

Warten auf das große Zittern

Wie Physiker Einsteins Schwingungen der Raumzeit auflauern

Ähnlich wie ein ins Wasser geworfener Stein Wellen auslöst, sollten Supernova-Explosionen oder verschmelzende Schwarze Löcher Gravitationswellen erzeugen. Diese winzigen Erschütterungen des Raumzeit-Gefüges versuchen Wissenschaftler mit speziellen Detektoren direkt nachzuweisen.

Von Felicitas Mokler

IN KÜRZE

- Gemäß einer Vorhersage der allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein sollten beschleunigte Massen Gravitationswellen erzeugen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit als Erschütterungen der Raumzeit ausbreiten.
- Bislang sind solche Gravitationswellen nur indirekt nachgewiesen, und zwar anhand von Pulsaren in Doppelsternsystemen.
- Weltweit versuchen Wissenschaftler mit speziellen Detektoren, Einsteins Wellen direkt zu messen. Führend in der Entwicklung dieser Technologie ist die Anlage GEO600 in der Nähe von Hannover.

Die Wolken hängen tief. Gelegentlich peitscht eine Windböe Regentropfen gegen die Windschutzscheibe, ein paar Graupelkörner sind dabei. Anfang März ringt der Frühling im hannoverschen Land noch mit dem Winter. Emil Schreiber, Doktorand am Albert-Einstein-Institut, biegt mit dem kleinen blauen Dienstbus kurz vor dem Dorf Ruthe rund 20 Kilometer südlich von Hannover von der Allee in einen Feldweg ein.

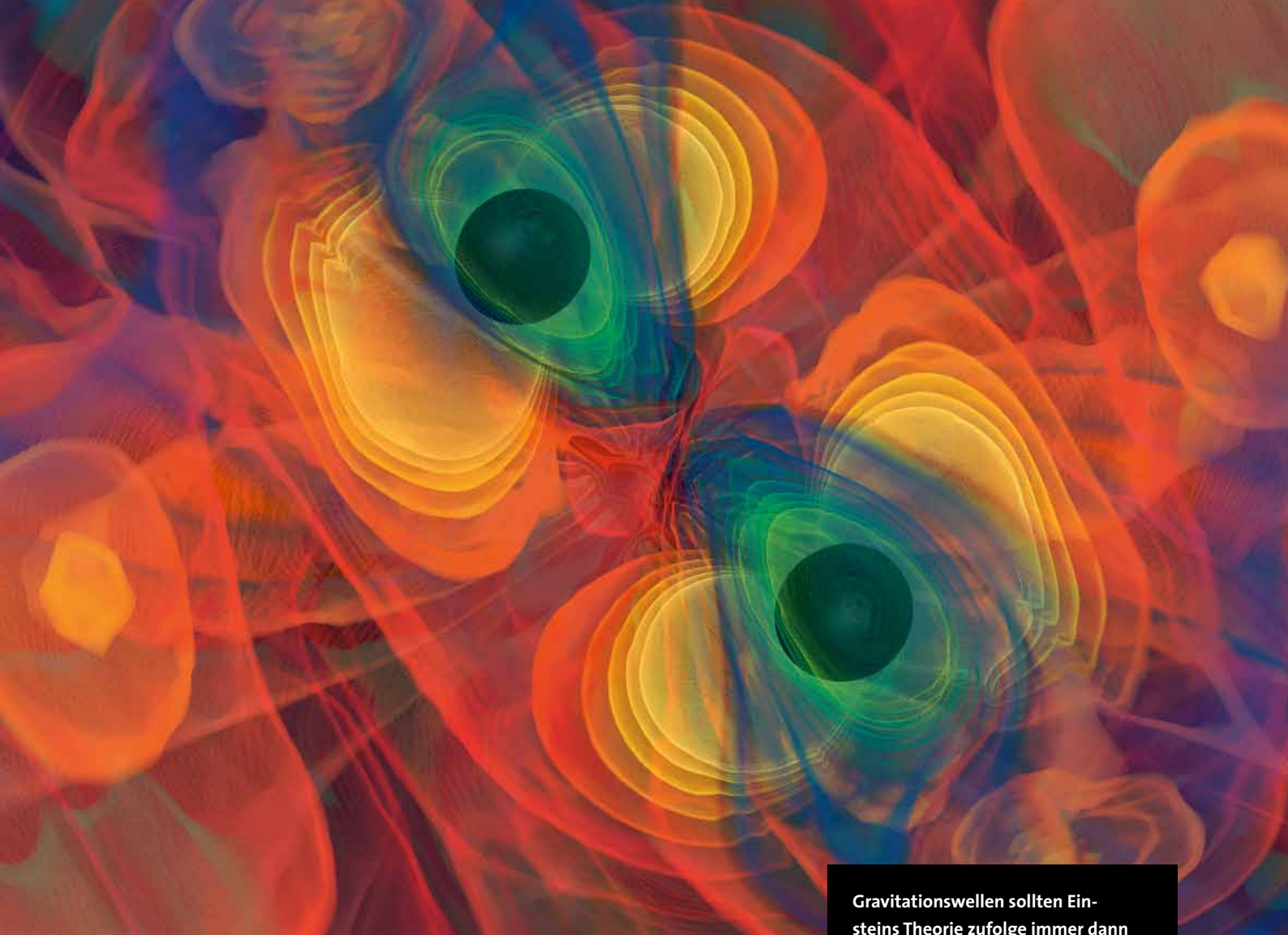
Das Eisengatter, das auf das Forschungsgelände mit dem Gravitationswellendetektor GEO600 führt und das Schreiber nun öffnet, liegt ein wenig versteckt zwischen verwildertem Gebüsch. An Tagen der offenen Tür empfängt hier ein Konterfei von Albert Einstein in Lebensgröße die Besucher. Heute jedoch hat es sich die Pappstatue drinnen gemütlich gemacht und blickt dort den Wissenschaftlern bei ihrer Arbeit über die Schulter.

