

**Teilnehmende Institutionen  
und ihre Abkürzungen:**

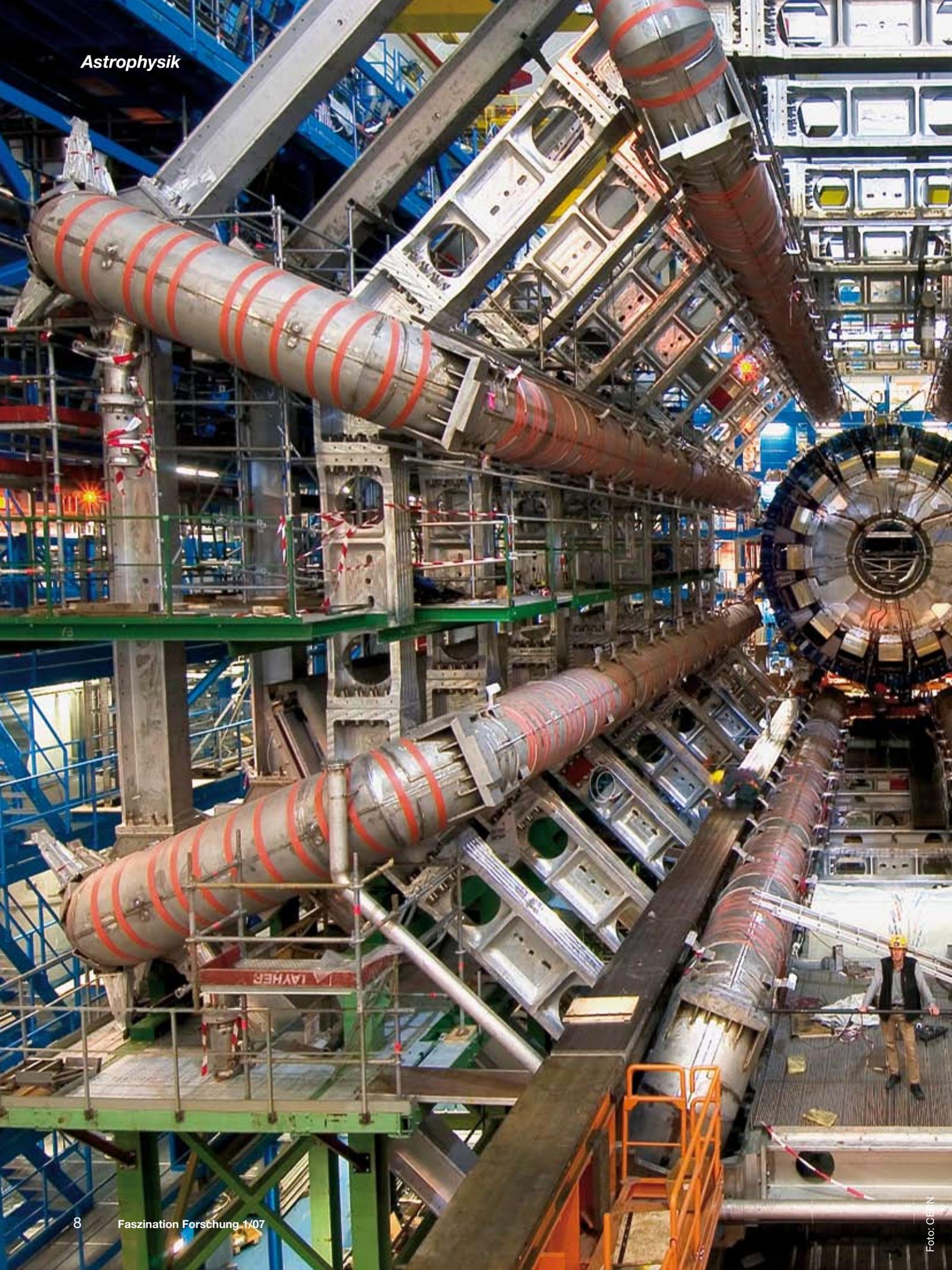
Technische Universität München	<b>TUM</b>
Ludwig-Maximilians-Universität	<b>LMU</b>
Max-Planck-Institut für Astrophysik	<b>MPA</b>
Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik	<b>MPE</b>
Max-Planck-Institut für Physik	<b>MPP</b>
European Southern Observatory	<b>ESO</b>

