

Hannover

Albert-Einstein-Institut Hannover

Institut für Gravitationsphysik, Leibniz Universität Hannover
und
Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut)

Callinstr. 38, 30167 Hannover
Tel. (0511) 762-2229, Telefax: (0511) 762-2784
E-Mail: office-hannover@aei.mpg.de
WWW: <http://www.aei-hannover.de>

0 Allgemeines

Am 1. April 2005 wurde aus den bisherigen Fachbereichen Physik und Mathematik der Leibniz Universität Hannover (LUH) die Fakultät für Physik und Mathematik. Im Rahmen dieser Neugründung wurde das bisherige Institut für Atom- und Molekülphysik in Institut für Gravitationsphysik umbenannt. Seit dem 1. April 1993 ist Prof. Dr. Karsten Danzmann der Leiter des Instituts. In enger Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching erfolgte seit 1995 der Aufbau des laserinterferometrischen Gravitationswellenobservatoriums GEO600. Der Betrieb wurde Ende 2001 aufgenommen.

Am 1. Januar 2002 wurde in Hannover in Kooperation mit der LUH ein Teilinstitut des in Potsdam-Golm befindlichen Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut, AEI) eingerichtet. Prof. Dr. Karsten Danzmann ist Leiter des AEI und Direktor der Abteilung „Laserinterferometrie und Gravitationswellennachweis“; Prof. Dr. Bruce Allen ist seit 2007 Direktor der zweiten Abteilung „Experimentelle Relativität und Kosmologie“.

1 Personal und Ausstattung

1.1 Personalstand

Direktoren und Professoren:

Prof. Dr. Bruce Allen [-17148], Prof. Dr. Karsten Danzmann [-2356], em. Prof. Dr. Frank Demmig [-3482], em. Prof. Dr. Manfred Kock [-2798], Prof. Dr. Roman Schnabel [-19169], PD Dr. Benno Willke [-2360].

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dr. Peter Aufmuth [-2386], Dr. Carsten Aulbert [-17185], Dr. Alessandro Bertolini [-17146], Oliver Bock [-17165], Dr. Johanna Bogenstahl [-4912], Dr. Michael Born [-17064], Jens Breyer [-17104], Marc-Rainer Brinkmann [-6138], Dr. Jérôme Degallaix [-17061], Ingo Diepholz [-19135], Dr. Henning Fehrmann [-17135], Dr. Antonio Francisco García Marín [-19035], Dr. Stefanos Giampanis [-17186], Dr. Stefan Goßler [-19133], Dr. Hartmut Grote [-2210], Dr. Kazuhiro Hayama [-19465], PD Dr. Gerhard Heinzl [-19984], Dr. Martin

Hewitson [-17121], Dr. Fumiko Kawazoe [-17059], Dr. Hyunjoo Kim [-17153], Dr. Gerrit Kühn [-2785], Dr. Patrick Kwee [-17144], Dr. Paola Leaci [-17096], Dr. Jonathan Leong [-17188], Dr. Harald Lück [-4777], Bernd Machenschalk [-19463], Dr. Christopher Messenger [-17097], Dr. Helge Müller-Ebhardt [-17050], Dr. Miquel Nofrarias [-17090], Dr. Maria Alessandra Papa [-17160], Dr. Maria Jesus Pareja [-17169], Dr. Holger Pletsch [17171], Dr. Jens Reiche [-5844], Dr. Christian Röver [-19466], Dipl.-Phys. Albrecht Rüdiger, Dr. Francesco Salemi [-17138], Dipl.-Phys. Roland Schilling, Dr. Benjamin Sheard [-17178], Dr. Frank Steier [-17151], Dr. Kenneth A. Strain [-17173], Dr. John R. Taylor [-17059], Dr. André Thüring [-17075], Dr. Michael Tröbs [-19841], Dr. Henning Vahlbruch [-17092], Michael Weinert [-6139], Dr. Walter Winkler, Dr. Kazuhiro Yamamoto [-17072].