Bis zu den Containerbauten, in denen sich Büro- und Laborräume befinden, sind es noch 600 Meter. Links säumt eine Apfel-

baumplantage den schmalen Weg. »Rechts in dem Straßengraben verläuft eine der beiden Messstrecken unseres Gravitationswellendetektors«, erklärt Schreiber. Das Wellblechrohr ist kaum zu erkennen. Man sieht ihm die Jahre schon etwas an. Der Witterung hält es tapfer stand, doch hier und da wuchert das Gras darüber.

In den Arbeitsräumen schlägt einem kreatives Chaos entgegen. Monitore summern. Emil Schreiber holt eine Messkurve auf den Bildschirm. »Hier sieht man die Erschütterung, die wir gerade eben verursacht haben, als wir mit dem Auto den kleinen Weg entlang gefahren sind«, erläutert er. Eigentlich ist dieses Experiment aber kein Frühwarnsystem für näher kommende Besucher, sondern die Wissenschaftler lauschen damit nach Gravitationswellen aus den Tiefen des Weltalls.

Als der geniale Physiker Albert Einstein die allgemeine Relativitätstheorie im November 1915, also vor genau hundert Jahren vorstellte, krepelte er unsere Vorstellung vom Kosmos gewaltig um. Bis dahin galten Raum und Zeit als starr, geo-



AEI / ITP / ZIB

metrisch unveränderlich und voneinander unabhängig. Einsteins Theorie verwob aber diese beiden Größen zu einem dynamischen und geometrisch verformbaren Raum-Zeit-Gefüge. Und mehr noch: Zwei Massen treten jetzt nicht mehr unmittelbar über die Schwerkraft miteinander in Wechselwirkung, wie im 17. Jahrhundert von Isaac Newton in seiner Gravitationstheorie beschrieben. Vielmehr verformt Materie in ihrer Umgebung die Raumzeit. Gerät ein anderer Körper in die Nähe dieser Raumzeit-Delle, wird er durch sie abgelenkt und auf eine krumme Bahn gezwungen. Sogar Licht folgt der verformten Geometrie. Und wann immer sich Materie in der Raumzeit beschleunigt bewegt, vermag sie diese gar in Schwingungen zu versetzen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Je massereicher und kompakter die Objekte, umso stärker der Effekt (siehe Bild oben). Dass solche Gravitationswellen existieren, folgerte Einstein ein Jahr nach Publikation der Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie. Der Physiker glaubte aber selbst nicht daran,

dass sich diese Schwingungen der Raumzeit jemals würden aufspüren lassen.

»Die Wechselwirkung zwischen Gravitationswellen und Materie ist extrem schwach. Das macht es so schwierig, sie zu messen«, erläutert Karsten Danzmann. Nur selten ist der Direktor am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover und Leiter des Instituts für Gravitationsphysik der Leibniz Universität Hannover in seinem Büro in der Callinstraße anzutreffen. Der energische Wissenschaftler ist zumeist auf Reisen, um die Zukunft der Gravitationswellenforschung zu planen. Manchmal trifft er sich mit seinen Kollegen auch in einer Flughafen-Lounge zur Besprechung, weil das am Praktischsten zu koordinieren ist.

Bisher haben sich Gravitationswellen hartnäckig ihrer Beobachtung entzogen: Doch auch Danzmann ist hartnäckig – und ausdauernd. Der Wissenschaftler hat es sich zur Lebensaufgabe gemacht, gemeinsam mit vielen anderen engagierten Kollegen die messtechnischen Voraussetzungen zu schaffen, mit denen sich die

Gravitationswellen sollten Einsteins Theorie zufolge immer dann entstehen, wenn kompakte Objekte beschleunigt werden. Diese wellenförmigen Erschütterungen der Raumzeit sind am größten, wenn Neutronensterne oder Schwarze Löcher – wie hier in einer Computersimulation gezeigt – in engen Bahnen umeinander kreisen und schließlich verschmelzen.

Schwingungen der Raumzeit detektieren lassen. Wenn dies endlich gelingt, ließe sich eine wichtige Lücke bei der Bestätigung der allgemeinen Relativitätstheorie schließen. Zwar sind bereits einschlägige Nachweise verschiedener Voraussagen glänzend erbracht, und die Mehrheit der Wissenschaftsgemeinde erkennt das einsteinsche Konzept zur Beschreibung der Gravitation heute als gültig an. Doch es hat auch seine Grenzen, und deshalb gibt es durchaus alternative Vorschläge, die Schwerkraft zu erklären.

