
Hessischer Rundfunk
hr-iNFO
Redaktion: Dr. Karl-Heinz Wellmann

Wissenswert

**Dellen in der Raumzeit - Über die Fahndung nach den
Gravitationswellen des Albert Einstein**
von Frank Grotelüschen

Sprecher: Frank Grotelüschen

Sendung: 02.10.16, hr-iNFO

Copyright

Dieses Manuskript ist urheberrechtlich geschützt. Der Empfänger darf es nur zu privaten Zwecken benutzen. Jede andere Verwendung (z.B. Mitteilung, Vortrag oder Aufführung in der Öffentlichkeit, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verteilung oder Zurverfügungstellung in elektronischen Medien, Übersetzung) ist nur mit Zustimmung des Autors/der Autoren zulässig. Die Verwendung zu Rundfunkzwecken bedarf der Genehmigung des Hessischen Rundfunks.

Mod. Schwarze Löcher sind geradezu geisterhafte Objekte im Weltraum: Man kann sie nicht erblicken, aber anhand ihrer Wirkungen kann man ihre Existenz belegen. Eine ihrer Wirkungen sind Gravitationswellen, die den Raum verändern, die ihn gewissermaßen stauchen. Zu unserer Alltagserfahrung passt das absolut nicht, da ist der Raum um uns herum unveränderlich. Aber den Physikern ist es gelungen, solche Stauchungen tatsächlich nachzuweisen. Faszinierend.

Akzent

Mod. Es ist die Physiksensation dieses Jahres: Im Februar wurde der erste experimentelle Nachweis von Gravitationswellen bekannt gegeben. Die Fachwelt war verzückt: Denn die Allgemeine Relativitätstheorie von Albert Einstein war damit eindrucksvoll bestätigt. Doch noch aus einem zweiten Grund war die Entdeckung wichtig: Gravitationswellen können nämlich bislang unbekannt Details enträtseln über kosmische Extremereignisse. Hören Sie dazu Frank Grotelüschen – fachlich korrekt und zugleich allgemeinverständlich.

Beitrag 1

O-Ton 1: (Reitze)

„Ladys and Gentleman. We have detected gravitational waves. We did it!“ (Applaus)

Autor: Donnerstag, 11. Februar 2016. Auf einer Pressekonferenz in Washington verkündet ein Physiker-Team eine wissenschaftliche Sensation: Die erste Gravitationswelle ist gefunden, endlich. Jahrzehntlang hatten Forscher in aller Welt danach gesucht, hatten Rückschläge hingenommen und sich mit Fehlalarmen blamiert. Doch nun ist klar: Sie sind keinem Phantom hinterhergejagt, sondern einem realen Phänomen.

Akzent

Autor: Ein Phänomen, das bereits Albert Einstein postuliert hatte – und zwar in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie von 1915. Damals eine physikalische Revolution, ein neues Bild der Gravitation, sagt Domenico Giulini, Physiker an der Universität Hannover.

O-Ton 2: (Giulini)

„Einstein erklärte die Gravitationswirkung dadurch, dass die Geometrie von Raum und Zeit selber am dynamischen Geschehen teilnimmt.“

Autor: Laut Einstein krümmt eine Masse den Raum und die Zeit um sich herum. Dadurch können seltsame Phänomene

auftreten: So kann Licht von schweren Himmelskörpern abgelenkt oder sogar verschluckt werden. Alles Effekte, die die Physiker längst beobachtet haben. Nur ein Phänomen fehlte noch – Einsteins letzte Prophezeiung, wenn man so will.

O-Ton 3: (Danzmann)

„Die Gravitationswellen sind eine Konsequenz seiner Allgemeinen Relativitätstheorie. Wenn man die Einsteinschen Feldgleichungen löst, fallen Gravitationswellen sozusagen automatisch heraus.“

Autor: Sagt Karsten Danzmann vom Albert-Einstein-Institut in Hannover. Prallen irgendwo im Weltall zwei riesige Massen aufeinander, müssten sie winzige Dellen in Raum und Zeit schlagen – ähnlich wie ein Stein kleine Kräuselwellen in einen spiegelglatten See schlägt. Die Dellen in der Raumzeit rasen dann mit Lichtgeschwindigkeit durchs All – so will es Einsteins Theorie. Allerdings dürften sie nur winzig sein. Einsteins Berechnungen sagen: unmessbar winzig.