Doktoranden:

Dipl.-Phys. Christoph Affeldt [-17035], Dipl.-Phys. Stefan Ast [-17078], Heather Audley, M.Sc., Dipl.-Phys. Simon Barke [-17184], Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. (FH) Jöran Bauchrowitz [-17074], Dipl.-Phys. Michael Britzger [-17189], Dipl.-Phys. Katrin Dahl [-17195], Dipl.-Phys. Marina Dehne [-17102], Dipl.-Phys. Christian Diekmann [-17147], Dipl.-Phys. James DiGuglielmo [-17138], Irene DiPalma, M.Sc. [-17187], Dipl.-Phys. Jessica Dück [-3437], Dipl.-Phys. Tobias Eberle [-17079], Juan José Esteban Delgado, M.Sc. [-17097], Dipl.-Phys. Roland Fleddermann [-17134], Dipl.-Phys. Daniel Friedrich [-19556], Dipl.-Phys. Oliver Gerberding [17152], Dipl.-Phys. Christian Gräf [-17068], Dipl.-Phys. Evgenia Granova, Dipl.-Phys. Henning Kaufer, Dipl.-Phys. Alexander Khalaidovski [-17125], Dipl.-Phys. Benjamin Knispel [-19104], Dipl.-Phys. Christina Krämer [-4994], Dipl.-Phys. Joachim Kullmann [-2799], Dipl.-Phys. Nico Lastzka [-17140], Dipl.-Phys. Christoph Mahrdrdt [-19922], Giulio Mazzolo, M.Sc. [-17063], Dipl.-Phys. Moritz Mehmet [-17139], Dipl.-Phys. Tobias Meier [-17170], Anneke Monsky, M.Sc. [-17131], Dipl.-Phys. Mirko Boris Prijatelj [-17051], Dipl.-Phys. Aiko Sambrowski [-17096], Dipl.-Phys. Miroslav Shaltev [-17103], Dipl.-Phys. Dmitry Simakov [-17057], Dipl.-Phys. Sebastian Steinlechner [-17076], Dipl.-Phys. Alexander Wanner [-5845], Dipl.-Phys. Gudrun Wanner [-17137], Dipl.-Phys. Tobias Westphal [-17058], Dipl.-Phys. Holger Wittel [17067].

Diplomanden:

Daniel Gregorek, Vitus Händchen, Björn Hemb, Christina Laukötter, Emil Schreiber, Dirk Schütte, Martin Sommerfeld, Daniel Wahlmann, Maximilian Wimmer.

Sekretariat und Verwaltung:

Gina Gerlach [-17052], Brigitte Gehrmann [-17163], Heidi Kruppa [-3543], Dr. Kasem Mosavi [-4780], Kirsten Naceur [-2229], Sabine Rehmert [-17164], Karin Salatti-Tara [-17145], Manfred Zimpel [-17161].

Technisches Personal:

Stefan Bertram [-2147], Jens Breyer [-17104], Marc Brinkmann [-6138], Dr. Iouri Bykov [-17191], Jan Diedrich [-2147], Ingo Diepholz [-17146], Claus Ebert [-17130], Walter Graß [-6165], Klaus-Dieter Haupt [-3542], Hans-Jörg Hochecker [-19464], Hans-Joachim Melching [-2147], Dipl.-Geophys. Konrad Mors [-5842], Xiaomei Niu [-17183], Dipl.-Ing. (FH) Michaela Pickenpack [-2502], Philipp Schauzu [-2147], Matthias Schlenk [-2873], Dipl.-Ing. (FH) Andreas Weidner [-19464], Michael Weinert [-6139], Heiko zur Mühlen [-2368], Dipl.-Ing. Karl-Heinz Zwick-Meinheit [-3544].

Studentische Mitarbeiter:

Robin Bähre, Christoph Baune, Nils Brause, Marius Hartmann, Henrik Kröger, Matthias Linden, Mike Marwede, Jonas Matthias, Vitali Müller, Xiaomei Niu, Henning Perl, Holger Petzholdt, Christian Pfenig, Alexander Post, Michael Schrempf, Daniela Schulze, Thomas Schwarze, Silva Smalian, Kristina Thrien, Arthur Varkentin, Gerrit Visscher.

