



Hintergrund

Hannoveraner Wissenschaftler bändigen Lichtquanten In Hannover beginnt die Zukunft der Gravitationswellenastronomie

Neues Licht – heller und ruhiger als jemals zuvor

Neue Lichtquellen und Methoden für Längenmessungen mit nie da gewesener Präzision wurden jetzt am Zentrum für Gravitationsphysik, einer gemeinsamen Forschungseinrichtung von Max-Planck-Gesellschaft und Leibniz Universität Hannover, vorgestellt. Hier ist es weltweit erstmals gelungen, Lichtquanten zu bändigen, die sonst das so genannte Schrotrauschen des Lichts verursachen und die Längen-Messgenauigkeit von Laserinterferometern begrenzen.

Nachdem die neuen Lichtquellen und Methoden im deutsch-britischen Gravitationswellendetektor GEO600 in Ruthe bei Hannover auf ihre Stabilität und Zuverlässigkeit hin getestet wurden, werden sie auch das Herz zukünftiger amerikanischer Gravitationswellenobservatorien bilden – das Management der amerikanischen LIGO-Observatorien hat sich gerade für das „neue Licht“ aus Hannover entschieden.

Mit Hilfe der extrem präzisen Laserinterferometer wird es möglich sein, weiter ins Universum hineinzuhören, als mit jeder anderen Technologie. Damit wird ein neues Zeitalter der Gravitationswellenastronomie eingeläutet – Albert Einstein würde wahrscheinlich Luftsprünge machen. Denn der *direkte* Nachweis der von ihm vorausgesagten Gravitationswellen – winzigen Verzerrungen der Raumzeit – gehört nach wie vor zu den wichtigsten offenen Fragen der modernen Wissenschaft. Einstein selbst glaubte nicht daran, dass man sie jemals würde messen können. Indirekt nachgewiesen wurden sie bereits in den 1970er Jahren von den amerikanischen Astronomen Russell Hulse und Joseph Taylor Jr. Sie erhielten dafür 1993 den Nobelpreis für Physik.

Die neuen Lichtquellen und Methoden sind ein Ergebnis der langjährigen Zusammenarbeit des Zentrums für Gravitationsphysik mit dem Laser Zentrum Hannover sowie der Forschungsarbeiten am Gravitationswellendetektor GEO600. Die in Hannover entwickelte Spitzentechnologie wird künftig in der neuen Generation der amerikanischen Gravitationswellenobservatorien eingesetzt und ist darüber hinaus unter anderem für geodätische Messmethoden sowie für LISA, das Gravitationswellenobservatorium im Weltraum, geeignet.

„Nach einer mehr als dreißigjährigen Entwicklung an vorderster Front von Forschung und Technik zeigt sich hier, wie aus der reinen Grundlagenforschung anwendungsreife Technologien entstehen,“ so Prof. Dr. Karsten Danzmann, Direktor des Zentrums für Gravitationsphysik.



Warum Gravitationswellenastronomie?

Als Albert Einstein 1916 im Rahmen der Allgemeinen Relativitätstheorie die Existenz von Gravitationswellen voraussagte, war er fest davon überzeugt, diese kleinsten Veränderungen der Raumzeit werde man niemals messen können. Bis heute gehört der direkte Nachweis von Gravitationswellen zu den wichtigsten offenen Fragen der modernen Wissenschaft. Ihre direkte Beobachtung wird das Zeitalter der Gravitationswellenastronomie eröffnen und damit völlig neue Einblicke ins Universum ermöglichen – bis hin zu seiner Entstehung.

Die Beobachtung von Gravitationswellen hätte, neben der Untermauerung der Allgemeinen Relativitätstheorie, noch weiter reichende Auswirkungen:

Erstmals wäre es möglich, einen Blick in die sehr frühe „Kinderstube“ des Universums zu werfen. Die bisherigen Beobachtungen des Himmels beschränken sich nämlich auf das elektromagnetische Spektrum (z.B. Radio- und Röntgenteleskope sowie Beobachtungen sichtbaren Lichtes). Die Informationen, die uns damit über die Entstehung des Universums zugänglich sind, reichen nur bis maximal 380.000 Jahre nach dem Urknall zurück. Weiter zurück liegende Zeiten bleiben der Beobachtung bislang verborgen, da das Universum erst zu diesem Zeitpunkt transparent für elektromagnetische Strahlung wurde. Die verschiedenen Theorien zum frühen Universum sind somit bislang experimentell unbestätigt. Die direkte Messung von Gravitationswellen eröffnet hier vollkommen neue Möglichkeiten, da die Gravitation diesen Beschränkungen nicht unterliegt. Durch Gravitationswellenastronomie werden daher völlig neue physikalische Bereiche der direkten Beobachtung zugänglich.