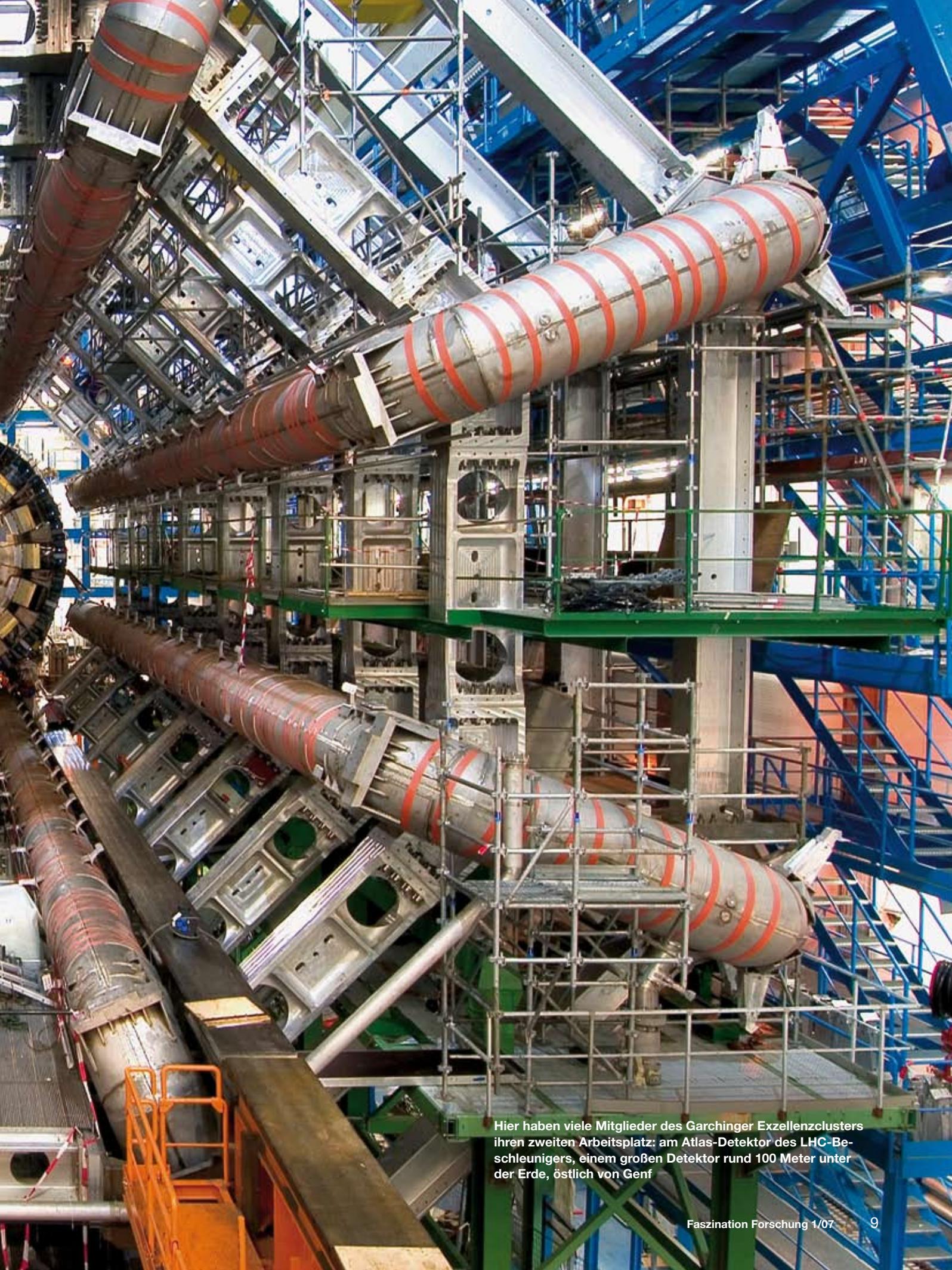
**Links**

[www.universe-cluster.de](http://www.universe-cluster.de)  
[www.mpa-garching.mpg.de](http://www.mpa-garching.mpg.de)  
[www.atlasexperiment.org](http://www.atlasexperiment.org)