1.2 Personelle Veränderungen

Ausgeschieden:

Hannah Arpke, Dr. Oliver Burmeister, Dr. Oliver Dreissigacker, Dipl.-Phys. Volker Gies, Dr. Felipe Guzmán Cervantes, Dr. Boris Hage, Dr. Frank Seifert.

Neueinstellungen und Änderungen des Anstellungsverhältnisses:

Juniorprof. Dr. Roman Schnabel hat einen an ihn ergangenen Ruf auf eine W2-Professur für Laserinterferometrie an der LUH angenommen.

1.3 Instrumente und Rechanlagen

Das Gravitationswellenobservatorium GEO600 ist ein Laserinterferometer in Michelson-Anordnung mit 600 Meter langen Armen. Es hat Ende 2001 den Betrieb aufgenommen, wird aber noch laufend verbessert. In Zusammenarbeit mit ESA und NASA wird das Weltraumprojekt LISA („Laser Interferometer Space Antenna“) vorbereitet, ein Gravitationswellendetektor aus drei Satelliten in einem Abstand von fünf Millionen Kilometern. Zunächst soll 2012 eine Probemission (LISA Pathfinder) gestartet werden. Während GEO600 oberhalb von 40 Hertz nach Gravitationswellen sucht, ist LISA für den Millihertz-Bereich zuständig.

Zur Auswertung der Messdaten wurde der Computer-Cluster ATLAS aufgebaut und im Mai 2008 in Betrieb genommen. Er umfasst in der gegenwärtigen Ausbaustufe 1680 Rechnerknoten mit jeweils vier CPU-Kernen, 32 Datenknoten à 10 Terabyte und 13 mit jeweils 18 Terabyte Festplattenplatz. Damit erreicht er eine extrapolierte effektive Rechenleistung von etwa 40 Teraflops pro Sekunde. Die einzelnen Komponenten sind mit insgesamt rund sechs Kilometer handelsüblicher Ethernet-Kabel verbunden. Aufgrund des speziellen, hoch effizienten Gigabit-Netzwerks ist ATLAS laut Liste der Top-500 Supercomputer vom Juni 2008 der welt schnellste Gigabit-Ethernet-basierte Cluster.

2 Lehrtätigkeit, Prüfungen und Gremientätigkeit

2.1 Lehrtätigkeiten

Prof. K. Danzmann hielt im WS 2008/09 die Vorlesungen „Gravitationsphysik“ und „Laserinterferometrie“, im SS 2009 „Gravitationsphysik II“ und im WS 2009/10 „Gravitationsphysik“ und „Laserinterferometrie“.

Prof. R. Schnabel hielt im WS 2008/09 die Vorlesung „Experimentalphysik für Chemie, Biochemie, Geodäsie, Geoinformatik und Geowissenschaften“, im SS 2009 „Experimentalphysik für Chemie, Biochemie, Geodäsie, Geoinformatik und Geowissenschaften II“ und im WS 2009/10 „Nichtklassisches Licht“.

Das Institut bot folgende Seminare zum Scheinerwerb an: Im WS 2008/09 „Quantenrauschen des Lichts“, im SS 2009 „Einstein in Theorie und Experiment“ und im WS 2009/10 „Meilensteine im Weltraum: Die wichtigsten wissenschaftlichen Satellitenmissionen“.

3 Wissenschaftliche Arbeiten

Das Auftreten von Gravitationswellen ist eine immer noch nicht direkt bestätigte Voraussage der Allgemeinen Relativitätstheorie (1916). Sie entstehen, wenn große, mit einem Quadrupolmoment versehene Massen sich beschleunigt bewegen. Sie bewirken eine geringe Abstandsänderung zwischen zwei Punkten des Raumzeit-Kontinuums. Wellen beobachtbarer Stärke erwartet man von astrophysikalischen Objekten (Binärsysteme aus Neutronensternen oder Schwarzen Löchern) oder Ereignissen (Supernovae, Urknall). Die erfolgreiche Beobachtung von Gravitationswellen wird einen völlig neuen Zweig der Astronomie eröffnen und uns grundlegend neue Erkenntnisse über Entstehung, Aufbau und Entwicklung

des Universums liefern.

