

Kollision zweier Schwarzer Löcher*

WERNER BENDER / AEI / ZIB

ASTROPHYSIK

Klang der Schwarzen Löcher

Auf einem Acker bei Hannover entsteht ein neuartiges Teleskop: Die Forscher schicken Laserstrahlen durch Tunnel und wollen so das Beben des Raums nachweisen. Bei den hoch sensiblen Messungen stört sogar die Brandung der Nordsee.

Rechts wachsen Rüben, links reifen Äpfel, und dazwischen lauschen Forscher den Klängen des Alls: Es ist ein eigenartiges Szenario, das sich dem Besucher bietet, der zwischen Ruthe und Schliekum in den staubigen Schäferberg einbiegt. Nichts lässt hier ein Hightech-Labor erwarten: der mit Wellblech gedeckte Graben am Wegrand nicht, die schlichten Baucontainer nicht, und die beiden Trockenklos der Firma Toi-Toi schon gar nicht.

Es gibt viele Forscher, die den Äußerlichkeiten wenig Wert beimessen. Doch nur selten klaffen Schein und Sein so weit auseinander wie bei dem Gravitationswellendetektor GEO 600 nahe Hannover.

Äußerlich strahlt das Gerät, das in der letzten Woche inmitten der Versuchsfelder von Obstbauinstitut und Tierärztlicher Hochschule den wissenschaftlichen Probebetrieb aufgenommen hat, den Charme eines städtischen Umspannhäuschens aus. Die Vorausberichte über das Forschungsprojekt jedoch klingen eher, als handle es sich um ein Konzerthaus mit transgalaktischem

Soundeffekt: Vom „Vibrieren des Kosmos“ ist da die Rede und vom „Zirpen Schwarzer Löcher“, sogar vom „Urschrei des Universums“ und den „Wogen der Unendlichkeit“. Der Wellblech-bedeckte Graben wird zur „Antenne für kosmische Sphärenmusik“ verklärt, die nichts Geringeres empfangt als „Einsteins unvollendete Symphonie“.

In der Tat ist GEO 600 ein ehrgeiziges Projekt. Es soll bis an die äußerste Grenze des Messbaren vorstoßen und nie zuvor gehörte Signale aus dem Weltall auffangen. Es geht um ein Phänomen, welches das Vorstellungsvermögen des Menschen arg strapaziert: um Beben des Raums.

Die Existenz solcher Beben hatte schon Albert Einstein postuliert. Am 22. Juni 1916 trug der große Physiker vor der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften über eine „näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation“ vor. Diese Gleichungen, berühmt unter dem Namen „Allgemeine Relativitätstheorie“, beschreiben, wie jeder Körper den Raum rund um sich herum verformt. Wenn eine Masse beschleunigt wird, so hatte Einstein nun

errechnet, dann sendet sie dabei, wie ein Schiff im Wasser, eine Art Bugwelle aus – eine Delle im Raum-Zeit-Gefüge, die sich mit Lichtgeschwindigkeit durch die Weiten des Alls fortpflanzt.

Die Erde etwa funkt, indem sie um die Sonne kreist, unermüdlich Schwerkraftwellen in den leeren Raum. Auch einer Rakete eilt ein gravitatives Signal voraus. Selbst wer nur mit der Faust rüttelt, erschüttert damit das ganze Universum.

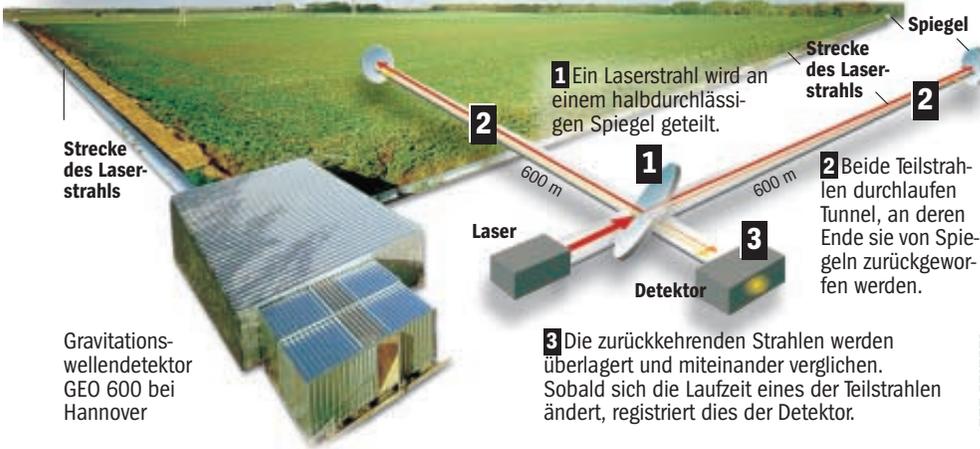
Doch wen das fasziniert, den ernüchert eine zweite Schlussfolgerung aus Einsteins Theorie: All die Beben, die das Weltall durchlaufen, sind geradezu lächerlich klein. Denn der Raum ist extrem steif. Ihn zu stauchen oder zu strecken kostet solch enorme Mengen von Energie, dass selbst der Crash ganzer Galaxien Raum und Zeit allenfalls ein klein wenig zu kräuseln vermag.

