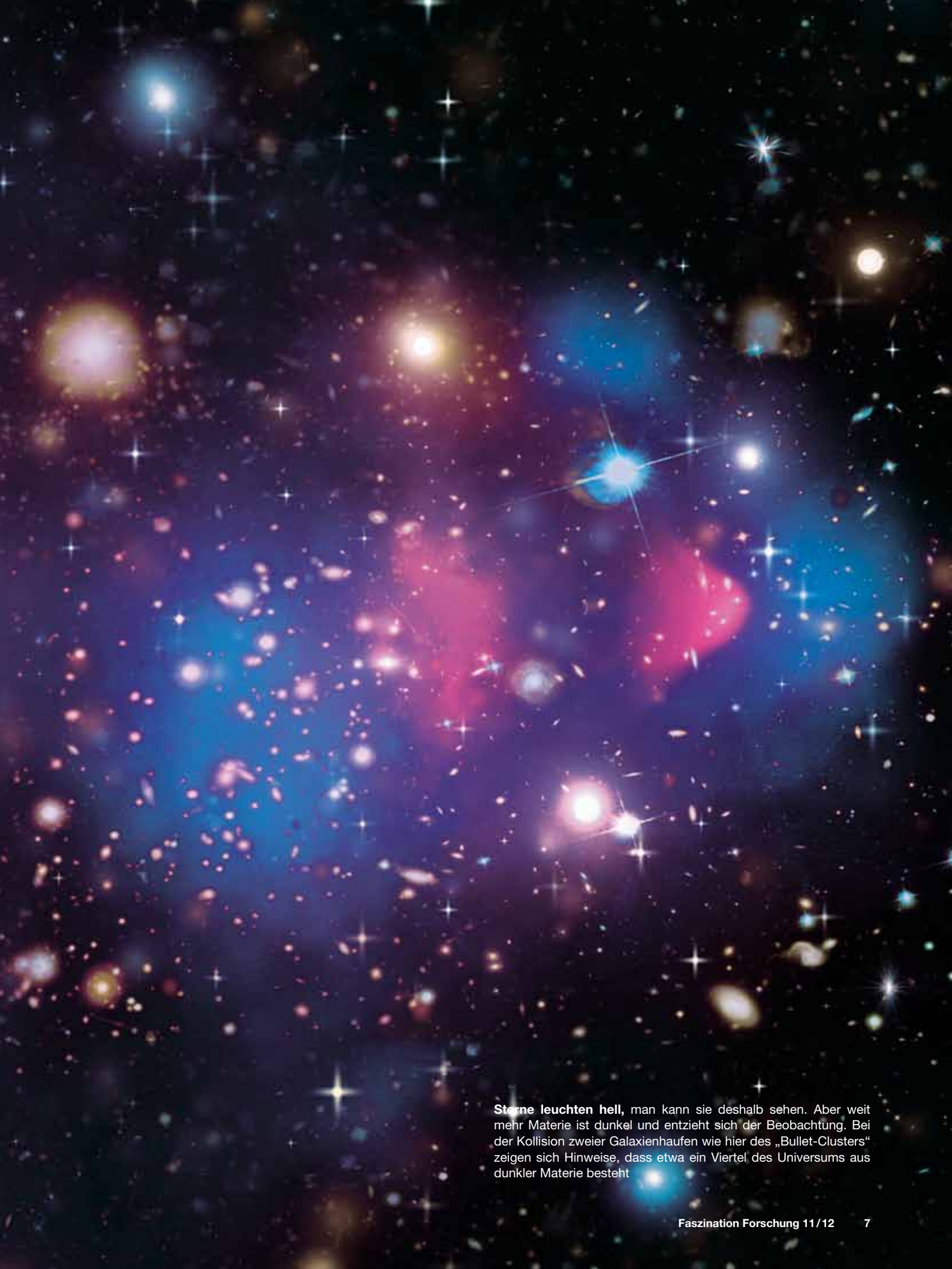


# Eine Brille für die dunkle Seite der Welt

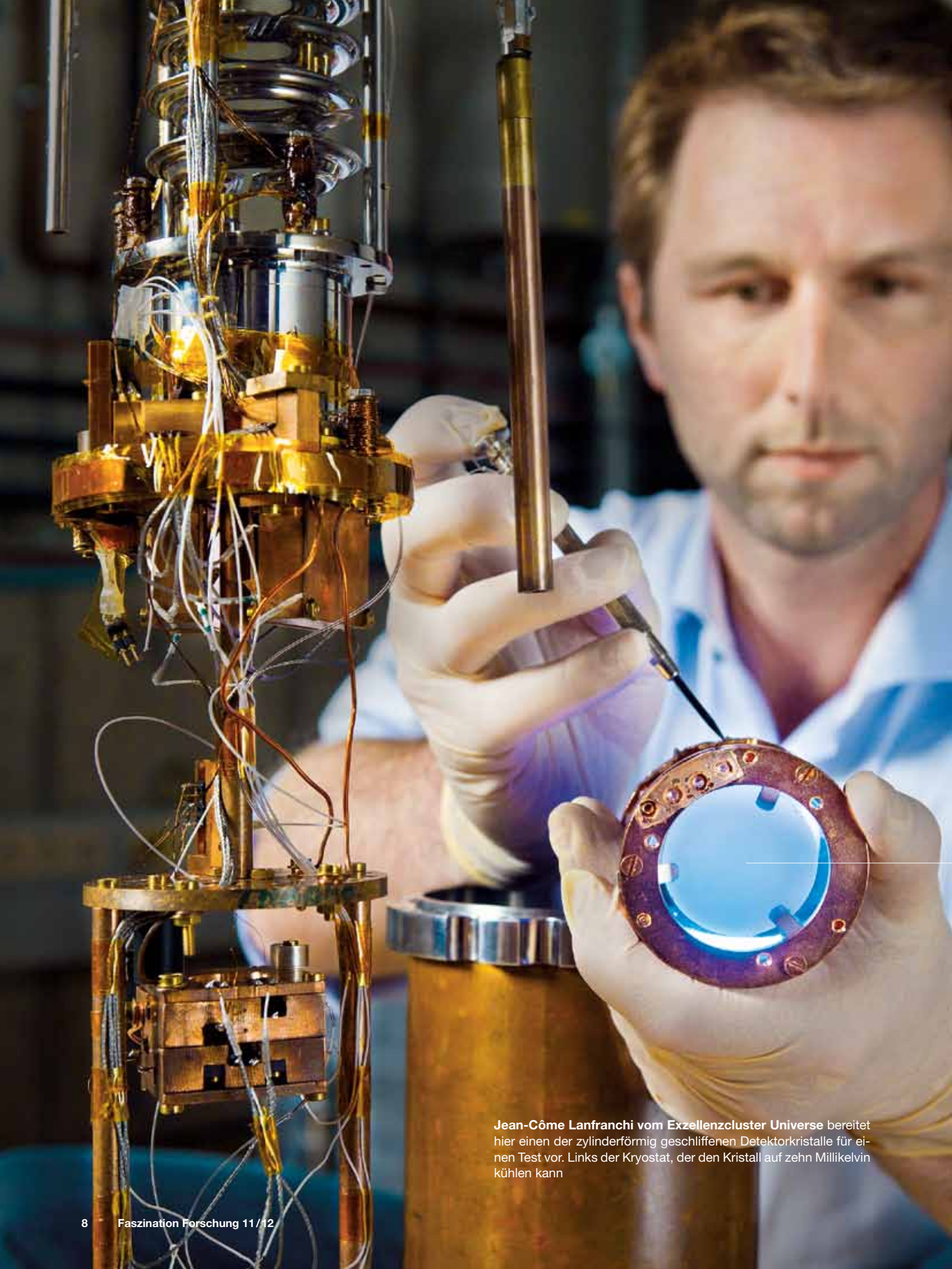
Tief unter dem Gran-Sasso-Massiv in Italien versuchen Forscher, dunkle Materie nachzuweisen. Die entscheidende Rolle spielen dabei Kristalle, die von Spezialisten der TU München mit sehr viel Geduld und Know-how angefertigt und zu höchst empfindlichen Detektoren gemacht werden

