

Wissen

Das Rätsel der dunklen Materie

Niemand weiss, woraus der Grossteil des Universums besteht. Jetzt haben Forscher tief unter den Bergen ein fantastisches Experiment aufgebaut, um die kosmischen Teilchen einzufangen.

Thomas Bührke, Text
Marina Bräm, Grafik

Vor vier Jahren verkündeten Physiker die Entdeckung des Higgs-Teilchens. Jetzt wollen Forscherteams ein weiteres, jahrzehntealtes Rätsel der Physik lösen: das der dunklen Materie. Weltweit haben sich mehrere Gruppen diesem Ziel verschrieben, das empfindlichste Experiment namens XenonIT geht nun in einem Untergrundlabor in den italienischen Abruzzen in Betrieb. Massgeblich beteiligt ist ein Team der Universität Zürich unter der Leitung von Laura Baudis.

Die Suche nach dem Higgs-Teilchen und Gravitationswellen erforderte zwar einen enormen Aufwand, aber die Physiker waren sich einigermaßen sicher, wie sie zum Ziel gelangen konnten. Bei den mutmasslichen Teilchen der dunklen Materie ist dies anders. «Wir sind hier in einer vergleichbaren Lage wie einst Christoph Kolumbus», sagt Manfred Lindner, der die XenonIT-Gruppe am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg leitet: «Wir begeben uns in ein unbekanntes Gebiet und wissen nicht, was uns erwartet.» Dabei ist das Problem mehr als 80 Jahre alt.

In den 30er-Jahren entdeckte der in die USA emigrierte Schweizer Astronom Fritz Zwicky, dass sich Galaxien in ihrem Verbund so schnell bewegen, dass ihre gemeinsame Schwerkraft nicht ausreicht, um den Haufen zusammenzuhalten. Er schloss daraus, dass es eine grosse Menge an unsichtbarer Materie geben müsse, die sich nur über ihre Schwerkraft äussert. Zwicky kreierte damals den Begriff dunkle Materie. «Es gibt mittlerweile sehr viele weitere Hinweise auf dunkle Materie» sagt Laura Baudis. An der Existenz dieser rätselhaften Substanz zweifelt kaum ein Astrophysiker, doch woraus besteht sie?

«Wir begeben uns in ein unbekanntes Gebiet und wissen nicht, was uns erwartet», sagt Professor Manfred Lindner.

Nach gängiger Lehrmeinung ist die dunkle Materie eine unbekannte Sorte von Elementarteilchen. Diese haben sich zu riesigen Wolken zusammengeballt, in denen die Galaxien und Galaxienhaufen eingebettet sind. Diese unsichtbare Ingredienz macht 80 Prozent der im Universum vorhandenen Materie aus - die Gaswolken, Sterne und Planeten bilden nur die Spitze des Eisberges.

Aus astronomischen Beobachtungen und theoretischen Argumenten können Forscher einige Eigenschaften der Dunkle-Materie-Teilchen ableiten. Demnach sind sie etwa so schwer wie Atome, elektrisch neutral und gehen mit normaler Materie so gut wie keine Wechselwirkung ein. Anders gesagt: Sie durchqueren alle Körper im Universum nahezu ungehindert. In jeder Sekunde rasen rund hunderttausend Teilchen völlig unbemerkt durch die Fläche eines Fingernagels. Wegen dieser Eigenschaften haben sie den Namen Weakly Interacting Massive Particles, abgekürzt Wimp, erhalten. Bezeichnenderweise bedeutet das Akronym Wimp im Englischen so viel wie Schwächling.

Schlusspurt im Berglabor

Die Suche nach den Wimps läuft seit zwanzig Jahren. Obwohl die Empfindlichkeit der Detektoren alle zwei Jahre um das Zehnfache gesteigert werden konnte, blieb der Erfolg bislang aus. Jetzt soll das Rätsel gelöst werden.

Will man Forschern wie Baudis und Lindner bei ihrer Arbeit zusehen, muss man einen ungewöhnlichen Ort aufsuchen: das Gran-Sasso-Labor. Man erreicht es durch ein Tor, das inmitten eines 10 Kilometer langen Autobahntunnels durch die Abruzzen abzweigt. Dahinter verbirgt sich das grösste Untergrundlabor der Welt. In drei jeweils 100 Meter langen, 20 Meter breiten und