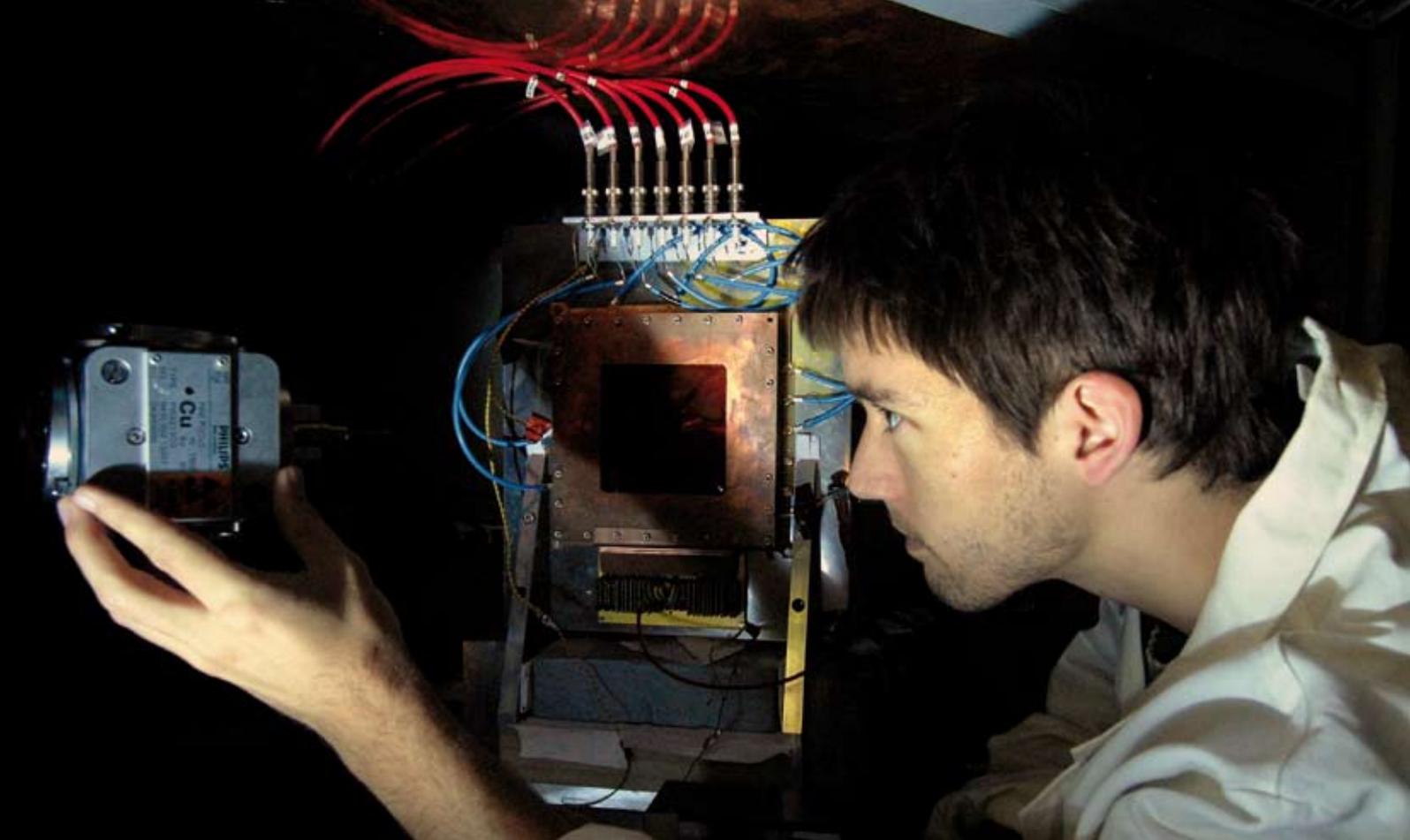
Zwischen Genf und Garching:  
Auf der Suche nach dem  
**Ursprung der Welt**





Hier haben viele Mitglieder des Garchinger Exzellenzclusters ihren zweiten Arbeitsplatz: am Atlas-Detektor des LHC-Beschleunigers, einem großen Detektor rund 100 Meter unter der Erde, östlich von Genf





Der LHC-Beschleuniger am CERN soll das Verständnis des frühen Universums verbessern. Deshalb arbeiten auch die TUM-Forscher

Quirin Weitzel (oben) und Sebastian Pfister (links) intensiv an den Vorbereitungen für den Atlas-Detektor

**Teilchenforscher, Astronomen und Kosmologen ergänzen sich ideal. Sie alle sind auf der Suche nach den letzten Geheimnissen der Welt: Wo kommt sie her und was hält sie zusammen? Rund um die TU München entsteht nun ein Zentrum für derartige Fragen**

**D**ie Liste ist ganz beiläufig im Anhang des Proposals versteckt, aber sie liest sich wie ein Who's who der besten Physiker-Köpfe: „25 Qualifikationsnachweise von Wissenschaftlern in diesem Cluster“, heißt sie bescheiden. Hier sind Leibniz-Preisträger, Träger des Max-Planck-Forschungspreises, der Stern-Gerlach-Medaille und anderer herausragender Auszeichnungen unter sich, dazu die Sprecher, Gründer oder Direktoren wichtiger internationaler Kollaborationen. Was sie alle gemeinsam haben, ist ihr Standort: München und Garching sind seit vergangenem Herbst die Heimat des Exzellenzclusters „Ursprung und Struktur des Universums“. Hier werden Astrophysiker, Kern- und Teilchenphysiker gemeinsam einigen der größten Fragen nachgehen, die der Mensch überhaupt stellen kann: Wie ist unsere Welt entstanden und wie hat sie ihre heutige Form erhalten?