Ziel unserer Forschungen sind Entwicklung und Betrieb von erdgebundenen sowie satellitengestützten laserinterferometrischen Detektoren für Gravitationswellen. GEO600 wurde von September 1995 bis Ende 2001 in Ruthe bei Hannover gebaut. Im Jahr 2002 begann die Erprobungsphase; seitdem konnte die Empfindlichkeit der Anlage um einen Faktor 3000 gesteigert werden. GEO600 kann gegenwärtig Längenänderungen von $3 \cdot 10^{-19}$ m messen. Die Anlage läuft heute mit einer Verlässlichkeit von 98 % im Dauerbetrieb. Bei GEO600 handelt es sich um eine deutsch-britische Zusammenarbeit. GEO600 arbeitet im Rahmen der LIGO Scientific Collaboration mit den US-amerikanischen Detektoren (LIGO) und dem französisch-italienischen Detektor (Virgo) eng zusammen.

Wir sind ebenfalls an der internationalen Studiengruppe für LISA, einem Gravitationswellendetektor im All mit 5 Millionen km Armlänge, federführend beteiligt. Zur Zeit bereiten wir in enger Zusammenarbeit mit der Industrie LISA Pathfinder vor, eine Probemission für LISA, die Anfang 2012 starten soll.

Die Forschungsarbeit des Instituts befaßt sich mit der Suche nach neuen Techniken zur Vorbereitung der nächsten Generation von zehnmal empfindlicheren Gravitationswellendetektoren. Zur Zeit wird ein neuer Prototyp eines Michelson-Interferometers mit einer Armlänge von 10 m aufgebaut. Die Schwerpunkte liegen auf dem Gebiet der Quantenoptik (Einsatz von gequetschtem Licht), der Laserentwicklung und der nichtklassischen Interferometrie (Einsatz von nichtdurchstrahlter Optik).

4 Diplomarbeiten, Dissertationen, Habilitationen

4.1 Diplomarbeiten

Abgeschlossen:

Ast, Stefan: Erzeugung gequetschter Lichtfelder mit einer Bandbreite über 1 GHz. Leibniz Universität Hannover, Diplomarbeit, 2009.

Bähre, Robin: Suppression of correlated laser power noise in a single-mode pumped non-planar ring oscillator. Leibniz Universität Hannover, Diplomarbeit, 2009.

Eberle, Tobias: Squeezed Light Enhanced Fibre Sagnac Interferometer. Leibniz Universität Hannover, Diplomarbeit, 2009.

Eichholz, Johannes: Inter-Spacecraft Optical Ranging and Data Transfer for LISA. Leibniz Universität Hannover, Diplomarbeit, 2009.

Kranz, Oliver: Suspension Platform Interferometer. Leibniz Universität Hannover, Diplomarbeit, 2009.

Pöld, Jan Hendrik: Stabilization of the Advanced LIGO 200 W Laser. Leibniz Universität Hannover, Diplomarbeit, 2009.

Tünnermann, Henrik: Intrinsische Reduktion der Depolarisation in Nd:YAG Kristallen. Leibniz Universität Hannover, Diplomarbeit, 2009.

Westphal, Tobias: Optomechanische Kopplung in Michelson-Sagnac-Interferometern. Leibniz Universität Hannover, Diplomarbeit, 2009.

Wittel, Holger: Compensation of thermal lensing in the GEO600 beam splitter. Leibniz Universität Hannover, Diplomarbeit, 2009.

4.2 Dissertationen

Abgeschlossen:

Guzmán Cervantes, Felipe: Gravitational Wave Observation from Space: Optical Measurement Techniques for LISA and LISA Pathfinder. Leibniz Universität Hannover, Dissertation, 2009.

Pletsch, Holger: Data Analysis for Continuous Gravitational Waves. Leibniz Universität Hannover, Dissertation, 2009.

Seifert, Frank: Power Stabilization of High Power Lasers for Second Generation Gravitational Wave Detectors. Leibniz Universität Hannover, Dissertation, 2009.

Thüring, André: Investigations of coupled and Kerr non-linear optical resonators. Leibniz Universität Hannover, Dissertation, 2009.

4.3 Habilitationen

Heinzel, Gerhard: Präzisionsinterferometrie für Gravitationswellendetektoren. Leibniz Universität Hannover, Habilitationsschrift, 2009.