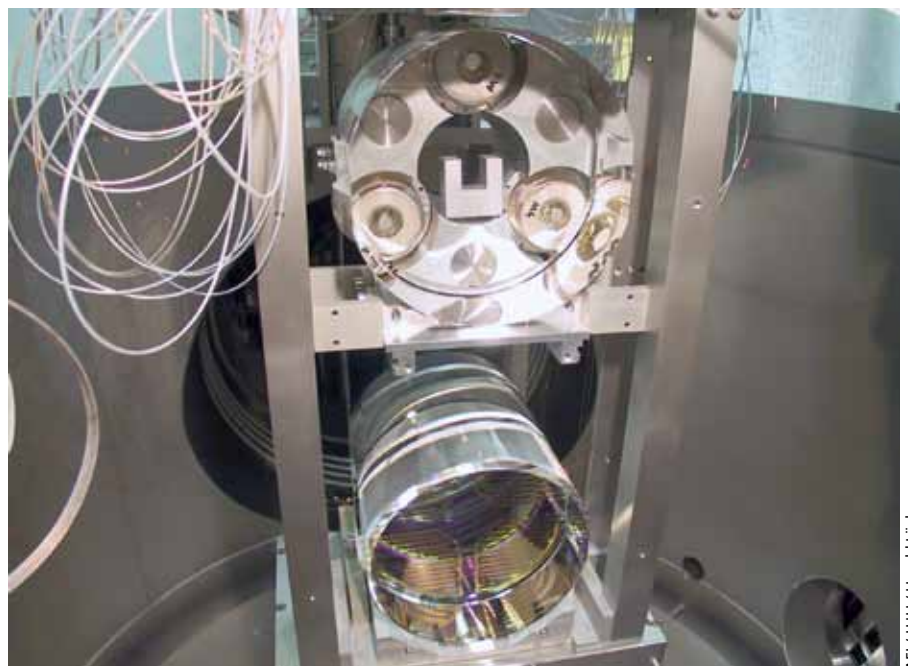
»Vor allem aber wird sich uns mit den Möglichkeiten der Gravitationswellenastronomie ein völlig neues Fenster ins



Der in deutsch-britischer Zusammenarbeit entstandene GEO600-Detektor befindet sich gut 20 Kilometer südlich von Hannover in der Nähe von Ruthe. Bei GEO600 wurden viele Messmethoden und -technologien entwickelt, die jetzt weltweit innerhalb eines Forschungsverbunds angewendet werden. Die Länge der Messstrecke dieses Instruments beträgt 600 Meter, so dass seine Empfindlichkeit nicht ganz an die der großen Detektoren heranreicht.



Die Spiegel des GEO600-Detektors sind als Dreifachpendel aufgehängt, um störende seismische Schwingungen mechanisch zu dämpfen. Im Bild zu sehen sind die beiden unteren Pendelkomponenten: Ein Zylinder aus Quarzglas, der als Spiegel für den infraroten Laserstrahl fungiert (unten), hängt an feinen Fasern ebenfalls aus Quarzglas an der mittleren Pendelmasse (oben). Zusätzlich lässt sich das Pendel elektrostatisch und elektromagnetisch ansteuern, um kleinere Störungen zu unterdrücken und die Spiegelposition zu korrigieren.



Universum auftun«, merkt Danzmann an. Vergleichen ließe sich das etwa damit, wenn jemand durch den Dschungel ginge und nur sehen, aber zunächst nicht hören könne. Denn bisher beziehen wir sämtliche Information über die Vorgänge im Weltall ausschließlich aus elektromagnetischer Strahlung – also Licht unterschiedlichster Wellenlänge. Analog dazu nähme der Dschungelreisende seine Umgebung vor allem als eines wahr: als grünes Dickicht. Täten sich ihm schließlich auch die Ohren auf, gewönne er einen völlig neuen Eindruck. Nun würde er die Vögel hören, die sich in den dichten Baumkronen tummeln, oder das Knacken im Unterholz, wenn sich große Tiere ihren Weg bahnen. Auch wenn die Schwingungen der Raumzeit sich physikalisch von dem Phänomen Schall unterscheiden: »Wir werden mit unseren Gravitationswellendetektoren sozusagen in das Weltall hinaushorchen und dabei zuhören, wie zwei Neutronensterne oder Schwarze Löcher miteinander verschmelzen oder Sterne explodieren. Das Universum wird sich uns in einer völlig neuen Dimension erschließen«, so Danzmann. Bisher müssen sich die Forscher allerdings noch mit Computersimulationen von derlei Szenarien abfinden (siehe Bild S. 29).

Für den indirekten Nachweis von Gravitationswellen indes gab es bereits 1993 den Nobelpreis für Physik. Die beiden Astrophysiker Russell A. Hulse und Joseph H. Taylor hatten über mehrere Jahre hinweg ein besonderes Doppelsternsystem beobachtet. In dem System PSR1913+16

umkreisen sich zwei Neutronensterne in einem Abstand, der nur wenige Male der Distanz Erde–Mond entspricht. Die Sterne selbst sind äußerst kompakt. Jeder von ihnen vereinigt etwa eine Sonnenmasse in einer Kugel von nur wenigen Kilometern Durchmesser! Deshalb ist die Gravitation an ihrer Oberfläche und in ihrer Umgebung besonders stark – ein perfektes Labor also, um die allgemeine Relativitätstheorie zu testen. Bei genauerem Hinsehen stellte sich heraus, dass die beiden Sterne sich immer schneller umrunden. Sie laufen also auf spiralförmigen Bahnen aufeinander zu und verlieren Energie. Der aus den Beobachtungen errechnete Energieverlust entspricht genau jenem Wert, den die allgemeine Relativitätstheorie für dieses System aufgrund der Abstrahlung von Gravitationswellen vorhersagte!