Dass der bayerische Forschungsstandort traditionell viele große Physiker angezogen hat und immer noch anzieht, ist bekannt; weltberühmte Namen wie Som- ▶

<b>Die 7 Fragen, die der Cluster bearbeiten will</b>	
1	Wie verhält sich Materie bei extrem hohen Energien und auf kleinstem Raum?
2	Gibt es Symmetrie zwischen Materie und Kräften?
3	Wo liegt der Ursprung für die Masse der Teilchen und was ist der Grund für ihre Hierarchie?
4	Was sind kosmische Phasenübergänge und wie kommt die Materie ins Universum?
5	Was sind die dunklen Anteile des Universums?
6	Wie entstanden Schwarze Löcher, und wie haben sie sich entwickelt?
7	Wie wurde das Universum mit schweren Elementen angereichert?



Je weiter man ins Weltall hinausblickt, desto größer werden die Rätsel. Um diese Rätsel zu lösen, gehen die TUM-Wissenschaftler unter die Erde: in die unterirdische Anlage des Atlas-Detektors des LHC-Beschleunigers

merfeld, Gerlach, Heisenberg oder Mößbauer sprechen dafür. Aber das Potenzial dieser dichten Versammlung von Experten der aktuellen Teilchen- und Astrophysik haben die Beteiligten im Grunde erst jetzt entdeckt. Jeder der Forscher arbeitete zwar bisher erfolgreich in seinem ganz persönlichen Umfeld und hielt natürlich Kontakt zur internationalen Community, aber „von den jeweils anderen haben wir nicht übermäßig Notiz genommen“, erzählt TUM-Ordinarius Stephan Paul, der Mann, der den Exzellenzcluster erst auf den Weg brachte und heute sein Sprecher ist. „Als die Deutsche Forschungsgemeinschaft 2006 zur Bewerbung aufrief, haben wir uns in der Fakultät zusammengesetzt und überlegt, wo wir weltweit führend sind.“

### **Spezialität: die Frage nach den ersten Dingen**

Und siehe da: Schnell fanden die Professoren heraus, dass sich in und um München eine Ansammlung von hoch angesehenen Spezialisten für kosmologische Fragen angesiedelt hatte, die in Europa einzigartig ist. Da gibt es Astronomen, die den Blick ins Weltall richten und aus den Eigenschaften der Sterne Rückschlüsse auf die Vergangenheit ziehen; Teilchenforscher, die in großen Beschleunigern Verhältnisse wie kurz nach dem Urknall erzeugen und beobachten, wie sich Materie und Kräfte dort verhalten; Kosmologen, die in gewaltigen Computersimulationen die Vorgänge in und zwischen den Sternen nachstellen und Theoretiker, die mit Hilfe

komplizierter Gedankengebäude den Grundregeln der Welt auf die Spur kommen wollen.

### **Die Forscher finden im Cluster zusammen**

Sie zusammenzuführen, entspricht einem Trend, der sich seit einigen Jahren in der Grundlagenforschung abzeichnet: Auf den ersten Blick weit voneinander entfernte Fachgebiete wie Teilchen-, Kern-, Astrophysik und Kosmologie finden nun den Weg zueinander. Beschäftigen sie sich doch mit Fragen, die jede für sich einen wichtigen Baustein für ein geschlossenes physikalisches Weltbild darstellt. Grundlage dafür ist die Tatsache, dass die Themengebiete in ihrem theoretischen Gefüge sehr eng zusammenhängen. So ermöglichten erst die Erkenntnisse aus der Teilchenphysik das heutige Verständnis des frühen Universums, andererseits bringt die Astrophysik neue Einsichten für die Teilchenphysik gerade dort, wo die irdischen Beschleuniger an ihre Grenzen stoßen.

Die Annäherung ist bisher noch ganz vorsichtig, aber mit dem Exzellenzcluster soll in München nun ein weltweit angesehenes Zentrum für derart interdisziplinäre Forschung entstehen. „Ähnliche Bestrebungen gibt es bisher in Berkeley und Chicago“, weiß Andreas Burkert, Lehrstuhlinhaber für Astronomie an der LMU und stellvertretender Koordinator des Clusters. „Wir wollen München zu einem Thinktank machen, den jeder ein-