## Links

[www.e15.ph.tum.de/research\\_and\\_projects/cresst](http://www.e15.ph.tum.de/research_and_projects/cresst)  
[www.universe-cluster.de](http://www.universe-cluster.de)



**Sterne leuchten hell**, man kann sie deshalb sehen. Aber weit mehr Materie ist dunkel und entzieht sich der Beobachtung. Bei der Kollision zweier Galaxienhaufen wie hier des „Bullet-Clusters“ zeigen sich Hinweise, dass etwa ein Viertel des Universums aus dunkler Materie besteht



**Jean-Côme Lanfranchi vom Exzellenzcluster Universe** bereitet hier einen der zylinderförmig geschliffenen Detektorkristalle für einen Test vor. Links der Kryostat, der den Kristall auf zehn Millikelvin kühlen kann

**Szintillierende Kristalle**  
aus Kalziumwolframat



#### Warum es dunkle Materie geben muss

Spiralgalaxien wie beispielsweise unsere Milchstraße würden von der Fliehkraft zerrissen, wenn es nicht eine Art von dunkler Materie gäbe, die sie durch ihre Gravitation zusammenhalten würde. Im Außenbereich solcher Galaxien ist die Rotationsgeschwindigkeit sehr hoch, und die beobachtete leuchtende Materie reicht nicht aus, um ihren Zusammenhalt zu erklären. Neben derartigen Beobachtungen, wie sie Fritz Zwicky schon 1933 machte, gibt es inzwischen weitere Hinweise: Gravitationslinsen beugen das Licht in weit stärkerem Maß, als dies nach ihrer sichtbaren Materie geschehen dürfte. Auch Kosmologen, die darüber nachdenken, was kurz nach dem Urknall geschehen sein mag, fanden Hinweise, die auf die Existenz dunkler Materie hindeuten, etwa die Strukturbildung im Universum, die sich mit dunkler Materie in Simulationen perfekt erklären lässt.

**E**s war eine Katastrophe: Kaum war Hermann VIII. aus dem Ofen genommen und auf den Tisch gelegt worden, machte er leise klack, klack, klack und zersprang in mehrere Stücke. Dr. Andreas Erb, der das Werden des Einkristalls in mehr als zehnstündiger Sitzung beobachtet und überwacht hatte, war wie vom Donner gerührt. Erst nachträglich ging ihm auf, was das wertvolle Stück zerstört hatte: Im Ofen hing der Kristall senkrecht nach unten, und entsprechend hatten sich Spannungen in seinem Inneren aufgebaut. Sobald die ausgleichende Zugspannung fehlte, weil der Kristall waagrecht lag, führten die Spannungen zum Bruch des Materials.

Der Physiker und Kristallzüchter Erb hat aus dem Debakel gelernt: Heute zieht er große Kristalle so, dass sie „schmalere Schultern“ haben. „Ich habe mir das von den alten Dombaumeistern abgeschaut“, sagt er, „denn auch bei deren Bauten ging es darum, wie man Querkräfte wirkungsvoll ableiten kann. Und da kommt es auf steile Winkel an.“ Mittlerweile ist es Erb gelungen, mehrere perfekte Kristalle herzustellen, die jeweils über 850 Gramm schwer sind. Und weil sie ihm ans Herz gewachsen sind, hat er ihnen Namen gegeben: Er hat sie nach Markgrafen aus seiner badischen Heimat benannt. Da gibt es Philibert und Jakob