Diese winzige Störung muss dann auch noch kosmische Distanzen durchmessen. Den Planeten Erde erreicht sie so gut wie überhaupt nicht mehr: Selbst die heftigsten zu erwartenden Schwerkraftwellen stauchen den Raum gerade einmal genug, um die Entfernung von der Sonne bis zur Erde

* Simulation vom Albert-Einstein-Institut bei Potsdam.

Ohr im Acker

Laser-Interferometer zum Nachweis von Schwerkraftwellen



Gravitationswellendetektor GEO 600 bei Hannover

um den Durchmesser eines einzigen Atoms zu verändern. Wie sollte so etwas je messbar sein?

Jeder Versuch muss vermessen anmuten – und doch machte sich in den achtziger Jahren ein kleiner Trupp von Forschern voller Selbstvertrauen daran, Geräte weit jenseits aller bisherigen Messrekorde zu ersinnen. In Deutschland begann dann vor sieben Jahren eine Gruppe um den Laserphysiker Karsten Danzmann, zwei rechtwinklig zueinander liegende Gräben auszuheben: Das Interferometer GEO 600 entstand. In Japan, Italien und den USA gruben die Forscher ähnliche Apparate in den Grund.

Der Aufbau ist stets gleich und im Prinzip durchaus einfach: Ein Laserstrahl wird in zwei Teilstrahlen aufgespalten. Diese durchlaufen dann zwei L-förmig angeordnete Tunnel. Am Tunnelende werfen Spiegel die beiden Teilstrahlen zurück. In einem Detektor werden sie miteinander verglichen. Ändert sich nun die Laufzeit des Lichts unter dem Einfluss einer Gravitationswelle, so müsste das Instrument dies anzeigen (siehe Grafik).

So weit die Theorie. Aber kann das wirklich funktionieren? Erreichen uns überhaupt ausreichend starke Schwerkraftwellen? Ist der Detektor tatsächlich

Standorte von Laser-Interferometern



Messergebnis im Detektor



empfindlich genug, um deren aberwinzige Wirkung dann auch zu spüren? Und kann es gelingen, die Fülle störender Einflüsse unterschiedlichster Art vollständig zu unterbinden?

Schließlich lässt jeder in der Nähe fahrende Lkw die Erde erbeben. Der Fußtritt jedes Spaziergängers erschüttert den Boden. Selbst die Anziehungskraft der vorbeiziehenden Wolken wirkt auf die Spiegel. Im Takt der Gezeiten hebt und senkt sich zudem das Land. Und Erdbeben pflanzen sich durch ganze Kontinente hin fort und stören so das Experiment. Der Detektor von GEO 600 ist sogar empfindlich genug, um noch die Brandung der Nordsee zu spüren. Ist es wirklich möglich, all diese Effekte wegzudämpfen?

Nicht alle von Danzmanns Kollegen sind davon überzeugt – zumal sie fürchten, dass jenes Geld, das für die neuen Interferometer ausgegeben wurde, nun bei anderen Forschungsprojekten fehlt. Wortführer der Skeptiker ist Jerry Ostriker, ein hoch angesehener Kosmologe von der Princeton University. Nie, sagt er, habe er Zweifel daran gehabt, „dass der Nachweis von Gravitationswellen uns einzigartige Einblicke in das Wesen des Kosmos verschaffen wird“. Die gegenwärtig gebauten Detektoren aber halte er trotzdem für eine „ungeheure Verschwendung von Mitteln“. Denn die Wahrscheinlichkeit, dass sie wirklich etwas sehen werden, halte er für „verschwindend gering“.