O-Ton 4: (Danzmann)

„Er hat tatsächlich eine Veröffentlichung geschrieben und eingereicht, in der er versucht hat, nachzuweisen, dass die Gravitationswellen nur mathematische Artefakte dieser Lösung seiner Feldgleichungen sind und dass sie nicht im wirklichen Sinne existieren. Sein Papier wurde von 'Physical Review' abgelehnt. Daraufhin war er so erbost, dass er nie wieder in seinem Leben dort irgendetwas veröffentlicht hat.“

Akzent

Autor: Zunächst hielt es die Fachwelt mit Einstein: Es schien unmöglich, Gravitationswellen jemals beobachten zu können.

O-Ton 5: (Danzmann)

„Es war erst in der 50er-Jahren, dass theoretisch gezeigt wurde, dass Gravitationswellen Energie transportieren und diese Energie auch in einem Detektor deponieren können. Und damit war klar, dass man sie auch würde nachweisen können.“

Autor: Doch ebenso klar war: Die Bewegung eines Sterns würde nie und nimmer reichen, um messbare Gravitationswellen zu erzeugen. Es müssten schon kosmische Gewaltakte sein: Schwarze Löcher, die mit enormer Wucht kollidieren. Oder eine Supernova, ein explodierender Riesenstern. Nur sie dürften so starke Gravitationswellen erzeugen, dass Detektoren überhaupt eine Chance hätten, sie aufzuschnappen. Den ersten Anlauf unternahm in den 1960er-Jahren der US-Physiker Joe Weber. Er experimentierte mit metergroßen Zylindern aus Metall.

O-Ton 6: (Danzmann)

„Heute wissen wir, dass die Empfindlichkeit dieser Zylinder um viele Zehnerpotenzen zu schlecht war, um Gravitationswellen detektieren zu können.“

Autor: Die Fachwelt war enttäuscht. Doch dann, in den 1970er Jahren, stießen die US-Astronomen Russell Hulse und Joseph Taylor auf einen indirekten Beweis, sagt der Physiker Luciano Rezzolla von der Universität Frankfurt.

O-Ton 7: (Rezzolla)

„Hulse and Taylor were lucky enough to find another system...”

Übersetzer:

Die Astronomen Russell Hulse und Joseph Taylor hatten ein System mit zwei Sternen entdeckt, die sich gegenseitig umkreisen. Als sie dieses System näher untersucht hatten, bemerkten sie, dass sich die beiden Sterne immer enger umkreisen. Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie bietet dafür eine Erklärung: Die Sterne kommen sich immer näher, weil sie Gravitationswellen aussenden und dadurch Energie verlieren. Dieses Ergebnis stimmte uns zuversichtlich, dass Gravitationswellen tatsächlich existieren.

... of confidence that gravitational waves exist and are emitted.”

Akzent

Autor: Also machten sich die Physiker erneut auf, Gravitationswellen direkt aufzuspüren – und entwickelten eine raffinierte Apparatur. Das Prinzip: Zwei Laserstrahlen werden im rechten Winkel zueinander losgeschickt. Wo sie sich kreuzen, überlagert sich ihr Licht. Dadurch entsteht ein Hell-Dunkel-Muster. Wird nun einer der Strahlen von einer Gravitationswelle gestaucht, muss er einen kürzeren Weg zurücklegen, und das Muster verschiebt sich – was sich äußerst genau messen lässt. Nur: Um empfindlich genug zu sein, braucht es riesige Anlagen. Die größten stehen in den USA: Die Laserarme der beiden LIGO-Detektoren sind

jeweils vier Kilometer lang. In den ersten Jahren – von 2002 bis 2011 – registrierten die Lauscher noch rein gar nichts. Doch dann wurden die Detektoren aufgerüstet und mit besserer Messtechnik bestückt. Kaum eingeschaltet empfangen die Anlagen am 14. September 2015 das entscheidende Signal – die erste Gravitationswelle überhaupt.

O-Ton 8: (Danzmann)

„Es hat einige Zeit gedauert, bis wir uns sicher genug waren, das zu veröffentlichen. Am 11. Februar 2016 haben wir die Entdeckung bekanntgegeben.“

Autor: Eine nobelpreiswürdige Entdeckung, meint Karsten Danzmann aus Hannover.