II. oder Bernhard III. „Momentan sind wir in der Bernhardinischen Hauptlinie des Hauses Baden bei Ludwig Wilhelm angekommen, der wegen seiner Verdienste in den Türkenkriegen auch Türkenlouis genannt wurde und im 17. Jahrhundert ein richtiggehender ‚Popstar‘ war“, erzählt Erb. Auch der Ludwig Wilhelm aus dem TUM Kristalllabor kann Geschichte schreiben: Zusammen mit anderen markgräflichen Einkristallen wird er quaderförmig zugeschliffen und spielt ab Ende des Jahres die Hauptrolle in einem wissenschaftlichen Krimi: Im Experiment CRESST (Cryogenic Rare Event Search with Superconducting Thermometers) im Gran-Sasso-Untergrundlabor, an dem außer TUM Forschern noch Physiker des Max-Planck-Instituts für Physik in München und der Universitäten Tübingen und Oxford teilnehmen, soll er dabei helfen, Teilchen der geheimnisvollen dunklen Materie dingfest zu machen.

#### Wenige Millionstel Grad

Dass diese Kristalle dazu in der Lage sind, liegt an ihrem Material: Sie bestehen aus Kalziumwolframat, einer transparenten Substanz. „Sie hat die Eigenschaft, dass sie beim Eindringen eines Teilchens zwei Reaktionen parallel zeigt“, sagt Dr. Jean-Côme Lanfranchi, Gruppenleiter ▶

an der TUM und Mitglied der CRESST-Kollaboration. „Das Kristallgitter gerät in Schwingung, dadurch erwärmt sich der Kristall um einige Millionstel Grad, und gleichzeitig gibt der Kristall abhängig von dem einfallenden Teilchen einen unterschiedlich starken Lichtblitz ab – wir Physiker nennen das Szintillation.“ Genau diese Fähigkeit wollen sich die Forscher zunutze machen, um Teilchen zu finden, die bisher weltweit noch niemand mit Sicherheit nachweisen konnte: sogenannte WIMPs. Die englische Abkürzung steht für „Weakly Interacting Massive Particles“, also Teilchen, die zwar massiv sind, aber nur schwach mit unserer „normalen“ Materie wechselwirken.

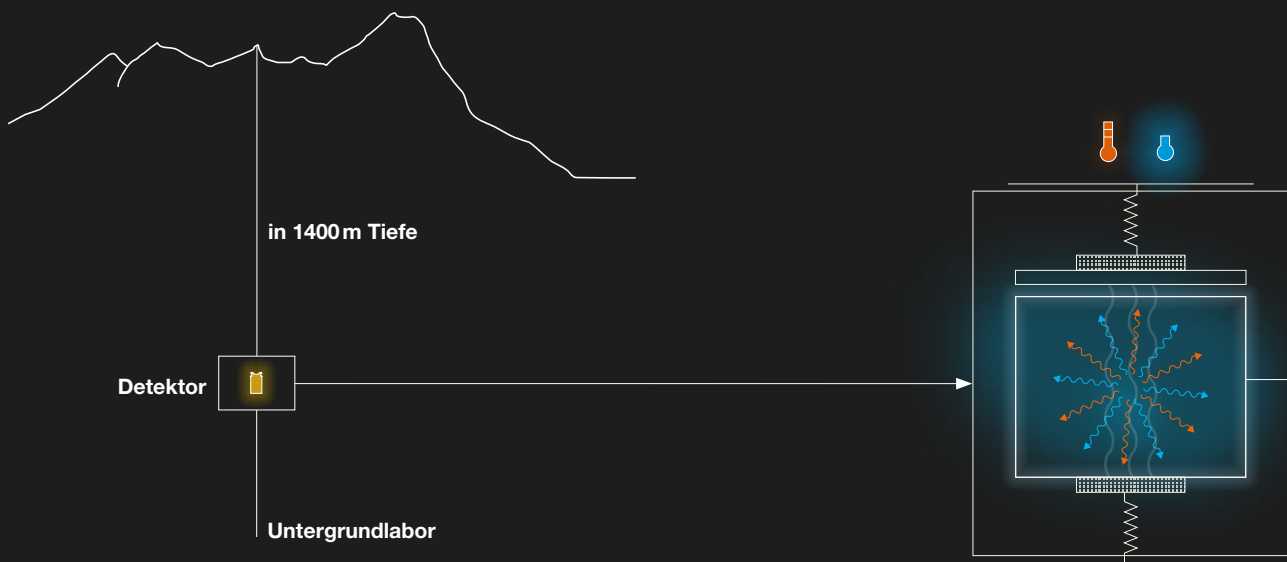
Dass sie dies nur sehr selten und dann nur sehr schwach tun, ist der Grund, warum man bisher keine WIMPs zu fassen bekam. Denn obwohl man annimmt, dass sie so schwer sind wie unsere Atome und dass sich im Mittel in der Milchstraße etwa ein WIMP pro Kaffeetasse befinden müsste, fliegen sie praktisch ungestört auch durch massivste Körper hindurch.