## Forschungsgeschichte der Astrophysik – einige Meilensteine

<b>1054 v. Chr.</b>	Chinesische Astronomen beobachten eine Supernova im Krebsnebel.
<b>1543 n. Chr.</b>	Nikolaus Kopernikus veröffentlicht sein Werk <i>De Revolutionibus Orbium Coelestium</i> , in dem er die mathematischen Grundlagen für ein heliozentrisches Weltbild legt.
<b>1609</b>	Galileo Galilei benutzt zum ersten Mal ein Teleskop zur Beobachtung des Himmels. Er entdeckt damit vier Jupitermonde, viele Mondkrater sowie die Milchstraße.
<b>1609-19</b>	Johannes Kepler veröffentlicht die drei Kepler'schen Gesetze.
<b>1632</b>	Galileo Galilei veröffentlicht seine Arbeit über die Gezeiten, welche davon ausgeht, dass die Erde um die Sonne kreist.
<b>1633</b>	Galileo Galilei wird von der katholischen Kirche zum Widerruf seiner Theorien gezwungen.
<b>1687</b>	Isaac Newton veröffentlicht sein Werk <i>Philosophiae Naturalis Principia Mathematica</i> , das sich mit der Natur der Gravitation auseinandersetzt und einen Wendepunkt in der Naturphilosophie darstellt.
<b>1842</b>	Entdeckung des Dopplereffekts. Damit wird nun die Bestimmung der Geschwindigkeit von Sternen möglich.
<b>1860-63</b>	Beginn der Spektralanalyse von Sternenlicht
<b>1940</b>	Entdeckung der kosmischen Hintergrundstrahlung
<b>1972</b>	Vermutliche Entdeckung eines Schwarzen Loches im Sternbild des Schwans
<b>1990</b>	Das Spaceshuttle Discovery bringt das Weltraumteleskop Hubble in eine Umlaufbahn, das unvergleichliche Bilder von fernen Himmelsregionen zur Erde sendet.
<b>1992</b>	Der Vatikan gibt zu, dass er sich bei der Verurteilung Galileis geirrt hat.

schlägige Forscher auf der Welt kennt.“ Eine Liste der Kollegen, die man zu Forschungsaufenthalten einladen will, ist jedenfalls schon vorhanden.

### **Masse, Raum, Zeit – und keine weichen Knie**

Eigentlich hätte Stephan Paul von Anfang an weiche Knie haben müssen, denn anspruchsvollere Fragen als in diesem Exzellenzcluster kann man wohl kaum mehr formulieren: Woraus bestehen Masse, Raum und Zeit? Wie entstanden die Kräfte? Und welche Struktur hat unser Universum überhaupt? Aber die positive Resonanz bei seinen Kollegen bestärkte ihn: „Wir stellten bei unseren Gesprächen in den ersten Wochen fest, dass jeder von einer engen Zusammenarbeit seinen Nutzen haben würde. Die einen, weil sie neue Forschungsprojekte erhalten, andere, weil ihr Nachwuchs intensiv gefördert wird, und wieder andere, weil sie zusätzliche Doktoranden einstellen können.“ So schweißte Paul innerhalb kurzer Zeit ein Expertenteam zusammen, das sich mit Engagement an der Bewerbung um den Exzellenzcluster beteiligte.

Mitte Oktober 2006 war es dann so weit: Das Auswahlkomitee hatte den ehrgeizigen Münchner Vorschlag angenommen, der Exzellenzcluster war genehmigt. „Die Gutachter haben uns damit eine internationale Spitzenstellung bescheinigt“, so TUM-Präsident Wolfgang A. Herrmann zur Entscheidung des gemeinsamen

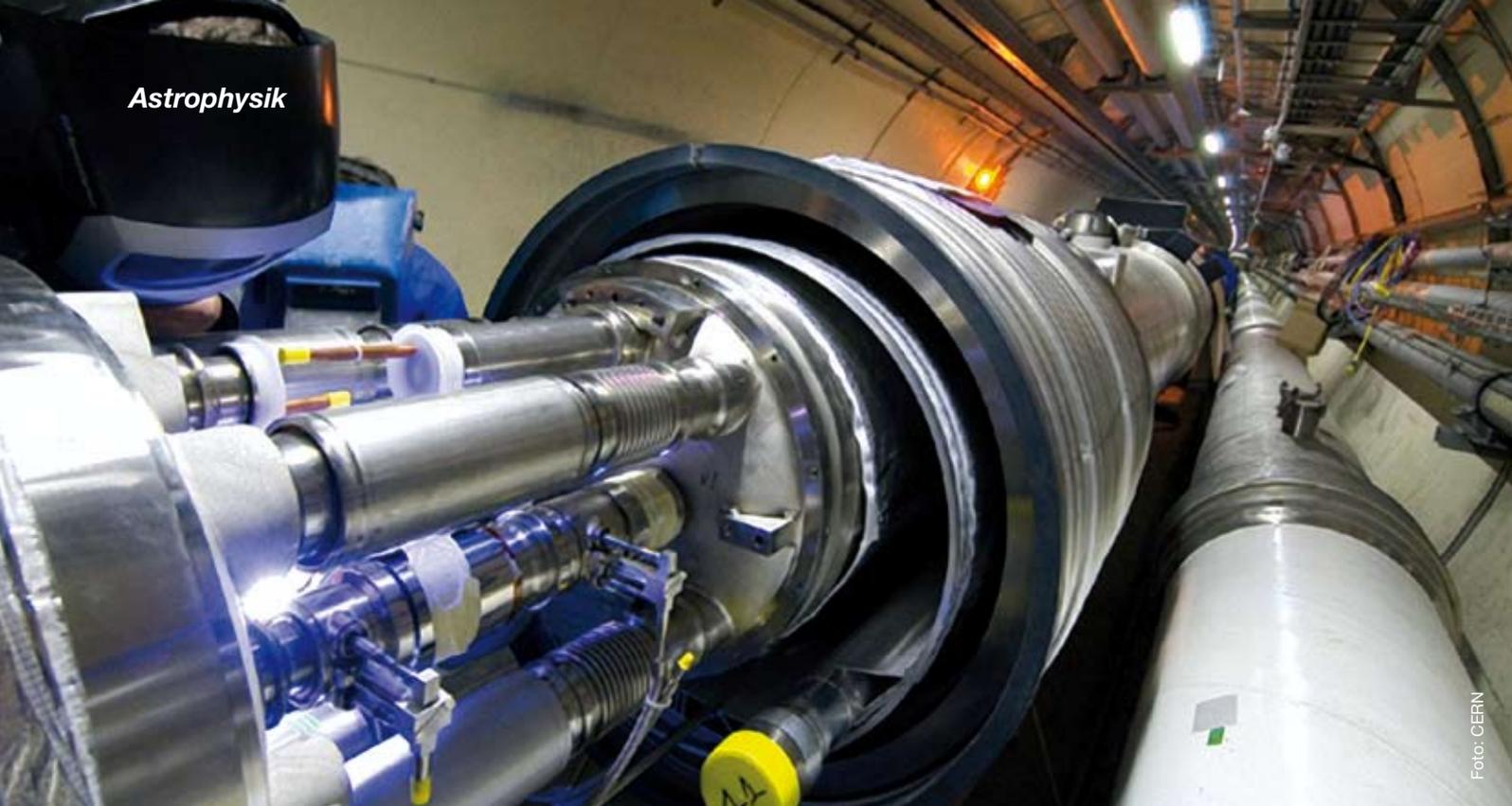
Bewilligungsausschusses der Deutschen Forschungsgemeinschaft und des Wissenschaftsrats. Fünf Jahre lang läuft nun das Projekt, zehn neue Arbeitsgruppen werden installiert und rund 40 Millionen Euro steckt das Forschungsministerium in den Cluster. Etwa 60 neue Stellen für wissenschaftliche Mitarbeiter sollen im Laufe des Projektes entstehen.