O-Ton 9: (Danzmann)

„Dieses Signal ist eine glänzende Bestätigung der Allgemeinen Relativität. Schöner hätte man es eigentlich nicht machen können, wie aus dem Lehrbuch.“

Akzent

Autor: Am 15. Juni die erneute Erfolgsmeldung: Die LIGO-Macher präsentierten ein zweites Signal. Die Detektoren hatten es Weihnachten 2015 registriert. Ebenso wie das Signal vom September stammt es von zwei Schwarzen Löchern, die in großer Entfernung zur Erde zusammengestoßen sind. Schwarze Löcher sind winzig, aber unfassbar schwer, zigmal schwerer als die Sonne. Ihr Zusammenprall war so wuchtig, dass dabei – zum Glück für die Physiker – messbare

Gravitationswellen entstanden. Doch die Bestätigung von Einstein ist erst der Anfang, sagt LIGO-Direktor David Reitze.

O-Ton 10: (Reitze)

„What’s really exciting is what’s coming next...“

Übersetzer:

Das wirklich Aufregende kommt erst jetzt. So wie Galileo vor 400 Jahren das erste Teleskop zum Himmel richtete und damit das Kapitel der modernen Astronomie aufschlug, haben wir nun das Fenster zu einer völlig neuen Methode aufgestoßen – zur Astronomie mit Gravitationswellen.
... the window of gravitational astronomy.“

Akzent

Autor: Nicht nur, dass Einstein eindrucksvoll bestätigt war – er hatte die Gravitationswellen ja einst postuliert. Mit den Signalen haben die Physiker plötzlich einen einzigartigen Einblick in das Tun und Wirken Schwarzer Löcher, jener unvorstellbar kompakten Himmelskörpern mit einer Schwerkraft so gewaltig, dass sie sogar Licht verschluckt. Aber wie es in der Forschung nun mal ist: Kaum ist eine grandiose Entdeckung gemacht, drängen sich schon erste Fragen auf, etwa für Tsvi Piran, Astrophysiker an der Hebräischen Universität Jerusalem.

O-Ton 11: (Piran)

„Where did this two massive black holes came from?...“

Übersetzer:

Woher kamen diese beiden massiven schwarzen Löcher?
Denn dass ausgerechnet zwei Löcher dieser Größenordnung

kollidieren könnten, darüber war zuvor kaum spekuliert worden. Und jetzt fragen wir uns alle: Wie hat sich ein solches System aus zwei schwarzen Löchern dieser Größe bilden können?

... system of two such black hole forms. "

Autor: Das eine Schwarze Loch war 29mal, das andere gar 36mal schwerer als unsere Sonne. Bisher hatten die Forscher angenommen, solche Extremgebilde hätten eigentlich nur im frühen Universum herumgespukt, vor mehr als 10 Milliarden Jahren. Waren die beiden Löcher schon seit Jahrmilliarden durchs All gegeistert, bevor sie verschmolzen?

O-Ton 12: (Piran)

„The second question, which is also very puzzling...

Übersetzer:

Und da wäre noch eine zweite, ebenso rätselhafte Frage: Schon am ersten Tag, nachdem die LIGO-Detektoren angeschaltet worden waren, hatten sie das Ereignis registriert. Das bedeutet entweder, dass LIGO unerschämtes Glück hatte – oder dass solche Kollisionen öfter passieren. Und es gibt auch schon Gerüchte, dass LIGO bereits weitere solche Ereignisse beobachtet hat.

...that they have seen more events like this. "

Autor: Fast sieht es so aus, als würden im All ständig Schwarze Löcher aufeinander donnern. Manch ein Theoretiker vermutet sogar schon, solche allgegenwärtigen Löcher würden hinter der rätselhaften dunklen Materie stecken, die die Galaxien zusammenzuhalten scheint wie ein unsichtbarer Klebstoff und nach der die Physik schon seit Jahrzehnten

fahndet. Doch ob die Schwarzen Löcher wirklich so häufig sind, können nur neue Messdaten verraten. Und die, sagt Alessandra Buonanno vom Albert-Einstein-Institut in Potsdam, werden bald kommen.

O-Ton 13: (Buonanno)

„We’re very anxious to start the new run...“

Übersetzerin:

Wir warten schon gespannt darauf, dass LIGO nach einer erneuten Umbaupause bald wieder loslegt. Diesmal wird das Experiment ein halbes Jahr lang messen, und zwar mit höherer Mess-Empfindlichkeit. Mit Glück werden wir einige Dutzend neuer Ereignisse aufschnappen, oder sogar hunderte.