Mittlerweile haben Astronomen rund ein Dutzend ähnlicher Systeme untersucht und sie noch viel genauer vermessen (siehe SuW 6/2013, S. 26). Die Ergebnisse bestätigten den Befund von Hulse und Taylor. Das Nobelpreiskomitee würdigte ihre Entdeckung als indirekten Nachweis von Gravitationswellen und fügte hinzu, dass eine direkte Beobachtung wohl erst im künftigen Jahrhundert gelingen werde.

Ob sich diese Prophezeiung erfüllt? Heute jedenfalls scheint der Traum von Karsten Danzmann und seinen Mitstreitern beinahe zum Greifen nah. Würde zum Beispiel morgen das Signal eines Sterns bei uns eintreffen, der sein Leben in einer Supernova-Explosion ausgehaucht hat, wäre GEO600 dafür gewappnet. »Leider aber

sind solche Ereignisse extrem selten. Man rechnet etwa mit einer Supernova alle 50 bis 100 Jahre pro Galaxie. Allerdings ist die Milchstraße längst überfällig«, meint Danzmann. »Doch vorhersagen lassen sich solche Sternexplosionen leider nicht.«

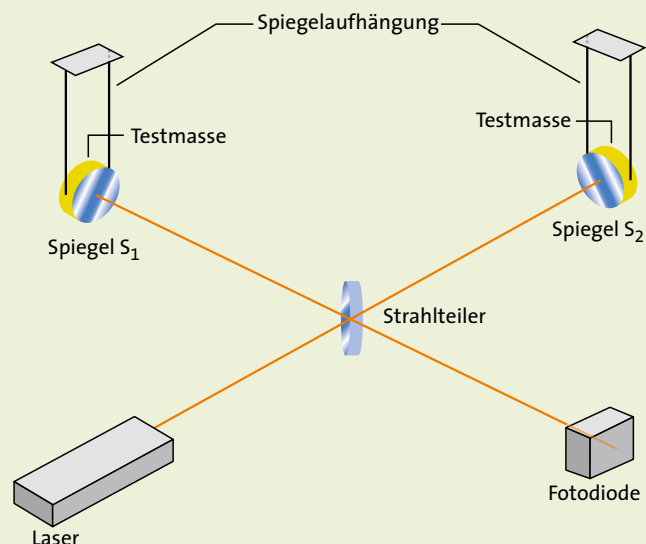
Der Gravitationswellendetektor reagiert auf relative Längenänderungen der Messstrecken von nur 10^{-18} Metern! Das entspricht einem Tausendstel des Durchmessers eines Protons. Genau in dieser Größenordnung sollte der Theorie zufolge auch das Signal einer Supernova liegen, die sich in unserer Hälfte der Milchstraße ereignet. Bis diese Messempfindlichkeit erreicht war, haben die Wissenschaftler fast drei Jahrzehnte lang getüftelt – und sie arbeiten auch weiterhin daran, um noch immer besser zu werden.

Laserinterferometer als Ohren

Ende der 1980er Jahre beginnt eine kleine Gruppe von Physikern damit, die Möglichkeiten eines Michelson-Interferometers als Gravitationswellendetektor zu erforschen (siehe Kasten unten). Das damalige Testgelände befindet sich am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching bei München. Dort schicken die Forscher zwei Laserstrahlen auf senkrecht zueinander verlaufende, jeweils 30 Meter lange Messstrecken. An deren Enden werden sie von einem Spiegel reflektiert. Zurück am Ausgangspunkt treffen die Strahlen wieder aufeinander und überlagern sich – die Physiker sagen, sie interferieren miteinander. Bei diesem Effekt kommt die Wellennatur des Lichts zum Tragen. Wie stark

Prinzip eines Laserinterferometers

Ein Laserstrahl wird an einem Strahlteiler in zwei senkrecht zueinander stehende Lichtwege aufgeteilt. Die Teilstrahlen laufen die Interferometerarme zu den Spiegeln S_1 und S_2 entlang. Von dort werden sie zurück zum Strahlteiler reflektiert, wo sie sich überlagern und dann als Signalstrahl auf die Fotodiode treffen. Die Helligkeit des Signalstrahls hängt davon ab, in welcher relativen Phase die Teilstrahlen interferieren. Die Anlage wird so eingestellt, dass die beiden Strahlen in Ruhe genau um eine halbe Wellenlänge versetzt aufeinandertreffen und sich auslöschen. Ändern sich die relativen Lichtlaufstrecken, etwa wenn eine Gravitationswelle vorüberzieht, interferieren die Teilstrahlen konstruktiv, der Signalstrahl wird sichtbar. Mit Hilfe weiterer Spiegel lassen sich Haupt- und Signalstrahl für mehrere Umläufe im Interferometer halten. Damit erhöht sich die verfügbare Lichtleistung (Power-Recycling), und das Rauschen im Signalstrahl wird reduziert (Signal-Recycling).