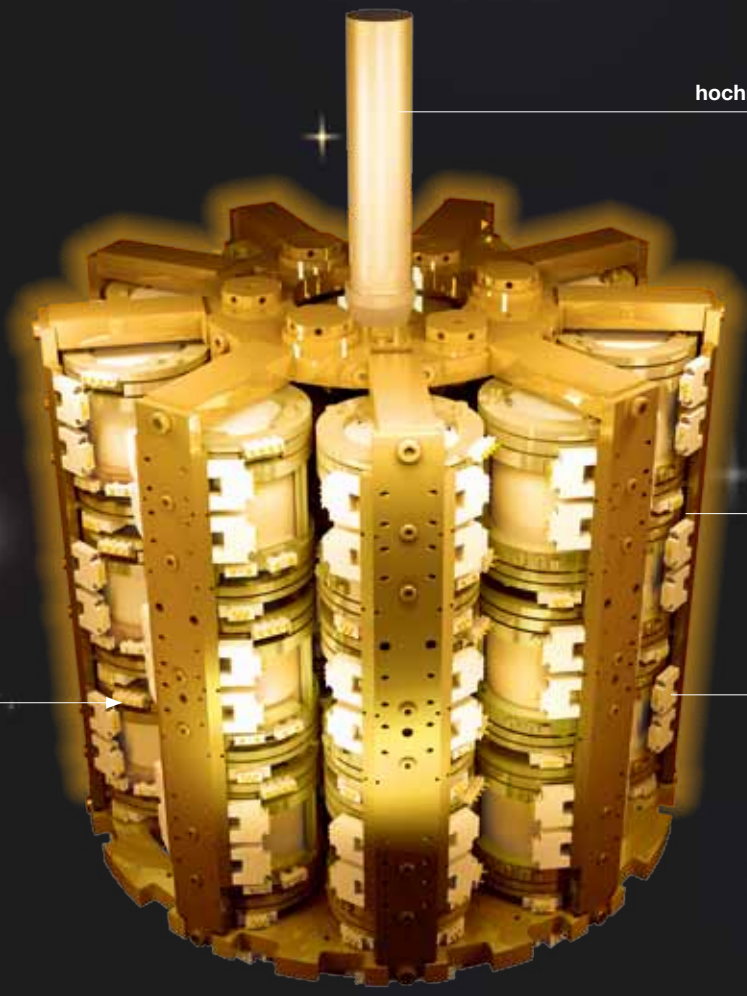
Es bedarf also höchster Experimentierkunst, Detektoren zu bauen, die in der Lage sind, die flüchtigen Teilchen dennoch nachzuweisen. Und Lanfranchi ist einer, der diese Kunst beherrscht, wenn es um außergewöhnlich empfindliche Kristalldetektoren geht. Jahrelang hat er ähnliche Messgeräte entwickelt für die Suche nach Neutrinos – extrem kleine Teilchen, die ebenfalls kaum mit Materie in Kontakt treten, inzwischen aber erfolgreich erforscht werden.