... lasts for 6 month.“

Akzent

Autor: Und dann könnten sich nicht nur zusammenprallende Schwarze Löcher durch ihre Gravitationswellen verraten, sondern auch andere kosmische Extremisten: Zum Beispiel kollidierende Neutronensterne, so heißen die kleinen, aber überaus massiven Überreste ausgebrannter Riesen Sonnen.

O-Ton 14: (Buonanno)

„During the last stages of the spiral before the two neutron stars...“

Übersetzerin:

Kurz bevor zwei Neutronensterne verschmelzen, sollten wir aus dem Gravitationswellensignal Informationen darüber gewinnen können, wie diese Neutronensterne aufgebaut

sind. Das wird die einzige Möglichkeit sein, etwas Genaues über diese Himmelskörper herauszufinden – über ihre Beschaffenheit, ihre Größe, ihre Masse.

...the radius, what is their mass.“

O-Ton 15: (Gürlebeck)

„Man kann sich vorstellen, wie unsere Sonne auf die Größe von zehn Kilometern im Radius zusammengepresst.“

Autor: Sagt der Bremer Physiker Norman Gürlebeck.

O-Ton 16: (Gürlebeck)

„Zum Teil wissen wir einfach nicht, was der Zustand der Materie ist. Das ist das Spannende an Neutronensternen.“

Autor: Mit den Gravitationswellen wollen die Forscher nun neue Details herausfinden über die rätselhaften Sternleichen, sagt Luciano Rezzolla aus Frankfurt.

O-Ton 17: (Rezzolla)

„If you look at the way neutron stars collide and merge...

Voiceover Schaut man sich die Gravitationswellen an, die beim Zusammenstoß zweier Neutronensterne entstehen, dann kann man herausfinden, wie diese Sterne im Detail zusammengesetzt sind. Es ist wie ein Fingerabdruck: Jeder Typ von Neutronenstern wird im Gravitationswellen-Signal einen anderen Abdruck hinterlassen.

... will have a different fingerprint.“

Autor: Die Gravitationswellendetektoren könnten auch das Rätsel der Gammastrahlen-Ausbrüche klären helfen. Das sind extreme Explosionen am Rande des Universums. In einem Sekundenbruchteil setzen sie so viel Energie frei wie eine Galaxie in einem ganzen Jahr. Stecken dahinter vielleicht zusammenprallende Neutronensterne?

Mod Eine offene Frage, die allerdings allmählich einer Klärung näher kommt. – Die Detektoren, mit denen sich Gravitationswellen messen lassen, sind riesig – kilometerlange Laserlineale voller Spezialtechnik. Neben LIGO gibt es noch weitere Anlagen: In Italien Virgo, das europäische Gegenstück zum gerade vorgestellten US-amerikanischen LIGO, und in Deutschland einen Prototyp namens Geo600. Frank Grotelüschen hat beide Anlagen besucht.

Beitrag 2

Autor: Ruthe, ein Dörfchen südlich von Hannover. Etwas abseits vom Ort stehen schmucklose Container inmitten von Äckern und Obstbaum-Plantagen. Nichts lässt vermuten, dass hier ein millionenteures Experiment steht – Geo600, ein Versuchsdetektor für Gravitationswellen.

O-Ton 1: (Affeldt)

„Sozusagen der kleine Bruder von LIGO. Aber auch gleichzeitig der Entwickler vieler Technologien, die LIGO so empfindlich und erfolgreich gemacht haben.“

Autor: Mit seiner Länge von 600 Metern ist Geo600 schlicht zu klein, um Gravitationswellen aufzuspüren, sagt Christoph Affeldt vom Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover. Allerdings wurden hier manche der Schlüsseltechniken entwickelt, die bei LIGO zum Einsatz kamen – jenen beiden Riesendetektoren in den USA, die im September 2015 erstmals eine Gravitationswelle registrierten und damit für eine physikalische Sensation sorgten. Eine dieser Schlüsseltechniken ist ein Metallgestell groß wie ein Kühlschrank. Darin hängt ein Spiegel an einer Art Mobile, einer Konstruktion aus mehreren Pendeln.

O-Ton 2: (Affeldt)

„Man möchte kleinste Längenänderungen messen, mikroskopisch kleine. Und ein Pendel gibt eine Isolation gegenüber seismischen Störungen, gegenüber äußeren Einflüssen. Straßenverkehr. Ein Zug, der vorbeifährt.“

Autor: Züge und Autos lassen den Boden vibrieren und stören die Experimente. Die Spiegelaufhängung kann die Vibrationen weitgehend dämpfen.