90 Jahre nach Einsteins Voraussage ist eine direkte Messung von Gravitationswellen in den Bereich des Möglichen gerückt. Als geeignete Methode, die winzigen Stauchungen und Dehnungen der Raumzeit beim Durchgang einer Gravitationswelle zu beobachten, hat sich in den vergangenen Jahrzehnten die Laserinterferometrie herauskristallisiert. (Wie ein Laserinterferometer genau funktioniert, wird im Artikel „Innovative Optik für die Gravitationswellenastronomie“ von Michèle Heurs erklärt.)

Gravitationswellendetektoren der ersten Generation

Schon heute können die Gravitationswellendetektoren der ersten Generation, also z. B. der deutsch-britische Detektor GEO600 in Ruthe bei Hannover, Längenänderungen einer Messstrecke auf 10^{-19} m genau messen – diese Größe ist vergleichbar mit einem 10.000stel des Durchmessers eines Protons. Mit einer solchen Messgenauigkeit können Neutronensterne bis zu einer Entfernung von 40 Millionen Lichtjahren von der Erde aus beobachtet werden. Der so zugängliche Teil des Universums umfasst mehrere Dutzend Galaxien.

Gravitationswellendetektoren der zweiten Generation brauchen mehr Licht

Ziel der Wissenschaftler ist, noch genauer zu werden und immer kleinere Längenänderungen zu messen, um immer tiefer in das Universum hineinhören zu können. Aber: Dazu brauchen sie mehr Licht. Die Stabilität von sehr hellen Laserlichtquellen, wie man sie beispielsweise vom Laserschweißen und -schneiden her kennt, reicht dazu nicht aus. Diese Laser sind für die erforderlichen Präzisionsmessungen zu unruhig.



Ultrastabile Hochleistungslaser für zukünftige Gravitationswellendetektoren

Laserinterferometrische Gravitationswellendetektoren wie GEO600 stellen enorm hohe Anforderungen an die verwendeten Lichtquellen. Daher können nur Laser mit hoher Leistung und extrem hoher Stabilität eingesetzt werden. Die Stabilitätsanforderungen beziehen sich dabei auf alle Laserparameter: Laserleistung, Laserfrequenz (Wellenlänge oder Farbe des Lichtes), räumliches Strahlprofil (Abweichung des Laserstrahls von einer kreisförmigen Leistungsverteilung) und natürlich die Verlässlichkeit und Wartungsfreundlichkeit. Dem Wunsch nach mehr Licht und mehr Stabilität setzt die Quantenmechanik allerdings eine fundamentale Grenze – hervorgerufen durch die Quantennatur des Lichtes und das damit verbundene Leistungsrauschen. GEO600 und die amerikanischen LIGO-Observatorien sind bereits jetzt durch die quantenmechanische Körnigkeit des Lichtes in ihrer Empfindlichkeit begrenzt.

In enger Zusammenarbeit der Wissenschaftler des Zentrums für Gravitationsphysik mit ihren Kollegen am Laser Zentrum Hannover (LZH) ist jetzt ein Durchbruch gelungen: Es wurden erstmals Laser entwickelt, die hell und stabil genug sind, um die Anforderungen der 2. Generation von Gravitationswellenobservatorien zu erfüllen..

Das für den Gravitationswellendetektor GEO600 entwickelte Lasersystem hat seine Zuverlässigkeit und Stabilität in jahrelangem Messbetrieb bewiesen. Basierend auf den Erfahrungen mit dem GEO600-Laser wurde ein Laser mit einer 20fach höheren Leistung entwickelt, der in den nächsten Generationen der deutschen und amerikanischen Gravitationswellendetektoren (GEO-HF, Enhanced LIGO, Advanced LIGO) eingesetzt wird. Ferner wurde erstmals eine langjährig bestehende Grenze in der Leistungsstabilität unterschritten, was erst die Verwendung der Laser als Lichtquelle in zukünftigen Gravitationswellenobservatorien ermöglicht. Auch das französisch-italienische VIRGO-Projekt benutzt bereits jetzt und in der nächsten Version die in Hannover entwickelten Laser.