Willke, Benno: Stabilisierte Festkörperlaser hoher Leistung für Gravitationswellenmessungen. Leibniz Universität Hannover, Habilitationsschrift, 2009.

5 Tagungen, Projekte am Institut und Beobachtungszeiten

5.1 Tagungen und Veranstaltungen

GEO Meetings, Data Analysis Workshops, Highlights der Physik, IdeenExpo, Nacht der Astronomie, Wissenschaftszug.

5.2 Projekte und Kooperationen mit anderen Instituten

Am Aufbau und Betrieb von GEO600 sind folgende Institutionen beteiligt: Leibniz Universität Hannover; University of Glasgow; Cardiff University; Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca; Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching; Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut), Potsdam/Golm; Rutherford Appleton Laboratory, Chilton; Laser Zentrum Hannover; Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

LISA ist ein Gemeinschaftsprojekt mit: Leibniz Universität Hannover; University of Glasgow; Cardiff University; Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching; Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut), Potsdam/Golm; Rutherford Appleton Laboratory, Chilton; Imperial College, London; Università di Trento; University of Colorado, Boulder; Jet Propulsion Laboratory, Pasadena; CNRS, Nice; ONERA, Chatillon; CNR, Frascati; ESA-ESTEC, Noordwijk; NASA, Washington.

5.3 Beobachtungszeiten

GEO600 läuft mindestens zu 80% der Zeit im Dauerbetrieb („Astrowatch“).

6 Auswärtige Tätigkeiten

6.1 Nationale und internationale Tagungen

Frühjahrstagung der DPG in Hamburg und München; 13th Gravitational Wave Data Analysis Workshop, San Juan, Puerto Rico; LSC-Virgo March 2009 Meeting, Pasadena, USA; 8th Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves, New York City, NY, USA; Gravitational-Wave Advanced Detector Workshop, Ft. Lauderdale, FL, USA.

6.2 Kooperationen

SFB/TR7: An dem Sonderforschungsbereich/Transregio „Gravitationswellenastronomie: Methoden - Quellen - Beobachtung“ sind beteiligt: das Max-Planck-Institut für Gravitationsforschung (Albert-Einstein-Institut) in Golm und Hannover, das Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching, die Leibniz Universität Hannover, die Friedrich-Schiller-Universität Jena und die Eberhard Karls Universität Tübingen. Seine Aufgabe besteht

in einer aufeinander abgestimmten Forschung der beteiligten Gruppen auf dem Gebiet der theoretischen und experimentellen Astrophysik. Die Weiterentwicklung von Theorie und Experiment zur Gravitationsstrahlung muss neue mathematische Methoden nutzbar machen, das Studium der kompakten astrophysikalischen Strahlungsquellen (Neutronensterne, Schwarze Löcher, Binärsysteme, kollabierende Materie) vorantreiben und die experimentelle Technik der Detektoren ständig verbessern. Im Rahmen dieses SFB sollen Design, Darstellung und Anwendung von effektiven Reflexionsoptiken zur Strahlteilung und Strahlsuperposition in unterschiedlichen Interferometertypen auf der Grundlage diffraktiver Strukturen untersucht werden, die mit Mikro- und Nanostrukturtechnik auf hochreflektierende Schichtsysteme aufgebracht wurden. Der Einsatz neuer Interferometer-Topologien (Signal-Recycling, Resonant-Sideband-Extraction, aktive Schwingungsisolation, Kühlung, gequetschtes Licht, QND-Techniken) wird die Empfindlichkeit von Gravitationswellendetektoren wesentlich steigern.