O-Ton 3: (Grote)
„Diese Spiegel sind die Endpunkte unserer Messstrecke.“

Autor: Sagt Affeldts Kollege Hartmut Grote. Läuft eine Gravitationswelle durch den Raum, so verändert sie dort die Abstände. Das ist das Prinzip der Detektoren, die man als hochpräzise Laserlineale bezeichnen könnte. In zwei Vakuumröhren flitzt Laserlicht hin und her. Sie sind senkrecht zueinander angelegt und jeweils 600 Meter lang – deshalb Geo600.

O-Ton 4: (Grote)
„Wenn eine Gravitationswelle durch die Messstrecke läuft, dann wird im Takt der Welle diese Strecke ein ganz kleines bisschen kürzer und wieder länger. Diese Längenänderung messen wir mit Laserlicht, das zwischen diesen Spiegeln hin und her geschickt wird.“

Autor: Die Erschütterungen aus der Umgebung sollen abgefangen werden, damit die Verzerrung des Raums deutlich zutage tritt. Grote zeigt auf das Modell im Stahlgestell. Jetzt erkennt man die Details.

O-Ton 5: (Grote)
„Der eigentliche Spiegel hängt an einem Pendel, was wiederum an einem Pendel hängt, was wiederum an einem Pendel hängt. Wir haben hier drei Pendelstufen

hintereinander. Man kann sagen: Wenn hier ein Elefant vorbeiläuft, würde der Spiegel das nicht merken.“

Autor: Der Trick mit den Pendeln hat so gut funktioniert, dass man die Technik seit einiger Zeit auch bei LIGO in den USA einsetzt. Vorher gab's dort nur eine Pendelstufe, jetzt sind es vier. Der Erfolg: durchschlagend.

O-Ton 6: (Grote)

„So eine Pendelaufhängung mit vier Stufen kann einen Faktor von 10 Millionen filtern an Bodenbewegungen. Das hat den großen Fortschritt gebracht bei den Advanced-LIGO-Detektoren, die jetzt viel empfindlicher geworden sind.“

Autor: Jetzt gehen Grote und Affeldt zu einem anderen Container, dem größten von allen.

O-Ton 7: (Grote)

(Schlüssel, Tür) „Wir gehen jetzt in das Herzstück der Anlage Geo600.“

Atmo 1: Überschuhe

O-Ton 8: (Grote)

„Wir müssen uns jetzt hier Überschuhe anziehen. Wir halten alles besonders sauber, damit unsere schönen Spiegel nicht schmutzig werden.“

Atmo 2: Vorraum

Autor: Dann rüsten sich die beiden mit Brillen aus. Spezialmodelle, klobig und schwer.

O-Ton 9: (Grote)
„Die Brillen sehen noch ganz hervorragend aus!“

O-Ton 10: (Affeldt)
„Das ist eine Sicherheitsmaßnahme gegen die Laserstrahlung. Diese Brillen schützen uns sehr effizient.“

Atmo 3: Wechsel Vorraum/Labor

Autor: Noch eine Tür und wir stehen im Labor. Mannshohe Stahltonnen und jede Menge Spezialoptik. Grote zeigt auf eine schwarze Box, groß wie ein Kleiderschrank. Drin steckt eine weitere Schlüsselkomponente – der Laser. Er funktioniert so gut, dass die Physiker weitere Exemplare gebaut haben. Einsatzort: LIGO in den USA.

O-Ton 11: (Grote)
„Der hat eine Ausgangsleistung von 200 Watt. Das ist Weltspitze. Wenn wir eine größere Laserleistung haben, können wir genauer messen.“

Autor: Bessere Laser, bessere Spiegel: Die Fachleute aus Hannover haben zentrale Komponenten zu LIGO beigesteuert – und damit einigen Anteil an der Entdeckung der ersten Gravitationswelle im September 2015.

O-Ton 12: (Affeldt)

„Das kann man tatsächlich so sagen. Es war klar, dass die großen Instrumente mit diesen Technologien noch empfindlicher werden können, sodass eine Detektion überhaupt erst möglich wird.“

Atmo 4: Treppe

O-Ton 13: (Bradaschia)

„We go down to 10^{-18} metres...“

Übersetzer:

Wir wollen eine Längenänderung von einem milliardstel Teil eines milliardstel Meters messen. Das ist weniger als ein Tausendstel der Größe eines Atomkerns! Also eine extrem kleine Größe.