„Wir wollen nicht bereits bestehende, meist internationale Projekte stärker fördern“, so Stephan Paul, „sondern das Geld für lokale Investitionen verwenden.“

So wird beispielsweise die LMU ihre Sternwarte auf dem Wendelstein modernisieren. Zum Teleskop, das kürzlich angeschafft wurde, erhalten die Forscher dort moderne Instrumente. „Damit wird es möglich, Teile des Himmels nach Ereignissen zu durchmustern, die Hinweise geben auf die Natur der dunklen Materie“, erklärt Andreas Burkert.

### **Dem Urknall auf der Spur**

Dieser zählt zu den großen physikalischen Rätseln, die heute noch nicht einmal ansatzweise gelöst sind. Zwar haben es eine Vielzahl von Messungen mit erstaunlicher Genauigkeit in den letzten Jahren ermöglicht, dass man heute Aussagen über die Teilchenreaktionen machen kann, die kurz nach dem Urknall stattfanden, dass man die Masse entfernter Galaxien bestimmen, die Ausdehnungsgeschwindigkeit des Universums ▶



Zurzeit laufen am CERN bei Genf die letzten Arbeiten zum Aufbau des LHC-Beschleunigers. Hier werden ab 2008 Protonen aufein-

ander geschossen, um Bedingungen zu schaffen, wie sie kurz nach dem Urknall geherrscht haben