Mit der nächsten Generation der Gravitationswellendetektoren, beispielsweise Advanced LIGO, wird man 10.000 mal mehr Gravitationswellenquellen beobachten und die Verschmelzung von Neutronensternen eine Milliarde Lichtjahre weit ins Universum „hören“.

Werden mit diesen Observatorien Schwarze Löcher beobachtet, wird man sogar 5 Milliarden Lichtjahre weit „hören“ und damit rund 40% des Alters des gesamten Universums beobachten.

Mit der Laser Interferometer Space Antenna LISA wird man dann im Hinblick auf miteinander verschmelzende supermassive Schwarze Löcher bis zu einer Masse von einigen Millionen Sonnenmassen sogar das gesamte Universum „hören“ können.

Kooperation und Finanzierung

Die Entwicklung der Laser für die Gravitationswellendetektoren der nächsten Generation macht

Merkurstraße 12, D-14482 Potsdam

Tel: +49-(0)331-583 93 54, Fax: +49-(0)331-583 93 57, email: milde@mildemarketing.de

www.milde-marketing.de



sehr gute Fortschritte und wird von der Max-Planck-Gesellschaft und dem Land Niedersachsen aus Mitteln des Niedersächsischen Vorabs der Volkswagen Stiftung finanziert. In diesem Rahmen wurde im Juli dieses Jahres gerade ein Forschungs- und Entwicklungsauftrag über 2.4 Mio Euro zwischen dem Hannoveraner Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut/AEI) und dem Laser Zentrum Hannover (LZH) unterzeichnet.

Die Aufgabe des LZH ist dabei, einen verlässlichen Laser mit einer Ausgangsleistung von 180 Watt zu entwickeln, der dann von den Wissenschaftlern des AEI stabilisiert und in die amerikanischen Gravitationswellendetektoren eingebaut wird. Aufgrund der neuesten Forschungsergebnisse ist das AEI jetzt in der Lage, die Leistungsschwankungen des Lasers auf einen Bruchteil von einem Milliardstel der Laserleistung zu reduzieren und damit die Quantengrenze der detektierbaren Leistung zu erreichen.

Weitere Informationen zu ultrastabilen Lasern:

Dr. Benno Willke, email: benno.willke@aei.mpg.de

Das Rauschen der Lichtquanten - warum es uns stört und wie wir es quetschen

In Gravitationswellendetektoren wird Laserlicht eingesetzt, um die winzigen Dehnungen und Stauchungen des Raumes zu messen, die beim Durchgang einer Gravitationswelle entstehen. Durchquert eine Gravitationswelle den Detektor, verändert sie die Armlänge des Laserstrahls und damit die Intensität des Laserlichts am Ausgang des Detektors. Im Takt der Gravitationswelle wird dann über den photo-elektrischen Effekt ein entsprechender Photostrom erzeugt, dessen Daten gespeichert und verarbeitet werden können.

Es ist offensichtlich, dass das ursprüngliche Laserlicht möglichst keine Schwankungen in seiner Intensität zeigen sollte, damit noch winzigste Signale gemessen werden können. Beim Versuch, Licht ohne Intensitätsfluktuationen herzustellen, stellte man jedoch fest, dass die Quanteneigenschaft aller Objekte in der Natur stört. Denn: Licht ist in Photonen portioniert, die statistisch im Strahl verteilt sind. Diese Statistik führt dann auch zu Schwankungen auf den Zeitskalen der Gravitationswelle, und damit zu einem Rauschen, das die Messempfindlichkeit limitiert. Dieses Quantenrauschen wird auch "Schrottrauschen" genannt, in Analogie zu den unkorrelierten Kugeln einer Schrotsalve.

Die neuesten Forschungsergebnisse der Wissenschaftler am Zentrum für Gravitationsphysik zeigen jedoch: Licht mit reduziertem Quantenrauschen kann hergestellt und in Gravitationswellendetektoren genutzt werden! Dazu müssen Photonen miteinander korreliert werden, z.B. indem der zeitliche Abstand der Photonen einheitlicher festgelegt wird. Man spricht in diesem Fall von Licht mit "gequetschtem" Quantenrauschen.