### Mehr dunkle Materie als sichtbare

Dass es die geheimnisvolle dunkle Materie gibt, davon sind die meisten Wissenschaftler überzeugt. Seit Astrophysiker herausgefunden haben, dass im Weltall weit mehr davon existieren muss als von der sichtbaren Variante, suchen sie danach. Spiralgalaxien wie unsere Milchstraße würden von der Fliehkraft zerrissen, wenn dunkle Materie sie nicht zusammenhalten würde. Neben derartigen Beobachtungen, die zum Teil schon aus den 30er-Jahren datieren, gibt >

Um möglichst viele Einflüsse von außen abzuschirmen, haben die Forscher ihr Labor 1400 Meter unter dem Gran-Sasso-Massiv aufgebaut. Dort steht auch der CRESST-Detektor, rechts im Querschnitt

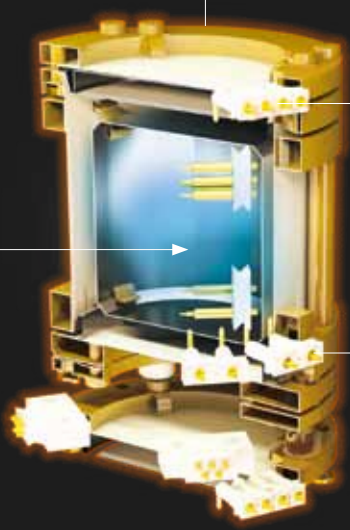




Kaltfinger, der die Kälte in das hochreine Detektorvolumen überträgt

hochreines Kupfer

Detektormodule



Lichtdetektor

Kristalldetektor

**Der Einkristall wird ganz langsam aus der Schmelze gezogen.** Das Ganze geschieht bei 1600 Grad Celsius. Über die Wendel am Rand wird zum Erhitzen eine Hochfrequenz eingekoppelt

es inzwischen weitere Hinweise, etwa bei der Dynamik von Galaxienhaufen. Auch Kosmologen, die darüber nachdenken, was kurz nach dem Urknall geschehen sein mag und wie die Strukturen im Universum zustande kamen, fanden Hinweise, die auf die Existenz dunkler Materie hindeuten (siehe Kasten Seite 9). Deren Masse soll etwa 76 Prozent der Gesamtmaterie des Universums betragen. Wie könnte sie beschaffen sein?

### **Schwer wie Gold oder Blei**

Viele Forscher glauben, dass es sich um WIMPs handelt, die noch aus den allerersten Sekunden nach dem Urknall stammen (siehe Kasten Seite 15). Derartige Teilchen sollten aufgrund der Indizien etwa so schwer sein wie größere Atomkerne, etwa Gold- oder Bleikerne, die aber so schwach wie Neutrinos oder sogar noch schwächer wechselwirken. Um die sichtbare Scheibe unserer Milchstraße sollen die WIMPs eine enorme Wolke bilden, durch welche sich die Erde gemeinsam mit der Sonne hindurchbewegt. Forscher auf der ganzen Welt haben sich unterschiedliche Strategien ausgedacht, wie man der Teilchen habhaft werden könnte. Astrophysiker schicken Messgeräte auf Satelliten ins All, um nach Zerfallsprodukten zu suchen, falls WIMPs mit ihren An-

teilchen zusammenstoßen und sich gegenseitig vernichten. Teilchenphysiker versuchen, sie in großen Beschleunigern künstlich zu erzeugen und nachzuweisen, andere Gruppen gehen unter die Erde und bauen dort Nachweisgeräte auf. Wie Detektive versuchen sie, Spuren zu finden, die von WIMPs stammen können oder bestenfalls sogar müssen. „Letztendlich wird nur eine widerspruchsfreie gemeinsame Interpretation von Ergebnissen der direkten Suche, der indirekten Suche, der Suche an Beschleunigern und der Untersuchung des gravitativen Verhaltens einen eindeutigen Beweis erbringen“, sagt Lanfranchi.