18 Meter hohen Hallen stehen mehrere Experimente, von denen XenonIT derzeit wohl das grösste ist.

Ein dreistöckiger Glasbau beherbergt Gasflaschen, Pumpen, Computer und Steuerungsanlagen. Daneben erhebt sich ein knapp bis unter die Decke aufragender Behälter, der an ein Silo erinnert. In seinem Innern steckt das Herz der Anlage: ein Teflontank, gefüllt mit 3,5 Tonnen an flüssigem Xenon. Der Nachweis ist im Prinzip einfach: «Wenn ein Wimp mit einem Xenonatom zusammenstösst, wird ein Lichtblitz frei, den etwa 250 empfindliche Fotodetektoren registrieren», erklärt Manfred Lindner. Ausserdem werden bei einem solchen Zusammenstoss Elektronen frei, die ein aussen angelegtes elektrisches Feld an die Oberfläche der Flüssigkeit zieht. Dort reagieren die Elektronen mit Atomen, wobei erneut ein Lichtblitz entsteht. Diese zwei zeitlich verzögerten Lichtsignale verraten das Eindringen eines Wimp.

Reinste Anlage der Welt

Doch ganz so einfach ist es nicht. Es gibt nämlich eine ganze Reihe von anderen Effekten, die ein ähnliches Signal hervorrufen. Die stärkste Störquelle sind Teilchen der kosmischen Strahlung, die unablässig auf die Erde einprasseln. In diesem Teilchenregen würde ein schwaches Wimp-Signal untergehen wie ein Glühwürmchen im Silvesterfeuerwerk. Rund 1400 Meter Fels über dem Labor schirmt aber die empfindlichen Geräte davor ab. Zudem steckt der kühlstrangkrosse Xenondetektor in einem Wassertank, der ihn vor äusserer radioaktiver Strahlung schützt.

«Die in der Luft und in den verwendeten Materialien enthaltenen radioaktiven Stoffe wie Radon und Krypton sind für uns das grösste Problem», sagt Baudis. Mit beispielloser Akribie schufen die Xenon-Forscher die wohl reinste physikalische Anlage weltweit. Das betrifft natürlich auch das Detektormaterial: «Die Xenonflüssigkeit ist so sauber, wie ein Kubikkilometer reines Wasser, in das man einmal hineinhustet», veranschaulicht Manfred Lindner. Das Xenon befindet sich zudem in einem ständigen Reinigungskreislauf, einer Art Dialyse, die immer wieder aufs Neue eindringendes Radon entfernt.

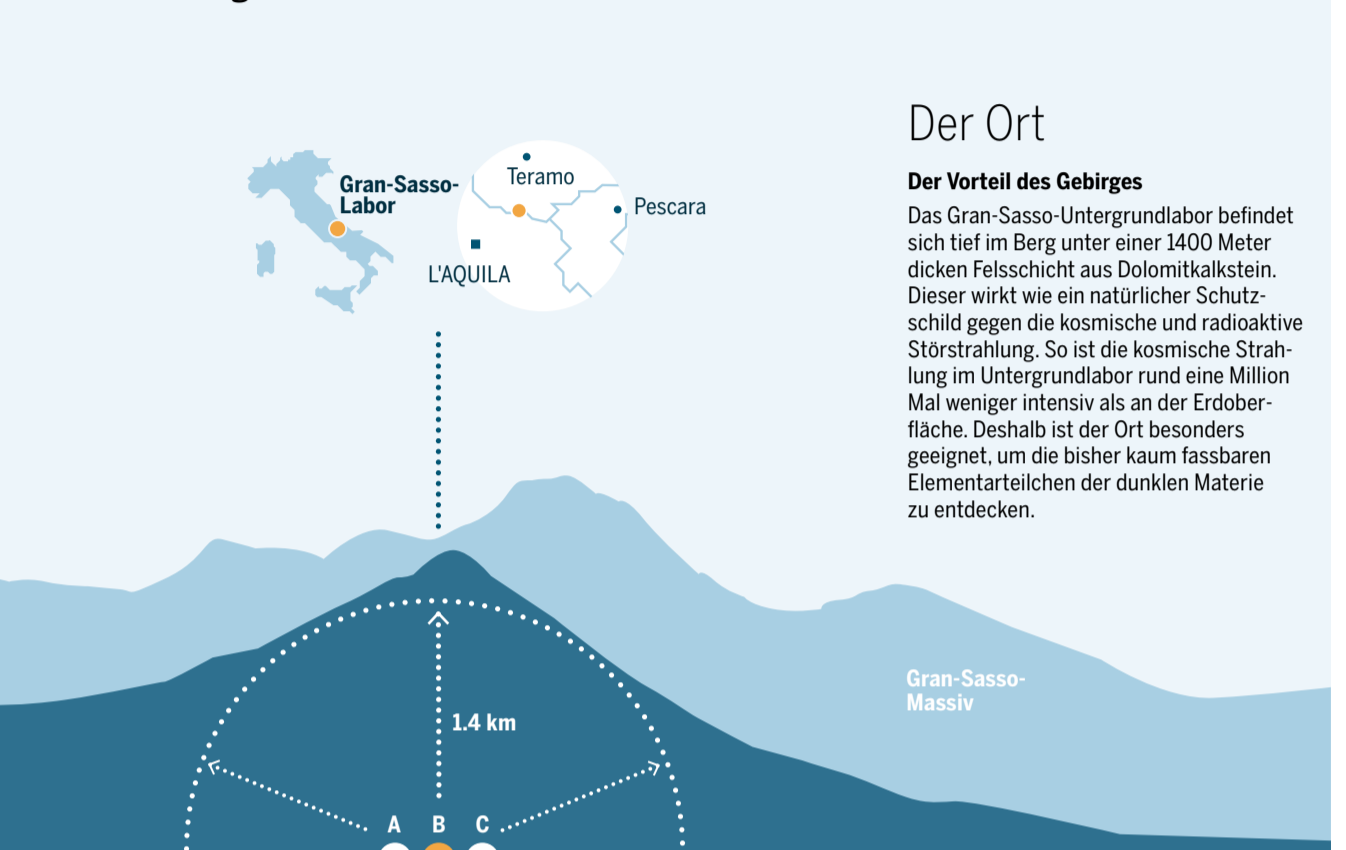
Weil aber dennoch geringste Verunreinigungen von den Teflonwänden in das Xenon gelangen, berücksichtigen die Physiker nur Ereignisse, die sich im besonders reinen, inneren Drittel des Detektors ereignen. «Das ist möglich, weil wir ein Ereignis bis auf wenige Millimeter genau lokalisieren können», sagt Baudis, deren Gruppe die hierfür nötige Technik massgeblich mitentwickelt hat.