Heisenbergs Unschärferelation liefert ein strenges Limit, das bei der Herstellung von gequetschtem Licht nicht umgangen werden kann. Gelingt es, das Quantenrauschen in der Amplitude (bzw. Intensität) zu reduzieren, also zu quetschen, so muss nach der Unschärferelation das Quantenrauschen in der Phase des Lichts automatisch ansteigen. Dieses wurde lange Zeit als fundamentales Problem angesehen und führte zu dem Begriff des Standard-Quantenlimits. Moderne Techniken können jedoch verhindern, dass der erhöhte Anteil des Quantenrauschens zurück in die Messung koppelt und sich dabei die durchs Quetschen erhöhte Empfindlichkeit wieder verschlechtert. Gequetschtes Licht ist somit geeignet, sowohl das Quantenschrotrauschen als auch das Standardquantenlimit zu überwinden.

Gequetschtes Licht kann beispielsweise mit nichtlinearen optischen Kristallen hergestellt werden. Die Hannoveraner Wissenschaftler haben auf dieser Basis in Laborexperimenten jetzt erstmals einen Laserinterferometer-Prototyp mit gequetschtem Licht in vollständiger GEO600-Konfiguration gebaut. Die Genauigkeit der Messung wurde so um den Faktor 2 besser, als es das quantenmechanische Schrotrauschen zulässt.

Der Einsatz dieser Technologie in den Gravitationswellendetektoren der dritten Generation würde es ermöglichen, ihre Reichweite zu verdoppeln und alle Verschmelzungen von leichten Schwarze Löcher fast im gesamten Universum zu detektieren.

Weitere Informationen:

Dr. Roman Schnabel, email: roman.schnabel@aei.mpg.de

LISA – Laser Interferometer Space Antenna

Das Spektrum der nach heutigem Kenntnisstand nachweisbaren Gravitationswellen umfasst einen Frequenzbereich von acht Größenordnungen, von 10^{-4} bis 10^4 Hz. Für die Messung von Gravitationswellen im hochfrequenten Bereich oberhalb von 1 Hz sieht die Zukunft dank der oben geschilderten Technologien rosiger aus.

Für die Messung von niederfrequenten Gravitationswellen gilt dies leider noch nicht, denn hier ist sich die Erde wegen seismischer Störungen selbst im Wege. Das zukunftsweisende Projekt der Gravitationswellenforschung ist daher LISA (Laser Interferometer Space Antenna) ein Detektor im Weltraum.

Ein Detektor im Weltall ist die einzige Chance, Gravitationswellen mit geringerer Frequenz als 1 Hz erfassen zu können. LISA, ein Gemeinschaftsprojekt von ESA und NASA, wird das größte, jemals von Menschenhand geschaffene Gebilde werden und vielleicht sogar empfindlich genug, den Nachhall des Urknalls zu hören. Mit LISA wird man Wellen zwischen 10^{-4} Hz und 1 Hz messen.



LISA wird aus drei identischen Satelliten bestehen, die in einer stabilen Formation entlang der Erdbahn fliegen. Der Abstand zur Erde beträgt dabei etwa 50 Millionen Kilometer. Die Satelliten bilden die Eckpunkte eines gleichschenkligen Dreiecks, dessen Seiten aus den jeweils 5 Millionen Kilometer langen Laserarmen des Interferometers gebildet werden. In jedem der Satelliten sind zwei Teleskope mit einem Durchmesser von 30 cm installiert. Jedes davon ist auf einen anderen Satelliten ausgerichtet und erfasst einen von dort ausgesendeten Laserstrahl. Dieser wird auf das Kernstück jedes der Satelliten weiter geleitet: Die so genannten Testmassen, die sich hinter jedem Teleskop befinden und frei im Satelliteninneren schweben. Das Laserlicht wird von der hochpolierten Testmasse reflektiert, verstärkt und wieder zum Ausgangssatelliten zurück gestrahlt. Der Start der LISA-Mission ist für 2015 geplant. Gegenwärtig befindet sich LISA in einer zweijährigen Mission Formulation Phase, in der alle Systemaspekte optimiert werden. Hauptauftragnehmer ist Astrium Friedrichshafen.

