesten Jugend die Phase eines Quark-Gluon-Plasmas durchlaufen hat. Um also mehr über die Prozesse zu lernen, die die Entstehung unseres Universums bestimmt haben, möchte man die Eigenschaften des Quark-Gluon-Plasmas erforschen. Die Kraft zwischen Quarks und Gluonen wird durch die so genannte starke Wechselwirkung vermittelt, die bei



Fotos: Appelhäuser

weitem stärkste der vier bekannten Naturkräfte. Anders als die Gravitation und die elektromagnetische Kraft ist sie aber nur über sehr kleine Abstände spürbar ($< 10^{-15}$ m). Theoretisch wird die starke Wechselwirkung durch die Quantenchromodynamik (QCD) beschrieben. Aufgrund der komplizierten Dynamik zwischen Quarks und Gluonen erweisen sich quantitative Vorhersagen der QCD jedoch gerade in jenem Energiebereich, der für die Erzeugung eines QGP relevant ist, als außerordentlich schwierig. Die geplanten Experimente sollen somit also zum tieferen Verständnis

Physiker aus der ganzen Welt arbeiten zusammen, um ihren großen Traum zu verwirklichen: Die Reise zum Urknall.

nis der fundamentalen Naturkräfte beitragen.

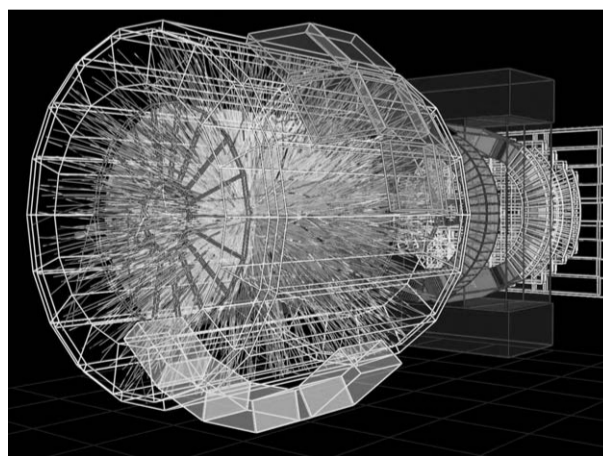
Das Aufheizen von Materie auf diese hohen Temperaturen gelingt nur mit sehr energiereichen Teilchenbeschleunigern, in denen schwere Atomkerne mit hoher Geschwindigkeit zur Kollision gebracht werden. Im Tunnel tief unter dem CERN Gelände wird gerade der größte Teilchenbeschleuniger zusammengesetzt, der je gebaut wurde: der »Large Hadron Collider« (LHC). Er übertrifft die bisher höchsten Teilchenenergien um mehr als eine Größenordnung. In den Kollisionen der Atomkerne wird man dann die heißeste je in einem Labor erzeugte Materie erforschen können. Im Herbst 2007 sollen am LHC die ersten Teilchenkollisionen studiert werden. Das dabei erzeugte Quark-Gluon-Plasma existiert allerdings nur für jeweils einen winzigen Sekundenbruchteil (etwa 10^{-23} s), bevor es in mehrere Tausend Teilchen zerfällt. Die Untersuchung der Produkte dieses »Mini-Urknalls« soll schließlich Aufschluss über die Eigenschaften des QGP geben.

Für den Nachweis der Teilchen sind die Detektoren des ALICE-Experiments wie die Schalen einer Zwiebel um den Kollisionspunkt angeordnet. Bis zu 8000 Kollisionen pro Sekunde werden auf diese Weise aufgezeichnet, wobei eine Datenmenge von einigen hundert Gigabyte pro Sekunde verar-

Ein technisches Wunderland – der große Magnet des ALICE-Experiments tief unter der Erde im Französisch-Schweizer Grenzgebiet. Bereits ein Modul des Transition-Radiation-Detektors (siehe Text) ist $0,8 \times 1 \times 8$ Meter groß und wiegt 1,7 Tonnen (oben)

Bis zum letzten Moment wird an der Time-Projection-Chamber (TPC) des ALICE-Experiments gearbeitet. Der gasgefüllte zylindrische Detektor umfasst ein Volumen von etwa 100 Kubikmeter und ist das Herzstück des Experiments (Mitte)

Tausende von neuen Teilchen entstehen in einer Kollision der Atomkerne. Computersimulationen helfen den Physikern, ihre Nachweisgeräte zu planen (unten)



beitet werden muss. Diese Flut von Informationen muss dann in der späteren Auswertung aufbereitet werden, um den genauen Ablauf der Reaktion und damit die Eigenschaften des QGP zu rekonstruieren. Dazu braucht man viele Physiker, aber auch Techniker, Computerspezialisten und Ingenieure. Über 1000 Physiker aus rund 30 Ländern arbeiten im ALICE Experiment zusammen.