M. Pitkin et al., 2011 / SuW-Grafik



das überlagerte Signal ist, hängt davon ab, in welcher Wellenphase sich die beiden Lichtstrahlen relativ zueinander befinden. Schwingen sie im Gleichtakt und addieren sich gleichzeitig zwei Wellenberge beziehungsweise zwei Wellentäler, verstärkt sich die Lichtintensität: Es kommt zu konstruktiver Interferenz. Treffen sie dagegen phasenversetzt aufeinander, löschen sich die Laserstrahlen aus und es ist dunkel (destruktive Interferenz).

Was die Physiker interessiert: Wie reagiert das Interferometer, wenn sich die Länge der Messstrecken relativ zueinander ändert? In so einem Fall treffen die beiden Lichtstrahlen in jeweils einer anderen Phase aufeinander als in Ruhe, und die Stärke des Signalstrahls beziehungsweise das Interferenzmuster ändert sich. Genau das sollte passieren, wenn eine Gravitationswelle vorübergehend die Raumzeit entlang der Detektorarme verzerrt. Das Prinzip klingt simpel. Doch jede Menge Einflüsse aus der Umwelt wie auch innerhalb des Detektors selbst rufen einen ganz ähnlichen Effekt hervor. Das Problem dabei: Die irdischen Störungen sind in der Regel um Größenordnungen größer als jene, welche Gravitationswellen hervorrufen sollten.

Schließlich stößt Karsten Danzmann zur Garching Gruppe, im Jahr 1990 übernimmt er die Leitung des Teams. Drei Jahre

später nimmt er das Wissen mit nach Hannover. Dort baut er in einer Kooperation zwischen der Max-Planck-Gesellschaft und der Leibniz Universität Hannover gemeinsam mit Forschungseinrichtungen aus Großbritannien das Experiment GEO600 auf. Mittlerweile ist es in eine internationale Kollaboration eingebunden. An dieser beteiligen sich noch die beiden LIGO-Detektoren in den USA – einer in Livingston (Louisiana) und einer in Hanford (Washington) – sowie das französisch-italienische Experiment Virgo in Cascina bei Pisa (siehe Bild oben). Alle diese Instrumente funktionieren nach demselben Prinzip, und die mit den verschiedenen Detektoren aufgenommenen Daten werten die Wissenschaftler des Forschungsverbunds gemeinsam aus. Geplant sind außerdem noch ein Detektor in Japan sowie einer in Indien.

Von dieser Zusammenarbeit profitieren alle Beteiligten in mehrfacher Hinsicht: Nur wenn ein Signal in mehreren Detektoren gleichzeitig nachgewiesen wird, kann ein irdischer Ursprung ausgeschlossen und eine kosmische Quelle in Betracht gezogen werden. Vor allem aber lassen sich auch Himmelsposition und Entfernung einer Quelle nur im Zusammenschluss mehrerer Messgeräte bestimmen. »Das ist wieder ähnlich wie beim Hören«, erläutert Danzmann: »Wir benötigen beide

Ohren, um feststellen zu können, aus welcher Richtung ein Geräusch kommt. Mit Gravitationswellen ist das noch ein wenig komplizierter. Hierzu benötigen wir mindestens drei, besser aber noch vier oder mehr Gravitationswellendetektoren an verschiedenen Standorten. Und je weiter diese Standorte auf dem Erdball auseinander liegen, umso schwächere Quellen werden sich orten lassen.«

Weltweiter Forschungsverbund

Die Anlagen in Amerika und Italien sind größer und damit leistungsfähiger als GEO600. Die beiden LIGO-Detektoren – nach ihrer technischen Aufrüstung nun Advanced LIGO genannt – sind mit einer Armlänge von vier Kilometern die größten, Virgo misst über eine Strecke von einem Kilometer. Mit einer Messstrecke von 600 Metern ist GEO600 die kleinste dieser Anlagen. Die Größe eines Gravitationswellen-Observatoriums dieser Bauweise ist zwar durchaus maßgeblich für seine Messempfindlichkeit. Zudem bestimmt sie den Frequenzbereich, innerhalb dessen sich Gravitationswellen messen lassen. Dennoch spielt der hannoveraner Detektor eine wesentliche Rolle im Forschungsverbund. Ursprünglich gar nicht dafür konzipiert, Gravitationswellen selbst zu messen, fungiert er seit jeher als Testlabor und Ideenschmiede, in dem Physiker und



Ein weltweiter Forschungsverbund beteiligt sich an der Suche nach Gravitationswellen. Denn ein Signal aus dem All gilt nur dann als eindeutig nachgewiesen, wenn es von mindestens zwei Detektoren gleichzeitig empfangen wurde. Die Anlage GEO600 in der Nähe von Hannover ist die kleinste; dort wurden aber viele Technologien entwickelt, die nun in den anderen Detektoren zum Einsatz kommen. Die beiden LIGO-Detektoren in den USA wurden technisch aufgerüstet und gingen im September 2015 als Advanced LIGO wieder in Betrieb. Virgo in Italien wird nach einer längeren Umbauphase im Jahr 2017 den Messbetrieb wieder aufnehmen. Die Anlagen KAGRA in Japan und LIGO India sind noch im Bau.

Ingenieure neue Techniken entwickeln, ihre Funktionsfähigkeit testen und sie bis zur Anwendung fit machen.