### **Extrem kalte Kristalle**

So haben auch die Wissenschaftler im CRESST-Experiment 1400 Meter unter dem italienischen Gran-Sasso-Massiv, 120 Kilometer nordöstlich von Rom, ihre Detektoren in Stellung gebracht. Sie bestehen aus den schon vorgestellten Kalziumwolframat-Kristallen, auf deren Oberfläche eine dünne supraleitende Schicht aus Wolfram aufgebracht wurde. Das Ganze kühlt man sehr stark, auf zehn Tausendstel Kelvin über dem absoluten Nullpunkt. Sollte nun ein WIMP ein Atom anstoßen und so eine Gitterschwingung auslösen, erwärmt sich der Kristall um einige ▷







Am Tandem-Beschleuniger in Garching charakterisiert das Team von Jean-Côme Lanfranchi die Detektoren. Man schießt Neutronen darauf und misst die Reaktion. Diese Anlage ist einmalig auf der Welt

Am Ende dieses Strahlrohrs werden in einer Kernreaktion Neutronen erzeugt, welche auf den Tieftemperaturdetektor treffen. Messungen dieser Art sind von essentieller Bedeutung, um den bei der Suche nach dunkler Materie gefährlichen Neutronenuntergrund in den Experimenten CRESST und EURECA zu verstehen



### Welche Kandidaten gibt es für die dunkle Materie?

Der größte Teil der Masse des Universums besteht nicht aus Sternen, sondern ist dunkel und offenbart sich nur durch seine Gravitationswirkung. „Lassen Sie sich nicht von den hellen Lichtern täuschen“, so der theoretische Physiker Michael Turner vom Enrico-Fermi-Institut in Chicago, „in Wirklichkeit kontrolliert die dunkle Seite das Universum.“ Wahrscheinlich bestehen nur etwa sieben Prozent der gesamten Masse aus „normaler“ Materie, aus der auch wir sind. Der Rest setzt sich aus sogenannten WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) zusammen. Dabei handelt es sich vielleicht um supersymmetrische Elementarteilchen, die noch

aus den allerersten Sekunden nach dem Urknall stammen. Eine Zeitlang glaubte man auch, in den Neutrinos die fehlende Masse gefunden zu haben, aber inzwischen weiß man, dass sie nur „eine Prise Salz“ – so Turner – im kosmischen Gefüge sein können und maximal ein halbes Prozent dazu beitragen. Sie wären aufgrund ihrer geringen Masse auch nicht in der Lage, Sterne und Galaxien zu bilden. Noch schwieriger zu finden wären Super-WIMPs, die von manchen Forschern postuliert werden. Sie würden nur durch Gravitation mit unserer Materie wechselwirken; ein direkter Nachweis wäre in diesem Fall äußerst fraglich.

Millionstel Grad. Dies führt dazu, dass die Wolframschicht in einen Temperaturbereich kommt, in dem in ihr die Supraleitung beginnt zusammenzubrechen. Dabei ändert sich der elektrische Widerstand sehr stark. Ein winzig kleiner Temperaturunterschied zieht somit ziemlich gravierende Folgen für die Leitfähigkeit der Schicht nach sich und sorgt dafür, dass man das Ereignis mit hochempfindlichen magnetischen Messgeräten, sogenannten SQUIDs (Superconducting Quantum Interference Devices), erkennen kann.

Leider reagieren die Kristalle nicht nur auf WIMPs, sondern auch auf fast alle anderen Teilchen, die von außen angefliegen kommen. Da gibt es Myonen, Neutronen, Elektronen, Photonen und Alphateilchen, und deren Vorkommen ist um viele Größenordnungen häufiger als die erwarteten seltenen Zusammenstöße mit dunkler Materie. Das A und O ist es also, alles herauszufiltern, was nicht auf dunkle Materie hindeutet. Drei Strategien gibt es dafür: Störungen abschirmen, vermeiden oder sie registrieren und anschließend herausrechnen. In CRESST werden alle drei kombiniert.