LISA Pathfinder: Test der LISA Schlüsseltechnologien im Weltraum

Zuvor werden mit der ESA-Mission LISA Pathfinder die Schlüsseltechnologien der Mess- und Kontrollsysteme im Weltraum getestet – der Start dieser Mission ist für Ende 2009 vorgesehen. In Hannover wird hierfür die neuartige optische Messtechnik im Herzen des Satelliten entwickelt und getestet.

LISA Pathfinder wird als europäische Kollaboration von 7 Staaten durchgeführt. Die ESA ist für Bodensegment, Trägerrakete und Satellitenbus zuständig. Die Mitgliedsstaaten finanzieren die wissenschaftliche Nutzlast. Das europäische Nutzlast Konsortium (LISA Technology Package) wird von einem Industriearchitekten koordiniert und geführt. Dieser Architekt ist Astrium Friedrichshafen unter Vertrag vom Albert Einstein Institut (AEI). Die finanziellen Mittel dafür erhält das Institut vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Das Projektteam am AEI wird aus dem Betriebshaushalt des Instituts finanziert. Die Gesamtkosten der Mission betragen etwa 240 Mio €. Davon entfallen etwa 200 Mio € auf die ESA, und etwa 40 Mio € auf die wissenschaftliche Nutzlast, davon 15 Mio € aus Deutschland. Die Mission schreitet schnell voran, alle Systeme haben die Preliminary Design Review (PDR) bestanden und die Fertigung der Flughardware beginnt.

Das Albert-Einstein-Institut war am ursprünglichen LISA Vorschlag (1992) maßgeblich beteiligt, hat das anfängliche LISA Study Team angeführt, hält jetzt den europäischen Vorsitz im von ESA und NASA berufenen LISA International Science Team (LIST) und ist Co-Principal Investigator bei LISA Pathfinder.

Die enge Zusammenarbeit mit der Industrie, wie sie bei derartigen Weltraummissionen erforderlich ist, funktioniert bei LISA hervorragend und ist für die Ausbildung unserer Doktoranden und Studenten von unschätzbarem Wert, da sie auf diese Weise sehr früh lernen, unter Zeit- und Kostendruck in einer Projektumgebung zu arbeiten.

Weitere Informationen:

Dr. Gerhard.Heinzel, email: gerhard.heinzel@aei.mpg.de

Merkurstraße 12, D-14482 Potsdam
Tel: +49-(0)331-583 93 54, Fax: +49-(0)331-583 93 57, email: milde@mildemarketing.de
www.milde-marketing.de



Entstehung und Nachweis von Gravitationswellen

Gravitationswellen sind Änderungen in der Struktur der Raumzeit, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Sie wurden 1916 von Albert Einstein im Rahmen seiner Allgemeinen Relativitätstheorie vorausgesagt. Unter den vielen stets mit Glanz bestandenen Tests der Allgemeinen Relativitätstheorie ist es besonders diese Voraussage, die noch der Bestätigung durch einen *direkten* Nachweis harret. Der Grund liegt in der Schwäche der Wechselwirkung zwischen Gravitation und Materie.

Bisher gibt es nur einen *indirekten* Beweis für die Existenz von Gravitationswellen. Die Astronomen Hulse und Taylor studierten über 25 Jahre Veränderungen in den Bahndaten des Binärpulsars PSR1913+16. Die Abnahme der Bahnperiode dieses Doppelsternsystems läßt sich als durch die Abstrahlung von Gravitationswellen bedingten Energieverlust deuten. Die Beobachtungen stimmen mit den Voraussagen der Allgemeinen Relativitätstheorie bestens überein. Dafür bekamen Hulse und Taylor 1993 den Nobelpreis für Physik.

Gravitationswellen werden von beschleunigten Massen erzeugt. Die dabei auftretenden Änderungen des Gravitationsfeldes können sich nur mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten. Das führt zwangsläufig zu einer als Welle fortschreitenden Erscheinung. Sie äußert sich in einer Verformung der Raumzeit, d.h. in einer periodischen Abstandsänderung zwischen benachbarten Probemassen. Der experimentelle Nachweis von Gravitationswellen besteht daher "nur" in einer einfachen Längenmessung. Wegen der Starrheit der Raumzeit sind die dadurch erzeugten Strukturänderungen aber nur sehr klein. Beobachtbare Gravitationswellen werden nur von kompakten kosmischen Objekten und Vorgängen mit großen Beschleunigungen erzeugt.