... extremely small quantity.“

Atmo 5: Treppe, Keller

Autor: Szenenwechsel. Die Toskana, ein paar Kilometer südöstlich von Pisa. Carlo Bradaschia ist in den Keller eines Laborgebäudes gestiegen und blickt nun ins Innere einiger wuchtiger Metallröhren. Er arbeitet am Gravitationswellendetektor Virgo, dem europäischen Pendant zu LIGO in den USA.

Atmo 6: Tür, Schritte

Autor: Die Ausmaße von Virgo sieht man schon im Satellitenbild: Zwei rechtwinklige Arme inmitten von Wiesen und Feldern, jeder von ihnen drei Kilometer lang, also deutlich länger als

bei Geo600. Carlo Bradaschia ist nach draußen gegangen, vors Zentralgebäude von Virgo.

O-Ton 14: (Bradascchia)

„From this point we can see the two arms...“

Übersetzer:

Von hier aus können wir beide Arme sehen: Vor uns der Nordarm – eine blaue Röhre, Durchmesser wie ein U-Bahn-Tunnel. Das Ende sehen Sie da hinten, drei Kilometer entfernt, das würfelförmige blaue Gebäude da. Jetzt drehen wir uns nach links und sehen den Westarm. Der sieht genauso aus.

... with the same characteristic.“

Autor: In den beiden Armen laufen, reflektiert von Spiegeln, Laserstrahlen hin und her. Im Zentralgebäude treffen sie aufeinander.

O-Ton 15: (Bradascchia)

„This is the heart of Virgo.“

Atmo 7: Schritte Treppe

Autor: Im Gebäude geht Bradascchia die Treppe zu einer Galerie hinauf. Von hier oben hat man den besten Überblick.

Atmo 8: Zentralgebäude

O-Ton 16: (Bradaschia)

„From here we can see the different vacuum cylinders ...

Übersetzer:

Von hier sieht man mehrere große Vakuumtonnen. Im Betrieb sind sie fast luftleer gepumpt. Insgesamt müssen wir 6.000 Kubikmeter pumpen, dafür haben wir das größte Ultrahochvakuum-System Europas. In den Tonnen sind Spiegel und Optiken eingebaut. Sie lenken die Laserstrahlen in die Arme des Interferometers.

... into the interferometer. “

Autor: Ein Spezialspiegel teilt den Laserstrahl. Die eine Hälfte läuft den Nordarm hinunter und wird an dessen Ende von einem Spiegel reflektiert. Die andere Hälfte läuft in den Westarm.

O-Ton 17: (Bradaschia)

„When a gravitational wave goes through Virgo...

Übersetzer:

Sollte jetzt eine Gravitationswelle durch Virgo laufen, würde der eine Arm gestreckt, der andere gestaucht – allerdings nur um ein winziges Bisschen. Rund um die Uhr schauen wir also nach, ob sich die Länge der Arme für einen Moment ändert.

... or they change slightly their length. “

Atmo 9: Rascheln Überschuhe

Autor: In einer ersten Ausbaustufe war Virgo bereits von 2007 bis 2011 in Betrieb. Allerdings war die Messtechnik damals noch nicht empfindlich genug, um Gravitationswellen zu messen.

Das einzige, was die Forscher mit ihren Lasersensoren registrieren, war...

Atmo 10: Rauschen Virgo

Autor: ... das Grundrauschen der Sensoren. Deshalb entschlossen sich die Virgo-Macher für denselben Schritt wie die LIGO-Physiker in die USA: Sie rüsteten ihre Anlage kräftig auf. Das Kernstück der Renovierung: ein neuer, stärkerer Laser.

O-Ton 18: (Heitmann)

„Wir müssen jetzt weiße Überschuhe anziehen, und einen weißen Kittel.“

Autor: Bradaschias Kollege Henrich Heitmann steht vor dem Laserlabor – einem fensterlosen Raum im Keller, groß wie ein Klassenzimmer.

Atmo 11: Reißverschluss, Atmo Raum

O-Ton 18: (Heitmann)

„Und wir müssen vor allem Laser-Schutzbrillen anziehen. 50 Watt ist viel mehr, als das Auge vertragen kann.“

Atmo 12: Schritte Laserlabor, Tür

O-Ton 20: (Heitmann)

„Jetzt kommen wir ins Laserlabor selber. Sie sehen zwei optische Tische. Auf dem ersten Tisch sehen Sie eine Menge Optik. Das sieht sehr konfus aus, aber es hat alles natürlich seinen Sinn. Das ist der Lasertisch. Auf den zweiten Tisch

kommt die ganze Optik hin, die benötigt wird, um den Laserstrahl ins Interferometer zu schicken.“

Atmo 13: Laserlabor

Autor: Der alte Laser hatte eine Leistung von einem Watt. Der neue soll es auf 50, später sogar auf 200 Watt bringen. Dennoch soll er genauso präzise und stabil laufen wie das alte Modell.