Umstritten ist besonders die Frage, wie häufig messbare Schwerkraftwellen die Erde erzittern lassen. Ostriker ist überzeugt davon, dass die Betreiber der neuen Interferometer von viel zu optimistischen Annahmen ausgehen. Die nämlich setzen ihre



Justierarbeit im GEO-600-Labor: Konzerthaus mit transgalaktischem Soundeffekt

WOLFGANG FILSER / MPG

Hoffnungen vor allem auf zwei Arten von Himmelsphänomenen.

Sicher ist, dass Supernovae gravitative Schockwellen aussenden. Diese gigantischen Explosionen, mit denen das Leben großer Sonnen endet, zählen zu den imposantesten Spektakeln, die der Sternenhimmel zu bieten hat. In einem gewaltigen Feuerball schleudert der sterbende Stern den Großteil seiner Masse von sich.

Ein- bis dreimal pro Jahrhundert ist ein derartiges Spektakel in der Milchstraße zu beobachten – wollte GEO 600 sein Signal auffangen, so müssten die Forscher folglich 30 Jahre warten, womöglich sogar noch länger. Ob aber Supernovae jenseits unserer Galaxie mit der jetzt eingeweihten Generation von Interferometern nachweisbar sind, ist nicht gewiss.

Den Wissenschaftlern bleibt deshalb nur zu hoffen, dass ihnen der Zufall eine baldige Sternexplosion beschert – oder aber sie müssen auf das Signal einer zweiten Art von Quelle warten. Denn auch wenn zwei große Massen – in Frage kommen Neutronensterne und Schwarze Löcher – einander extrem schnell umkreisen, dann strahlen sie Energie als Schwerkraftwellen ab.

Weil sie so Energie verlieren, stürzen sie aufeinander zu. Immer wilder wirbeln sie umeinander herum, immer höher frequente Wellen funken sie dabei ins All. Im letzten Moment, kurz bevor sie ganz miteinander verschmelzen, verschießen sie einen letzten Gravitationspuls, der so gewaltig ist, dass er auch auf Erden noch nachweisbar sein müsste.

Unklar ist allerdings, wie häufig solche Crashes passieren. Danzmann hält für denkbar, dass GEO 600 bereits im nächsten Jahr eines dieser Ereignisse beobachten könnte – und in dieser optimistischen Einschätzung sieht er sich bestätigt durch seine Kollegen am Albert-Einstein-Institut bei Potsdam.

Dort nämlich ist es einer Theoretikergruppe gelungen, die tückischen Einsteinschen Feldgleichungen für den Spezialfall zweier Schwarzer Löcher in den Griff zu kriegen und deren Kollision am Computer zu simulieren. Bis zu drei Prozent der Gesamtmasse, so das Ergebnis, schießen die zusammenkrachenden Giganten in Gestalt von Schwerkraftwellen ins All – deutlich mehr, als die Forscher zuvor angenommen hatten.

„Das Spannendste aber“, fügt Danzmann hinzu, „kennen wir vielleicht noch gar nicht.“ Geräte wie GEO 600 öffneten ein Tor in

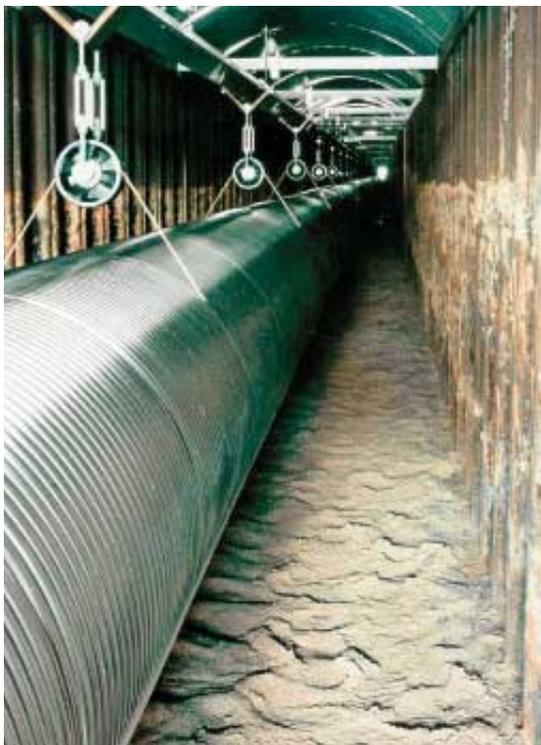
eine noch gänzlich unbekannte Welt. Mit ihrer Hilfe lege sich der Mensch gleichsam ein völlig neues Sinnesorgan zu. Noch sei es zu früh, vorauszusagen, was alles er damit werde wahrnehmen können.