Typische Quellen sind daher Sternexplosionen (Supernovae), superschwere Schwarze Löcher oder schnell umeinander kreisende Neutronensterne. Selbst wenn diese Quellen in der Milchstraße oder einer Nachbargalaxis liegen, rufen sie auf der Erde nur relative Längenänderungen von bestenfalls 10^{-18} hervor, typischerweise sogar nur 10^{-21} , d.h. eine Strecke von 3 km Länge ändert sich nur um ein Tausendstel eines Protonendurchmessers. Dies verdeutlicht die Herausforderung, die ein direkter Gravitationswellennachweis darstellt.

Das Zentrum für Gravitationsphysik

Am Zentrum für Gravitationsphysik, einer gemeinsamen Einrichtung der Max-Planck-Gesellschaft und der Leibniz Universität Hannover, wird experimentelle Gravitationswellenforschung betrieben. Dazu gehört sowohl die Grundlagenforschung als auch die angewandte Forschung auf den Gebieten Laserphysik, Interferometrie, Vibrationsisolation sowie die klassischen Optik und Quantenoptik. Zusammen mit dem in Golm bei Potsdam angesiedelten theoretischen Teil des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik haben wir damit in Norddeutschland ein weltweit einzigartiges Zentrum für Gravitationsphysik, das alle ihre Aspekte abdeckt.



Gemeinsam mit britischen Forschungseinrichtungen betreibt das Zentrum für Gravitationsphysik in Ruthe bei Hannover den Gravitationswellendetektor GEO600. Die Wissenschaftler des Instituts sind außerdem federführend an LISA (Laser Interferometer Space Antenna), dem Gravitationswellendetektor im Weltraum beteiligt. Das Gemeinschaftsprojekt von NASA und ESA soll ab 2015 Gravitationswellen im Weltraum messen und damit erstmals so tief ins Universum hinein „hören“ können, wie niemals zuvor.

Die Leibniz Universität Hannover ist eng in das Forschungskonzept eingebunden: Ein Kooperationsvertrag sieht vor, das Teilinstitut mit zwei Abteilungen auszustatten. Dabei bringt die Max-Planck-Gesellschaft eine Abteilung unter der Leitung eines hauptamtlichen Direktors ein (die Abteilung wird Anfang nächsten Jahres die Arbeit aufnehmen). Die Universität Hannover stellt den Leiter der zweiten Abteilung.

Damit die Wissenschaftler von Universität und Max-Planck-Gesellschaft mit modernster Ausstattung in einer hochwertigen Laborumgebung forschen können, wurden zwei Universitätsgebäude in der Callinstraße komplett umgebaut: Es wurden Reinraumcontainer für optische Versuche eingebaut, Reinraumbedingungen für Labore und Versuchshallen sowie Verdunkelungsmöglichkeiten und Laserschutz in den Laborräumen geschaffen. Zwei Laborräume wurden mit erhöhter Schallisolation und Temperaturstabilität ausgestattet. Darüber hinaus wurden Sonderfundamente für den Erschütterungsschutz gegossen und es entstand ein zentraler Eingangsbereich, der beide Gebäude miteinander verbindet.

Die Umbaukosten in Höhe von rund 13 Millionen Euro hat das Land Niedersachsen aus Mitteln des Nieders. VW-Vorab getragen. Für die anteilige Nutzung durch die Max-Planck-Gesellschaft zahlt diese an die Leibniz Universität Hannover einen angemessenen Mietzins.

Organisatorisch sind die beiden Abteilungen in das **Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) in Golm bei Potsdam eingebunden**. Im Endausbau werden 89 Mitarbeiter im Zentrum für Gravitationsphysik arbeiten. Es entstehen 39 Planstellen, die jeweils zur Hälfte von der Max-Planck-Gesellschaft und der Universität Hannover getragen werden. 50 weitere Stellen werden aus Drittmitteln finanziert.

Weitere Informationen, Abbildungen und Filmmaterial:

Susanne Milde, Tel.: 0331 – 583 93 55, milde@mildemarketing.de

Dr. Stefanie Beier, Tel.: 0511 – 762 53 55 beier@pressestelle.uni-hannover.de

Dr. Peter Aufmuth, Tel.: 0511 – 762 23 86, peter.aufmuth@aei.mpg.de

www.aei.mpg.de

www.einstein-online.info

www.geo600.uni-hannover.de

<http://lisa.jpl.nasa.gov>

www.milde-marketing.de