An einem Modell erklärt Emil Schreiber, wie die Spiegel, die den Laser in dem Interferometer ablenken, montiert sind. Bis zu zehn Kilo wiegen sie und sind aus Quarzglas gefertigt. Aufgehängt in einem speziellen Mehrfachpendelsystem lassen sie sich gegen mechanisch bedingte Störeinflüsse von außen weitgehend isolieren.

Nun geht es in das Detektorgebäude, ebenfalls ein unscheinbarer Container. In einem abgetrennten Raumbereich stehen sechs größere Vakuumentanks aus Stahl. »Darin sind verschiedene Spiegel untergebracht, die den Weg der Photonen im Interferometer bestimmen«, erläutert Schreiber. Sie teilen den Laserstrahl mit einer Wellenlänge von 1064 Nanometern und einer Leistung von zehn Watt zunächst auf und schicken die Teilstrahlen auf die senkrecht zueinander verlaufenden, 600 Meter langen Messarme des Interferometers. Die Spiegel sind so angeordnet, dass die Photonen in den Armen mehrfach hin- und herjagen, bevor sie sich zum Signalstrahl vereinigen. So lässt sich die Laserleistung innerhalb des Detektors erhöhen. Auf ähnliche Weise lassen sich auch winzige Änderungen im Signalstrahl etwa um das Zehnfache verstärken, bevor dieser auf den Fotodetektor trifft.

Dieses System des so genannten Signal-Recycling haben die Forscher von GEO600 entwickelt. Es wurde auch in Advanced LIGO eingebaut und soll auch in der Anlage Virgo zum Einsatz kommen. Nach einer Rundum-Erneuerung ist Advanced LIGO im September 2015 in Betrieb gegangen. Sämtliche Bestandteile der Messinstrumente wurden durch neue, qualitativ hochwertigere ersetzt, alle Spiegel ausgetauscht. Außerdem verfügen die Advanced-LIGO-Detektoren nun über stärkere Lichtquellen. Die neuen Hochleistungslaser mit einer Leistung von 200 Watt stammen ebenfalls aus Hannover. Physiker des Albert-Einstein-Instituts haben sie gemeinsam mit dem Laser Zentrum Hannover e. V. entwickelt.

Advanced LIGO wird nun nach und nach in der Lage sein, rund zehn Mal empfindlicher messen zu können als zuvor. Ab 2017 soll schließlich auch Virgo wieder einsatzbereit sein. Doch was bedeutet das? Das Detektornetzwerk wird dann feiner hören können und damit auch schwächere Signale einfangen. Damit steht eine größere Bandbreite an potenziellen astrophysikalischen Gravitationswellenereignissen zur Verfügung und die Wahrscheinlichkeit, diese zu beobachten, steigt.

Mit der Inbetriebnahme von Advanced LIGO erhält das Netzwerk der Gravitationswellendetektoren die sehnlichst erwartete

Verstärkung. Denn während der Umbauphase horchte GEO600 alleine ins All. Damit den Wissenschaftlern keine Gravitationswellen von irgendeiner zufälligen Sternexplosion entgingen, waren die Messungen in Hannover besonders wichtig. Rund ein Dutzend Ingenieure, Postdocs und Doktoranden wie Emil Schreiber sind maßgeblich dafür verantwortlich, den Betrieb von GEO600 am Laufen zu halten.

Tagsüber ist stets Personal vor Ort, um zu überwachen, dass der Detektor auch einwandfrei arbeitet. Gegebenenfalls können sich die Forscher aber auch von außerhalb in die Computer einloggen, um in bestimmte Prozesse einzugreifen. Manchmal ist es aber auch notwendig, am Wochenende nach dem Rechten zu schauen und zum Beispiel die Spiegel nachjustieren, damit GEO600 wieder präzise misst. Denn manchmal gerät der Detektor im Wortsinne aus der Fassung. So geschehen zum Beispiel bei den Erdbeben in Japan 2011 und in Nepal 2015, obwohl sich ihr Epizentrum auf der anderen Seite des Erdballs befand.

Pulsare als Detektoren

Doch Danzmann und seine Kollegen in der LIGO-Virgo-Kollaboration sind nicht die einzigen, die darauf warten, dass ihnen endlich eine Gravitationswelle ins Netz geht. Es gibt durchaus alternative Methoden, mit denen sich die Schwingungen der Raumzeit aufspüren lassen sollten. So nehmen etwa verschiedene Arbeitsgruppen aus Europa, Nordamerika und Australien seit einiger Zeit eine bestimmte Klasse von Pulsaren, die im Millisekundentakt rotieren, noch einmal genauer ins Visier – und zwar diesmal nicht als System, das selbst Gravitationswellen aussendet, sondern als kosmische Gravitationswellendetektoren. Wenn in den Tiefen des Weltalls Galaxien miteinander kollidieren und die Schwarzen Löcher in deren Inneren miteinander verschmelzen, versetzen sie ebenfalls die Raumzeit in Schwingung. Ziehen diese Wellen an den Pulsaren vorüber, sollten die Sterne nach und nach ihren Takt ändern. Über einen Zeitraum von mehreren Jahren sollte sich dies messen lassen.