### Cocktailparty à la Higgs

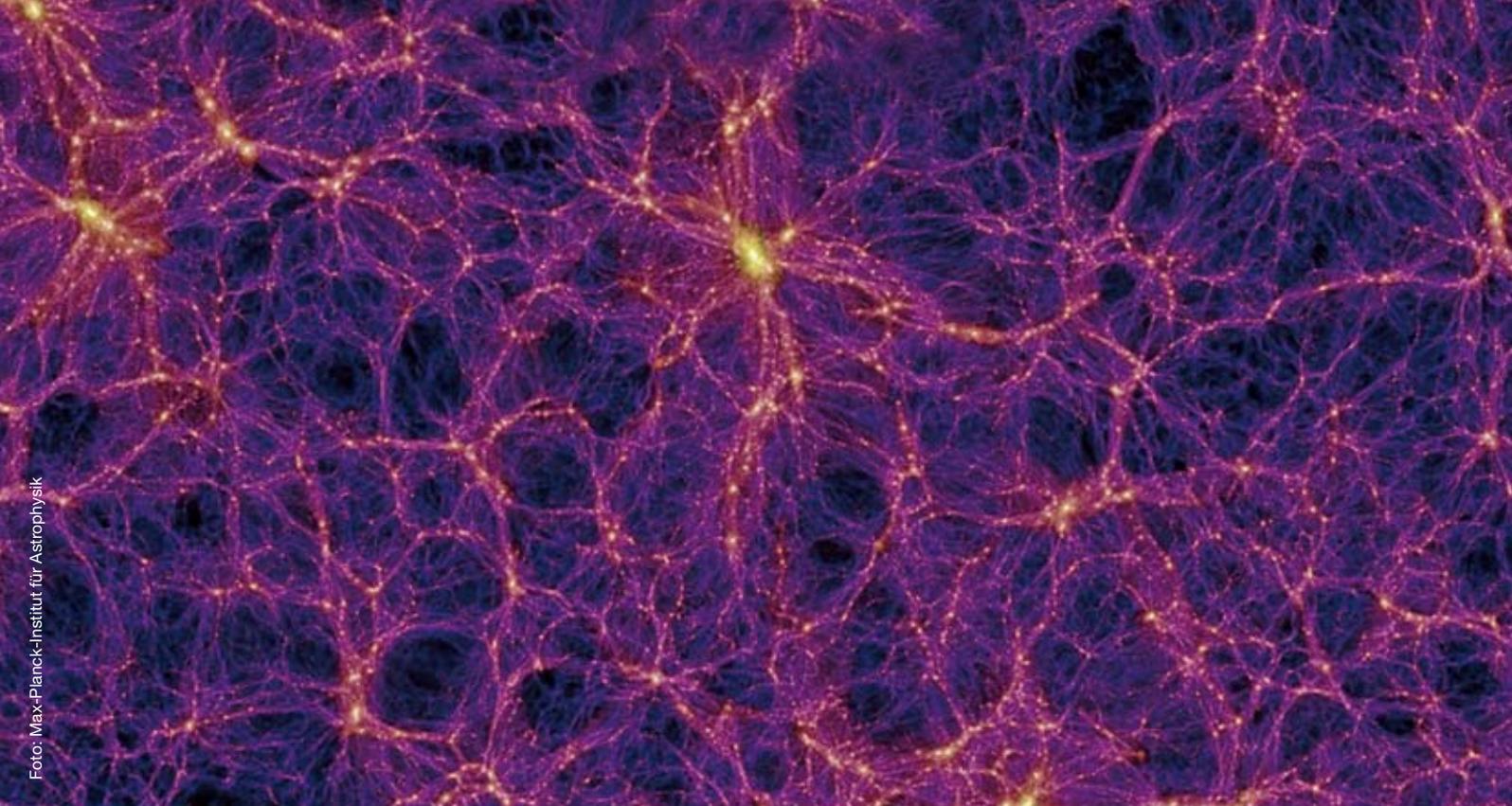
Der englische Forschungsminister William Waldegrave schrieb 1993 einen Wettbewerb aus: Er versprach demjenigen einen Preis, der es verstünde, auf einem einzigen DIN-A4-Blatt verständlich zu erklären, was das Higgs-Boson sei. Der Minister erhielt 125 Einsendungen, den ersten Preis (eine Flasche Champagner) vergab er an den Londoner Professor David Miller. Dessen Erklärung, kurz zusammengefasst: Stellen Sie sich eine Cocktailparty vor, bei der die Menschen gleichmäßig verteilt herumstehen und sich mit ihren jeweiligen Nachbarn unterhalten. Nun betritt die Ex-Premierministerin Thatcher den Raum. Während sie sich durch das Zimmer bewegt, zieht sie Leute an, die auf sie zukommen und danach wieder zu ihren ursprünglichen Gruppen zurückkehren. Durch die Zusammenballung von Menschen, die sich um sie herum bildet, hat sie eine größere Masse als normalerweise. Übertragen in drei Dimensionen entspricht dieses Phänomen dem Higgs-Mechanismus. Man stellt sich ein Feld vor, das lokal verändert wird, wenn ein Teilchen hindurchfliegt. Die Veränderung des Feldes ist das, was wir als Masse bezeichnen. Auf unserer Cocktailparty könnte man aber auch ohne Frau Thatcher eine Zusammenballung von Leuten erzeugen, die sich durch den Raum hindurch fortpflanzt, beispielsweise durch ein Gerücht, das von einem zum anderen Gast weitergegeben wird. Es würde ebensolche Menschengruppchen erzeugen, die sich danach wieder auflösen. So stellen sich die Physiker das Higgs-Teilchen selbst vor. Der Minister hat die Erklärung offenbar aufmerksam gelesen. Denn wenig später sagte er auf einer Pressekonferenz: „Das Higgs-Feld ist ein alles durchdringendes Feld, das andere Teilchen durchlaufen und dabei Masse gewinnen. Ich fange nun an, zu verstehen, warum dies wichtig ist.“

messen und die kleinen Schwankungen in der Intensität der kosmischen Hintergrundstrahlung registrieren kann. Aber sie haben auch neue Fragen aufgeworfen: So weiß man heute, dass der größte Teil der Masse des Universums nicht aus Sternen besteht, sondern dunkel ist und sich nur durch seine Gravitationswirkung offenbart.