O-Ton 21: (Heitmann)

„Das ist ein ziemlich komplizierter Laser. Wir brauchen einen sehr stabilen Laser mit einer sehr guten Strahlqualität. Einen Laser, bei dem die Leistung und die Frequenz nicht fluktuieren.“

Atmo 14: Klopfen Röhre

Autor: Oben zeigt Heitmann auf eine weitere Spezialität – die Spiegel und ihre Aufhängung. Sie sind ähnlich aufwändig wie bei Geo600 und bei LIGO. Die Spiegel werfen das Laserlicht in den drei Kilometer langen Armen hin und her. Es sind Scheiben aus hochreinem Quarz, zentnerschwer und groß wie Autoreifen.

O-Ton 22: (Heitmann)

„Wir müssen all unsere Spiegel aufhängen, um die Spiegel vor Vibrationen des Untergrundes zu schützen. Wir sind mitten in der Toskana. Da fahren Lastwagen vorbei. Das Meer ist nicht weit weg, und wir haben Leute, die hier rumlaufen, usw. Der Boden vibriert und die Spiegel dürfen

nicht vibrieren. Wenn der Spiegel vibriert, können wir das nicht unterscheiden von einer Gravitationswelle.“

Autor: Um die Schwingungen zu dämpfen, haben Carlo Bradaschia und seine Leute eine komplexe, zehn Meter hohe Spiegelaufhängung konstruiert.

O-Ton 23: (Bradaschia)
„This is one of the masses...“

Übersetzer:

Das hier ist eine Pendelmasse. Sie ist an einer Glasfaser aufgehängt. Unten an dieser Masse ist ein weiterer Faden befestigt. An dem hängt wieder eine Masse. Von diesen Pendelstufen gibt es insgesamt sechs. Erst ganz unten hängt der eigentliche Spiegel.

... suspended the mirror.“

Autor: Den Wettlauf, wer die erste Gravitationswelle aufschnappt, haben die Virgo-Macher verloren. LIGO hatte schlicht einen Vorsprung, die Anlage in den USA war ein gutes Jahr früher fertig als die in Italien. Doch in den kommenden Monaten soll auch der runderneuerte Virgo-Detektor loslegen und bald seine erste Gravitationswelle messen – davon jedenfalls gehen die Experten aus. In ein paar Jahren wird sogar noch ein weiteres Gerät in Japan hinzukommen. Dann haben sich die Forscher einen Traum erfüllt: ein Detektor-Netz rund um den Globus, das die Gravitationswellen aus den fernen Winkeln des Alls höchst detailliert vermessen kann.

Mod. Frank Grotelüschen. – Von der Erde geht jetzt der Blick nach oben, hinauf in den Weltraum, auf LISA Pathfinder, eine Satellitenmission, die den Weg ebnen soll für einen Gravitationswellen-Detektor im All.

Beitrag 3

Atmo: Countdown und Start LISA Pathfinder

Autor: 3. Dezember 2015. Vom Weltraumbahnhof Kourou startet eine Rakete in den Nachthimmel. Zwei Stunden später...

Atmo: Kommando abkoppeln

... koppelt sie einen Satelliten ab – LISA Pathfinder, eine achteckige Scheibe, Durchmesser zwei Meter. Seine Mission: Ein Test für ein geplantes Gravitationswellen-Teleskop im All, Projektname LISA. Gravitationswellen sind winzige Rippel in der Raumzeit, erzeugt durch kosmische Gewaltprozesse – explodierende Sonnen etwa oder zusammenprallende Sterne. Albert Einstein hatte ihre Existenz schon vor hundert Jahren vorausgesagt. Doch dass es sie wirklich gibt, weiß die Fachwelt erst seit kurzem.