Außerdem hat der Kosmos gleich unmittelbar nach seiner Entstehung heftig gebebt. Nach heutigem Verständnis hat sich das Universum kurz nach seiner Geburt für einen winzigen Bruchteil einer Sekunde extrem schnell beschleunigt ausgedehnt. Kosmologen bezeichnen

Wenn die Blätter fallen, steht Weihnachten schon bald vor der Tür



Das Magazin für
Astronomie und
Weltraumforschung.

12 AUSGABEN, € 89,-
(ERMÄSSIGT € 67,80)



Die Zeitschrift für Natur-
wissenschaft, Forschung
und Technologie.

12 AUSGABEN, € 89,-
(ERMÄSSIGT € 69,90)



Das Magazin für
Psychologie, Hirnforschung
und Medizin.

12 AUSGABEN, € 85,20
(ERMÄSSIGT € 68,40)



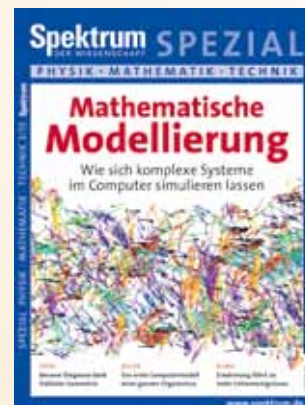
Die neuesten Erkennt-
nisse aus dem Bereich
der Life Sciences.

4 AUSGABEN, € 29,60
(ERMÄSSIGT € 25,60)



Spannende Themen
aus der Welt der Kultur-
wissenschaften.

4 AUSGABEN, € 29,60
(ERMÄSSIGT € 25,60)



Der aktuelle
Wissensstand der
NWT-Forschung.

4 AUSGABEN, € 29,60
(ERMÄSSIGT € 25,60)

So einfach erreichen Sie uns:

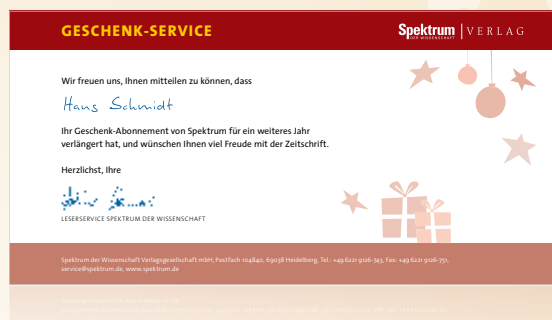
Telefon: 06221 9126-743

Fax: 06221 9126-751, E-Mail: service@spektrum.de,

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Slevogstraße 3-5, 69126 Heidelberg



+ GRUSSKARTE



Ein ganzes Jahr Freude:

Schenken Sie ein Magazin mit anspruchsvollen Artikeln über die neuesten internationalen Entwicklungen aus allen Bereichen der Wissenschaft und Forschung.

Mit Grußkarte:

Der Beschenkte erhält das erste Heft mit einer Grußkarte in Ihrem Namen. Auf Wunsch auch zu Weihnachten.

Plus Geschenk zur Wahl:

- 1 Kalender »Himmel und Erde 2016«
- 2 Spiel »Compact Dog«
- 3 Reisenthel-Shoulderbag »Stamp«
- 4 Buch »Den Kopf frei machen und so bleiben«
- 5 DVD »Die Tricks der Pflanzen«
- 6 Füllhalter »Kaweco Sport«

+ EIN GESCHENK FÜR SIE



diese Phase der explosionsartigen Ausdehnung als Inflation. Dabei wurde die Raumzeit gewaltig durchgeschüttelt und in Schwingung versetzt. Zwar hallen diese Schwingen auch im heutigen Universum noch nach und sollten im gesamten Universum präsent sein. Mittlerweile sind sie aber viel zu schwach und ihre Frequenz zu niedrig, als dass sie sich direkt aufspüren ließen. Die urtümlichen Gravitationswellen sollten aber dem kosmischen Mikrowellenhintergrund ein charakteristisches Muster aufgeprägt haben. Diese Mikrowellenstrahlung erreicht uns aus einer Epoche, als das Universum rund 380 000 Jahre

hannoveraner Physiker und ihre internationalen Kollegen ihn anstreben.

Wie aber lässt es sich vermeiden, im kosmischen Jagdfieber dem eigenen Wunschdenken zu erliegen? Und ist der Homo scientificus, wie wir uns als moderne Wissenschaftler bezeichnen könnten, überhaupt dagegen gefeit?

»Wir proben den Fall einer direkten Detektion in einem sehr realitätsgetreuen Szenario«, erläutert Danzmann. »Ein unabhängiges Komitee von einer Handvoll Kollegen speist gelegentlich simulierte Gravitationswellensignale in die Detektordaten ein. Niemand außer ihnen weiß

»Wir proben den Fall einer direkten Detektion in einem sehr realitätsgetreuen Szenario.«

alt war. Weiter zurück in die kosmische Vergangenheit können wir nicht blicken, denn davor war das Universum undurchsichtig für elektromagnetische Strahlung. Anhand der Fingerabdrücke der Gravitationswellen in dem Mikrowellenhintergrund erhoffen sich die Forscher aber Einblicke in Vorgänge unmittelbar nach dem Urknall.