So gehen die meisten Astronomen davon aus, dass es im Weltall gewaltige Mengen von unsichtbarer, so genannter dunkler Materie gibt. „Möglicherweise“, schwärmt Danzmann, „verklumpt sich diese Materie und sendet Gravitationswellen aus. Dank ihrer könnten wir diese Schattenwelt erstmals sichtbar machen.“

Versprechen wie dieses überzeugten die Geldgeber. Vor allem den US-Physikern gelang es, die Zustimmung für zwei gewaltige Interferometer zu bekommen. Das eine reckt seine vier Kilometer langen Arme durch die Sümpfe von Louisiana, das ande-



Laserphysiker Danzmann: Stolz auf den Billigbau



GEO-600-Tunnel: Tor in eine unbekannte Welt

re horcht auf dem Gelände der ehemaligen Atomwaffenfabrik Hanford ins All. Zusammen kostete das Paar 365 Millionen Dollar.

Die Deutschen hätten gern eine ähnlich monströse Maschine gebaut – doch der Fall der Mauer durchkreuzte ihre Pläne. Für neue Forschungs-Großprojekte waren plötzlich keine Mittel mehr übrig. Alles Geld sollte nun in den Osten fließen.

Für die Forschungsgruppe in Hannover begann eine Zeit radikalen Sparens. Statt, wie ursprünglich geplant, 150 Millionen Mark stand nun nicht einmal mehr ein Zehntel dieser Summe bereit. Improvisationstalent und viel technische Finesse waren nun gefragt.

Zunächst beschlossen die Forscher, die Armlänge ihres Instruments von geplanten drei Kilometern auf nur noch 600 Meter zu reduzieren. Was dabei an Präzision verloren ging, konnten die Techniker durch einen raffinierten Trick der Signalverstärkung wieder ausgleichen.

Dann hieß es, am Material zu sparen. Laser und Spiegel, so viel war klar, mussten extremen Ansprüchen genügen. Ohne absolute Frequenzstabilität des Lasers wäre das Experiment von vornherein zum Scheitern verurteilt. Und auch der Spiegel brauchte eine perfekte Oberfläche: Selbst wenn er maßstabsgetreu bis auf die Fläche Deutschlands vergrößert würde, dürfte er nicht einmal Unebenheiten von der Höhe eines Menschenhaars aufweisen.

Enormes Sparpotenzial machten die Forscher jedoch beim Bau des Vakuumrohrs aus. Bei den amerikanischen Projekten hatten allein die vier Stahlrohre samt Transportkosten und Schweißarbeiten 150 Millionen Dollar verschlungen. Die Forscher in Hannover kamen hingegen zu dem Schluss, dass statt Stahlrohren auch geripptes Dünneblech genügt, wie es gemeinhin in Klimaanlageanlagen verwendet wird.

Stolz präsentieren sie nun ihren Billigbau: Ganze 6 Millionen Euro hat GEO 600 gekostet, und die Not hat die Erbauer erfinderisch gemacht. So lange tüftelten sie an Spiegelaufhängung, an Signalverstärkung und Auswertungs-Software herum, bis die Empfindlichkeit von GEO 600 derjenigen der gewaltigen Schwestergeräte in den USA ebenbürtig war.

Nun laufen alle drei Interferometer synchron – und sie sind auch aufeinander angewiesen. Denn nur wenn ein Signal auf verschiedenen Kontinenten zugleich auftaucht, können die Forscher sicher sein, dass es sich nicht um eine irdische Störung handelt.

In Louisiana zum Beispiel meldet das Instrument bereits ein heftiges Beben und Wummern. Doch die Forscher reagieren nur genervt. Denn sie wissen längst, dass es sich weder um das Seufzen ferner Galaxien noch um das Räuspeln Schwarzer Löcher handelt. Die Signale stammen vielmehr von den Holzfällern in den Wäldern nebenan.

JOHANN GROLLE