XenonIT wird Anfang Dezember mit dem ersten Messzyklus beginnen. Schon nach zwei Monaten soll es genauere Daten liefern als der bisherige Rekordhalter namens Large Underground Xenon Experiment (Lux) in den USA. Anschliessend wird XenonIT zwei Jahre lang messen und damit in wissenschaftliches Neuland vorstossen. Gut möglich, dass sich dort immer noch kein Wimp zeigt. 2019 soll der Detektor auf etwa 7 Tonnen Xenon vergrössert werden und mehrere Jahre lang laufen: Je grösser das Detektorvolumen ist und je länger das Experiment läuft, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Wimp darin hängen bleibt.

Bei all diesen Anstrengungen befindet sich das Xenon-Team in einem Wettlauf mit dem Konkurrenten Lux, der derzeit ebenfalls erweitert wird und 2020 mit 10 Tonnen Xenon unter dem neuen Namen LZ an den Start gehen soll. Wer als Erster Dunkle-Materie-Teilchen nachweist, dürfte den Nobelpreis sicher haben. Allerdings bedürfte ein mutmassliches Wimp-Signal einer unabhängigen Bestätigung durch ein anderes Experiment. Insofern ist die Konkurrenz sinnvoll.

Reiben die dunklen Teilchen weiterhin unauffindbar, wird es für die Wimpeng-Theoretiker müssten dann über andere Möglichkeiten nachdenken.