Doch auch ein solches Signal ist nicht einfach aus den Daten des kosmischen Mikrowellenhintergrunds herauszufiltern. Im Frühjahr 2014 verlautbarten Forscher des BICEP2-Experiments, das von der Antarktis aus den Himmel im Mikrowellenbereich scannt, sie hätten Indizien für den Fingerabdruck dieser urtümlichen Gravitationswellen gefunden (siehe SuW 5/2014, S. 30). In der Presse schlug dieser – vermeintliche – Fund hohe Wellen. Doch mittlerweile ist klar: Ursache für das damals gefundene Signal ist ganz banal kosmischer Staub, der sich in unserer eigenen Galaxis befindet (siehe SuW 12/2014, S. 24). Um ganz auszuschließen, dass solch ein Fingerabdruck überhaupt existiert, ist es aber noch zu früh. Zunächst muss der Mikrowellenhintergrund noch gründlicher analysiert werden. Dazu haben sich nun die BICEP-Wissenschaftler mit ihren Kollegen zusammen getan, die mit dem Planck-Satelliten den gesamten Himmel im Bereich der Mikrowellenstrahlung über mehrere Jahre detailliert vermessen haben. Das Ergebnis hierzu steht noch aus. Würde man schließlich den Fingerabdruck doch noch finden, wäre dies wohlgemerkt ein indirekter, nicht aber ein direkter Nachweis von Gravitationswellen, wie die

davon.« Wenn die übrigen Wissenschaftler dann die Daten analysieren und darin auf Hinweise für ein Gravitationswellensignal treffen, führen sie sehr sorgfältige Tests durch und prüfen, wie signifikant das Signal ist. Lässt sich ausschließen, dass es zum Beispiel irdischen Ursprungs ist, verfassen sie ein wissenschaftliches Paper bis hin zu dem Status, es veröffentlichen zu können. »Bei einer gemeinsamen Konferenz wird schließlich von dem unabhängigen Komitee bekannt gegeben, ob zu dem betreffenden Zeitpunkt ein entsprechendes Signal eingespeist wurde oder nicht«, verrät Danzmann. Während des gesamten Prozesses herrscht innerhalb des Forschungsverbunds absolute Schweigepflicht.

Auf diese Weise kontrollieren die Forscher die Qualität ihrer Datenanalyse. Zudem wird sichergestellt, dass nicht irgendwo eine vorschnelle und möglicherweise falsche Information über die erste direkte Detektion von Gravitationswellen durchsickert. Bisher hätten aber alle Beteiligten dicht gehalten, so Danzmann. Bei einer Zusammenarbeit von geschätzt 1500 Beteiligten sei das durchaus bemerkenswert.

Dass den Detektoren der LIGO-Virgo-Kollaboration bisher keine Gravitationswellen ins Netz gegangen sind, ist für die Wissenschaftler noch kein Grund zur Sorge. Zwar mögen die theoretischen Abschätzungen für die Stärke eines Gravitationswellensignals von bestimmten astrophysikalischen Ereignissen früher etwas optimistischer ausgefallen sein als heute. Doch waren sich die Wissenschaftler um Danzmann stets bewusst, dass sie sich bisher am Limit des Messbaren bewegten.

Ein Job, für den man geschaffen sein muss. Vor mehr als 25 Jahren erkannte Karsten Danzmann die Gunst der Stunde und sah die Chance, die Astronomie einmal völlig umzukrempeln. Er nahm die Herausforderung an. »Wenn man lediglich einmal eine Gravitationswelle messen möchte, ist das aber nichts für einen. Man muss sich jeden Tag an kleinen Entwicklungen freuen können – ein kleiner Spiegel, ein neuer Laser, jeder kleine Fortschritt zählt. Davon haben wir zum Glück genug! Der Weg muss das Ziel sein – dann hält man 20, 30 Jahre durch,« resümiert der Max-Planck-Direktor.

Wenn im Herbst die Apfelbäume neben GEO600 Früchte tragen und die beiden LIGO-Detektoren den Messbetrieb mit gesteigerter Empfindlichkeit wieder aufnehmen werden, dürften die Wissenschaftler ihrem Ziel ein erhebliches Stück näher gekommen sein. Dass sich Gravitationswellen innerhalb der nächsten Dekade direkt werden messen lassen, dafür stehen die Chancen nicht schlecht. Sollte ihnen das tatsächlich glücken, wird dies den Forschern Rückenwind für künftige Missionen in der Gravitationswellenastronomie geben. Den Blick stets nach vorne gerichtet, planen Danzmann und seine Kollegen nämlich längst weitere Gravitationswellenobservatorien: eine Messstation im Weltraum, eLISA, sowie ein erdgebundenes Gravitationswellenteleskop der dritten Generation namens Einstein. 



FELICITAS MOKLER ist Astrophysikerin und als freie Wissenschaftsjournalistin und Redakteurin tätig.

Literaturhinweise

- Aufmuth, P.:** Warten auf die Welle. Zustand und Perspektiven der Gravitationswellenastronomie. In: Sterne und Weltraum 1/2009, S. 30–39
- Heule, R.:** Ein Netz für Gravitationswellen. In: Sterne und Weltraum 5/2012, S. 46–51
- Kramer, M., Wex, N.:** Ein Pulsar-Schwergewicht bestätigt Einstein. In: Sterne und Weltraum, 6/2013, S. 26–27

Dieser Artikel und Weblinks im Internet:
www.sterne-und-weltraum.de/artikel/1368502