Zwar ist das Experiment durch die großen Gesteinsmassen über dem Untergrundlabor gut gegen die lästige kosmische Strahlung abgeschirmt. Zusätzlich wird aber ein gigantischer Aufwand betrieben, um alle anderen Arten von un-

erwünschten Effekten zu eliminieren, etwa die Folgen der radioaktiven Strahlung aus dem Detektor selbst und seiner Umgebung. „Da wir erkannt haben, dass Neutronen besonders häufig stören, umgaben wir den Kryostat mit einer 50 Zentimeter dicken Schicht aus Polyethylen“, sagt Lanfranchi. „Dieses Material kann die Neutralteilchen besonders effizient abfangen. Außerdem installierten wir einen eigenen Detektor für Myonen, der diese erkennt und aussortiert.“ Natürlich darf kein Mensch die wertvollen Detektoren berühren, denn allein in seinem Schweiß ist so viel radioaktives Kalium enthalten, dass er damit die Messungen verderben würde. So steckt der Versuchsaufbau abgeschlossen von der äußeren Welt in einem rund fünf Meter hohen Kasten aus Spezialmaterial, das möglichst rein und möglichst wenig radioaktiv ist. Auch bei den Vorversuchen, die die Forscher in Garching im dortigen Untergrundlabor und am Beschleuniger machen, ist höchste Sorgfalt angesagt.

### Kontroverse Ansichten

Seit 2007 ist CRESST in Betrieb. Zwischen 2009 und 2011 hat es 67 Ereignisse gemessen, von denen rein statistisch gesehen lediglich etwa die Hälfte auf die üblichen Hintergrundereignisse zurückgeführt werden kann. Sollten ▷



**Unter dem wachsamem Auge** des Physikers und Kristallzüchters Andreas Erb entstehen die Kristalle für den CRESST-Detektor

die Forscher mit den restlichen Signalen wirklich die lange gesuchten WIMPs nachgewiesen haben, wären diese eher leichte Teilchen, eine Variante, die jedoch vom konkurrierenden Experiment Xenon-100 ausgeschlossen wurde. Wissenschaftler aus Chicago und Rom hingegen bekräftigten das CRESST-Ergebnis. „Da wird auf den Fachtagungen

hart diskutiert“, erzählt der 39-jährige Jean-Côme Lanfranchi, „selbst wenn man mit den Kollegen von anderen Experimenten persönlich befreundet ist.“

Seiner Ansicht nach hat sich der Ansatz, Kalziumwolframat-Kristalle als Nachweismedium zu nutzen, bereits bewährt. „Wir können bei diesem Material nicht nur die relevanten Ereignisse leichter finden, da Gitterschwingung und Szintillation gleichzeitig auftreten, sondern wir haben auch die Möglichkeit, die Masse der WIMPs in einem sehr weiten Bereich zu messen. Das können andere Verfahren nicht.“ Noch bessere Ergebnisse als bisher versprechen sich die Forscher vom CRESST-Nachfolgeexperiment, das bereits in Vorbereitung ist. Es soll EURECA (European Underground Rare Event Calorimeter Array) heißen und bis zu 500 Kilogramm Kalziumwolframat enthalten, was ohne das Kristalllabor der TUM gar nicht möglich wäre. Bisher musste man sich auf gekaufte Einkristalle aus Russland, China und der Ukraine verlassen, die nicht nur extrem teuer, sondern auch bezüglich ihrer Reinheit und Qualität nur schwer zu kontrollieren waren. Nun aber wird man die selbst gefertigten Kristalle einsetzen können. Die Forscher um Lanfranchi und Erb hoffen, damit der dunklen Materie näherzukommen.

*Brigitte Röthlein*