O-Ton: (Danzmann)

„Die ersten Gravitationswellen haben Detektoren auf der Erde aufgefangen, und zwar im September 2015.“

Autor: Sagt Karsten Danzmann, Direktor am Albert-Einstein-Institut in Hannover. Damit war eine neue Spielart der Astronomie

begründet – die Astronomie mit Gravitationswellen. Bistlang jedoch gibt es nur bodengestützte Detektoren, Lasersensoren mit bis zu 4 Kilometern Länge wie LIGO in den USA. Deren Empfangsbereich aber ist beschränkt – ähnlich wie ein Radio, das nur ein paar Sender empfangen kann und nicht die ganze Bandbreite. Für die Gravitationswellen heißt das:

O-Ton: (Danzmann)

„Von der Erde aus werden wir immer nur die kleinen, leichten Objekte beobachten können. Denn erdgebundene Detektoren sind nur für die hohen Töne empfindlich. Wenn man die wirklich großen, mächtigen Objekte im Universum, die superschweren schwarzen Löcher und den Urknall studieren will, dann muss man in den Weltraum und dort die niedrigen Frequenzen detektieren.“

Autor: LISA, so heißt das höchst ehrgeizige Projekt der Europäischen Weltraumagentur ESA. Das Konzept:

O-Ton: (Danzmann)

„Drei Satelliten, die Laser und Teleskope tragen und dazwischen Millionen Kilometer Weltraum.“

Autor: Doch die Messtechnik ist anspruchsvoll. Insbesondere müssen die Spiegel, die die Laserstrahlen zwischen den Satelliten hin- und herwerfen, extrem ruhig in der Schwebelage gehalten werden, ansonsten lässt sich keine zufällig vorbeieilende Gravitationswelle aufschnappen. Also musste eine Testmission die Messtechnik erproben – LISA Pathfinder. Im Inneren des Satelliten sollten zwei

würfelförmige Testmassen schweben, ein Laser sollte den Abstand zwischen ihnen messen, und zwar mit extremer Präzision. Nach dem Start im Dezember 2015 hatte der Pfadfinder Anfang dieses Jahres sein Ziel in anderthalb Millionen Kilometern Entfernung von der Erde erreicht. Im Februar 2016 folgte ein heikler Schritt – das Ausklinken der Testmassen aus ihrer Halterung. Die Befürchtung:

O-Ton: (Wanner)

„Die Testmasse hätte einfach gegen die Wände knallen können.“

Autor: Sagt Gudrun Wanner vom Albert-Einstein-Institut, das maßgeblich an dem Projekt beteiligt ist.

O-Ton: (Wanner)

„Das war ein zittriger Moment, bei dem wir kräftig gefeiert haben, als es gut funktioniert hat.“

Autor: Die Messungen konnten beginnen. Um die Satellitendaten zu prüfen, schoben die Forscher wochenlang Sonderschichten.

O-Ton: (Wanner)

„Es waren aufregende Zeiten. Wir hatten viel zu tun, wir haben viele Experimente gemacht. Im Februar haben wir schon gewusst, dass wir auf gute Dinge zusteuern. Im März war das dann deutlich klar.“

Autor: Das bedeutet: LISA Pathfinder funktioniert deutlich besser als gedacht. Erwartet hatte Karsten Danzmann, dass der Lasersensor den Abstand zwischen den schwebenden

Testwürfeln bis auf einen Pikometer genau vermessen kann, bis auf ein milliardstel Millimeter. Es kam viel besser:

O-Ton: (Danzmann)

„Ach, Pikometer waren gestern. Wir messen auf Femtometer genau. Das Laserinterferometer ist einen Faktor von mehreren Hundert besser als alles, was wir uns vorgenommen hatten. LISA Pathfinder ist so empfindlich, dass es detektieren könnte, wenn sich ein Virus auf eine der Testmassen setzt und sie durch sein Gewicht aus der Bahn lenkt.“

Autor: LISA-Pathfinder habe seine Mission übererfüllt, sagt Danzmann. Und das bedeutet:

O-Ton: (Danzmann)

„Wir sind fertig, wir können LISA starten. Im Prinzip brauchen wir nur Geld und den Willen, und wir können anfangen.“

Autor: Ursprünglich war der Start von LISA für 2034 geplant. Nun würden ihn die Forscher am liebsten vorverlegen auf 2028.

Mod. "Dellen in der Raumzeit." Über die Fahndung nach den Gravitationswellen Albert Einsteins berichtete in hr-iNFO-Wissenswert Frank Grotelüschen. Und wenn wir Sie neugierig gemacht haben auf weitere Beiträge der Reihe Wissenswert, dann schauen Sie einfach mal in unser Podcast-Angebot auf hr-inforadio.de, unter der Rubrik Wissenswert.