QUEST: An der Leibniz Universität Hannover wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Albert-Einstein-Institut der Exzellenzcluster „Centre for Quantum Engineering and Space-Time Research“ (QUEST) entwickelt. In QUEST haben sich die führenden Institute auf den Gebieten der Forschung mit einzelnen Atomen, Atominterferometern, atomaren Quantensensoren, Lasern und Atomuhren sowie der Astronomie mit Gravitationswellen, der Erdbeobachtung und der Geodäsie zusammengetan. Ziel der beteiligten Wissenschaftler ist es, Quantenphysik und Relativitätstheorie in einem physikalischen Modell zu vereinen. Dabei können sie auf neu entwickelte Verfahren zur Präzisionsmessung von Länge, Zeit, Beschleunigung und Rotation zurückgreifen, die in den vergangenen Jahren durch neue Quanten-Technologien und Methoden des Quanten Engineering geschaffen worden sind. Hierzu zählen zum Beispiel Atomlaser oder Bose-Einstein-Kondensate. Die neuen Erkenntnisse werden wesentliche Informationen für Anwendungsbereiche wie die Satellitennavigationssysteme der nächsten Generation liefern. Hierzu gehören unter anderem das europäische Navigationssystem Galileo, neue Erdbeobachtungssatelliten oder erheblich genauere geodätische Referenzsysteme.

7 Veröffentlichungen

7.1 In Zeitschriften und Büchern

- Abbott, B. and the LIGO Scientific Collaboration: Einstein@Home search for periodic gravitational waves in LIGO S4 data. *Phys. Rev. D* **79** (2009) 02200 [29 pp]
- Tröbs, M., L. d’Arcio, G. Heinzel, K. Danzmann: Frequency stabilization and actuator characterization of an ytterbium-doped distributed-feedback fiber laser for LISA. *J. Opt. Soc. Am. B* **26** (2009) 1137 - 1140
- Abbott, B.P. and the LIGO Scientific Collaboration and the Virgo Collaboration: An upper limit on the stochastic gravitational-wave background of cosmological origin. *Nature* **460** (2009) 990 - 994
- Hild, S., H. Grote, J. Degallaix, S. Chelkowski, K. Danzmann, A. Freise, M. Hewitson, J. Hough, H. Lück, M. Prijatelj, K.A. Strain, J.R. Smith, B. Willke: DC-readout of a signal-recycled gravitational wave detector. *Class. Quantum Grav.* **26** (2009) 055012 [10 pp]
- Pletsch, H.J., B. Allen: Exploiting Large-Scale Correlations to Detect Continuous Gravitational Waves. *Phys. Rev. Lett.* **103** (2009) 181102 [4 pp]
- Müller-Ebhardt, H., H. Rehbein, C. Li, Y. Mino, K. Somiya, R. Schnabel, K. Danzmann, Y. Chen: Quantum-state preparation and macroscopic entanglement in gravitational-wave detectors. *Phys. Rev. A* **80** (2009) 043802 [18 pp]
- Prix, R., B. Krishnan: Targeted search for continuous gravitational waves: Bayesian versus maximum-likelihood statistics. *Class. Quantum Grav.* **26** (2009) 204013 [12 pp]

Abbott, B.P. and the LIGO Scientific Collaboration: Search for gravitational-wave bursts in the first year of the fifth LIGO science run. *Phys. Rev. D* **80** (2009) 102001 [26 pp]

7.2 Konferenzbeiträge

Tröbs, M., S. Barke, J. Möbius, M. Engelbrecht, D. Kracht, L. d’Arcio, G. Heinzel, K. Danzmann: Lasers for LISA: Overview and phase characteristics. *J. Phys.: Conf. Ser.* **154** (2009) 012016 [6 pp]

Bykov, I., J.J. Esteban Delgado, A.F. García Marín, G. Heinzel, K. Danzmann: LISA phase-meter development: Advanced prototyping. *J. Phys.: Conf. Ser.* **154** (2009) 012017 [5 pp]

Dehne, M., F. Guzmán Cervantes, B. Sheard, G. Heinzel, K. Danzmann: Laser interferometer for spaceborne mapping of the Earth’s gravity field. *J. Phys.: Conf. Ser.* **154** (2009) 012023 [6 pp]

Der Tagungsband zur „Eighth Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves“ erscheint im Juni 2010 als Sonderband der Zeitschrift „Classical and Quantum Gravity“ (Vol. **27**); er enthält zahlreiche Beiträge von Mitarbeitern des Albert-Einstein-Instituts.

7.3 Populärwissenschaftliche und sonstige Veröffentlichungen

Aufmuth, P.: Warten auf die Welle. *Sterne und Weltraum* (H. 1, 2009) 30 - 39

Peter Aufmuth