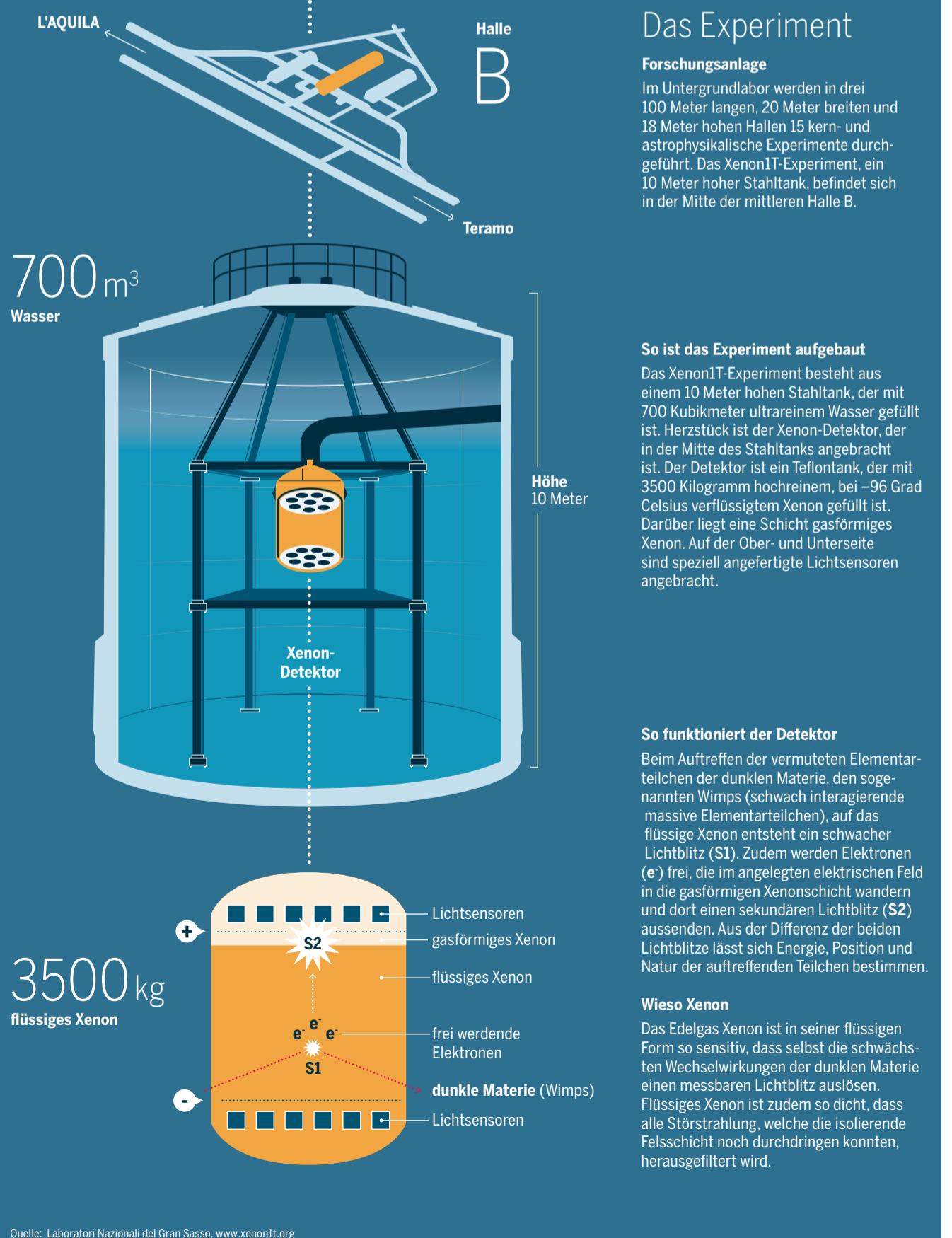
Suche im Untergrund



Der Ort

Der Vorteil des Gebirges

Das Gran-Sasso-Untergrundlabor befindet sich tief im Berg unter einer 1400 Meter dicken Felschicht aus Dolomitenkalkstein. Dieser wirkt wie ein natürlicher Schutzschild gegen die kosmische und radioaktive Störstrahlung. So ist die kosmische Strahlung im Untergrundlabor rund eine Million Mal weniger intensiv als an der Erdoberfläche. Deshalb ist der Ort besonders geeignet, um die bisher kaum fassbaren Elementarteilchen der dunklen Materie zu entdecken.



Das Experiment

Forschungsanlage

Im Untergrundlabor werden in drei 100 Meter langen, 20 Meter breiten und 18 Meter hohen Hallen 15 kern- und astrophysikalische Experimente durchgeführt. Das XenonIT-Experiment, ein 10 Meter hoher Stahltank, befindet sich in der Mitte der mittleren Halle B.

So ist das Experiment aufgebaut

Das XenonIT-Experiment besteht aus einem 10 Meter hohen Stahltank, der mit 700 Kubikmeter ultrareinem Wasser gefüllt ist. Herzstück ist der Xenon-Detektor, der in der Mitte des Stahltanks angebracht ist. Der Detektor ist ein Teflontank, der mit 3500 Kilogramm hochreinem, bei -96 Grad Celsius verflüssigtem Xenon gefüllt ist. Darüber liegt eine Schicht gasförmiges Xenon. Auf der Ober- und Unterseite sind speziell angefertigte Lichtsensoren angebracht.

So funktioniert der Detektor

Beim Auftreffen der vermuteten Elementarteilchen der dunklen Materie, den sogenannten Wimps (schwach interagierende massive Elementarteilchen), auf das flüssige Xenon entsteht ein schwacher Lichtblitz (S1). Zudem werden Elektronen (e^-) frei, die im angelegten elektrischen Feld in die gasförmige Xenonschicht wandern und dort einen sekundären Lichtblitz (S2) aussenden. Aus der Differenz der beiden Lichtblitze lässt sich Energie, Position und Natur der auftreffenden Teilchen bestimmen.

Wieso Xenon

Das Edelgas Xenon ist in seiner flüssigen Form so sensitiv, dass selbst die schwächsten Wechselwirkungen der dunklen Materie einen messbaren Lichtblitz auslösen. Flüssiges Xenon ist zudem so dicht, dass alle Störstrahlung, welche die isolierende Felschicht noch durchdringen konnten, herausgefiltert wird.