Wahrscheinlich bestehen nur etwa vier Prozent der gesamten Masse aus „normaler“ Materie, aus der auch wir sind. Der Rest setzt sich möglicherweise aus exotischen Elementarteilchen zusammen, die noch aus den allerersten Sekunden nach dem Urknall stammen. Eine Zeitlang glaubte man, in den Neutrinos die fehlende Masse gefunden zu haben, aber inzwischen weiß man, dass sie nur „eine Prise Salz“ im kosmischen Gefüge sein können, maximal ein halbes Prozent dazu beitragen. So sind hier noch große Fragen offen und der Münchner Exzellenzcluster könnte eine Menge zu ihrer Erhellung beitragen.

### Stimmt das Modell der Physik noch?

Ein anderes noch ungelöstes Problem ist die Frage, warum das heute allgemein anerkannte Standardmodell der Physik etliche Phänomene der modernen Teilchen- und Astrophysik nicht befriedigend erklären kann. Außerdem enthält es eine ganze Reihe experimentell festgelegter Parameter, die sich nicht stringent aus der Theorie ableiten lassen. Viele Theoretiker liebäugeln deshalb mit einer revolutionären Erweiterung



In aufwändigen Computersimulationen versuchen Astrophysiker zu ergründen, wie sich nach dem Urknall das Universum

entwickelt hat. Hier sieht man, wie sich Materie zu schaumartigen Strukturen zusammenballt

des Modells, genannt „Supersymmetrie“, abgekürzt SUSY. Sie geht von der faszinierenden Idee aus, dass zu jedem Fermion ein entsprechendes Boson existiert und umgekehrt. Fermionen sind die Teilchen mit Spin  $\frac{1}{2}$ , aus denen sich – vereinfacht gesagt – die Materie zusammensetzt. Die Bosonen besitzen den Spin 1 und stellen die Austauschteilchen der Kräfte dar. SUSY sagt also im Grunde eine Verdoppelung aller Teilchentypen voraus, da jedes Materieteilchen noch ein korrespondierendes Kraftteilchen erhält und umgekehrt. Diese bisher unbekanntes Teilchen könnten auch ein interessanter Kandidat sein für die dunkle Materie.

### Neue Erkenntnisse am FRM II

Hinweise darauf, ob eine solche Supersymmetrie existiert, sollen auch Neutronenexperimente geben, die Stephan Paul und sein Team mit Cluster-Unterstützung an der Garchingener Forschungsneutronenquelle FRM II planen: Sie wollen die neutralen Teilchen extrem stark abbremsen, sie in Fallen einschließen und mit weit höherer Genauigkeit als bisher messen, ob sie ein elektrisches Dipolmoment besitzen, sich also wie winzige Antennen verhalten. Sollte dies der Fall sein, könnte dies nicht mehr durch die heutigen Modelle erklärt werden – neue Theorien würden nötig. Relevant für das Verständnis der Teilchenphysik ist auch die Lebensdauer der Neutronen, die das Team präzise messen will.

Die Frage, warum es überhaupt Materie gibt, wird vielleicht schon bald beantwortet werden, und zwar durch

die Arbeiten am 27 Kilometer langen Ringbeschleuniger LHC (Large Hadron Collider), der im Jahr 2008 bei Genf in Betrieb gehen soll. Er wird Energien erreichen, bei denen man hofft, etwa das Higgs-Teilchen zu finden.

Es spielt heute bereits eine wichtige Rolle in der Theorie, konnte aber bisher noch nicht einwandfrei experimentell nachgewiesen werden. Mit seiner Hilfe soll die grundlegende Frage geklärt werden, wie Masse entsteht. Auch hier sind eine Vielzahl Münchner und Garchingener Physiker beteiligt.

Die Vorhaben der Cluster-Physiker sind also extrem anspruchsvoll. Zudem ist der Zusammenschluss ein mutiges Unterfangen, prallen doch hier nicht nur extreme Forschungsansätze aufeinander, sondern auch unterschiedliche Sprachen und zwei „Hochschul-Kulturen“, nämlich die der LMU und der TUM.

### Zwei Kulturen, ein Forschergeist

Aber es reizt die Herausforderung, Extreme auszuloten: Auf der einen Seite die Beschäftigung mit den allerwinzigsten Bausteinen der Materie, die so klein sind, dass man bei vielen noch nicht einmal weiß, ob sie überhaupt eine räumliche Ausdehnung besitzen, auf der anderen Seite die Betrachtung der kosmologischen Zusammenhänge, die sich mit Signalen von Galaxienhaufen am äußersten Rand des Universums beschäftigen, Milliarden von Lichtjahren von uns entfernt. Weiter kann man die Maßstäbe wohl nicht mehr spannen.

*Brigitte Röthlein*