Die Frankfurter Kernphysiker können bei dieser Arbeit ein großes Maß an Erfahrung einbringen. Schon seit vielen Jahren ist man hier an der weltweiten Erforschung des Quark-Gluon-Plasmas beteiligt – in Experimenten am SPS-Teilchenbeschleuniger am CERN oder am RHIC-Beschleuniger in der Nähe von New York. Das ALICE



Experiment aber übertrifft alles, was bisher auf diesem Gebiet versucht wurde. Und einen langen Atem braucht man auch: Die Vorbereitungen auf die ersten Kollisionen am LHC dauern nun schon fast 20 Jahre.

Die experimentellen Frankfurter Arbeitsgruppen haben sich früh auf die Arbeit an zwei verschiedenen Detektoren spezialisiert. Mit Hilfe des TRD-Detektors können verschiedene Teilchensorten anhand von charakteristischer Übergangsstrahlung, die die Teilchen beim Durchqueren des speziellen Detektormaterials erzeugen, unterschieden werden. Daneben ist man in Frankfurt am Aufbau eines weiteren Detektors beteiligt, der Time-Projection-Chamber (TPC), dem Herzstück des Experiments. Dabei handelt es sich um einen gasgefüllten zylindrischen Detektor, der ein Volumen von etwa 100 m^3 umschließt. Die Teilchen hinterlassen im Gasvolumen der TPC Ionisationsspuren, die an speziellen Ausleseebenen nachgewiesen werden und somit eine präzise Rekonstruktion der Teilchenflugbahnen ermöglichen. Die ALICE-TPC ist der größte Detektor dieser Art, der jemals gebaut wurde.

In Frankfurt ist man gut für die Zusammenarbeit in großen internationalen Kollaboration wie ALICE gerüstet: Mit der Einrichtung des universitären Stern-Gerlach-Zentrums für experimentelle physikalische For-

schung (SGZ) und den entsprechenden modernen Labors im Neubau der Physik am Campus Riedberg wurden die Voraussetzungen für eine starke instrumentelle Frankfurter Beteiligung geschaffen. Gemeinsam mit den Arbeitsgruppen vom Institut für theoretische Physik und dem Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) bietet sich somit ein ideales Umfeld zur Erforschung der Dynamik und Struktur elementarer Materie, das in den universitären Schwerpunkt Schwerionenphysik eingebettet ist.

Entscheidend für ein Projekt wie ALICE ist auch eine starke Vernetzung mit anderen deutschen Hochschulen. Dafür hat das BMBF ein neues strategisches Wettbewerbsselement zur Förderung wissenschaftlicher Exzellenz durch Zusammenarbeit in überregionalen Forschungsnetzwerken aufgelegt, das insbesondere auf die gemeinsame Nutzung an Großgeräten wie Beschleunigeranlagen zielt. In der ersten Wettbewerbsrunde der BMBF-Forschungsschwerpunkte (BMBF-FSP) haben sich insgesamt drei deutschlandweite Forschungsnetzwerke qualifiziert, darunter der Zusammenschluss der an ALICE beteiligten deutschen Hochschulen.

Ideale Bedingungen bieten sich somit zur Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses: Im Herbst letzten Jahres wurde in Frankfurt eines von drei neuen Helmholtz-Graduiertenkollegs zur Exzellenzförderung angesiedelt. Die »Helmholtz Research School for Quark Matter Studies« (HQM) wird von der Helmholtz-Gemeinschaft für die nächsten sechs Jahre gefördert. Gemeinsam mit der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) und dem FIAS werden begabte Doktoranden aus aller Welt in einem strukturierten Förderprogramm ausgebildet. Die jungen Wissenschaftler werden unter anderem daran arbeiten, dass Frankfurts Beitrag am ALICE-Projekt ein Erfolg wird.

Tief unten, in der Höhle unter dem CERN Gelände beginnt nun die heiße Phase. Tag und Nacht wird gearbeitet, damit rechtzeitig alles fertig ist für die ersten Teilchenkollisionen. Am Experiment sieht man überall kleine Gruppen von Physikern arbeiten. Es wird viel ausprobiert, diskutiert und um die beste Lösung gestritten. Man hört Englisch, Chinesisch, Russisch, Deutsch und viele andere Sprachen. Physiker aus der ganzen Welt arbeiten zusammen, um ihren großen Traum zu verwirklichen: Die Reise zu Urknall.

Harald Appelhäuser,
Henner Büsching