

ASTROPHYSIKALISCHES INSTITUT POTSDAM



AIP

## Biennial Report 2006 – 2007







**Imprint** Zweijahresbericht des Astrophysikalischen Instituts Potsdam 2006-2007

**Herausgeber** Astrophysikalisches Institut Potsdam

An der Sternwarte 16 · 14482 Potsdam · Germany

Telefon +49 331 7499 0 · [www.aip.de](http://www.aip.de)

**Inhaltliche Verantwortung** Matthias Steinmetz

**Redaktion** Gabriele Schönherr

**Design und Layout** Ben Kuniss für [kreativ-boutique.de](http://kreativ-boutique.de)

**Druck** Druckerei Hermann Schlesener KG

Potsdam, Juni 2008

## Vorwort *Preface*

In den Jahren 2006 und 2007 konnte die wissenschaftliche Arbeit dank kontinuierlicher Investitionen in die Infrastruktur erfolgreich weitergeführt und ausgebaut werden.

Das Institut befindet sich heute in einer ausgewogenen Balance, bei welcher der experimentellen und beobachtungsorientierten Forschung der gleiche Stellenwert wie den theoretischen und simulationsorientierten wissenschaftlichen Arbeiten zukommt. Die gegenwärtige thematische Breite des Instituts folgt somit in konsequenter Weise dem Übergang von stellarer und interstellarer Plasmaphysik zu Forschungen im Hinblick auf die kosmologische Evolution und großräumige Strukturbildung.

Die Verfügbarkeit astronomischer Instrumente und Teleskope an idealen Standorten und die Beherrschung der umfassenden Datenmengen, die von Beobachtungen wie Simulationsrechnungen erzeugt werden, bestimmen den Fortschritt in der Astrophysik. Mit dem Aufbau eines Entwicklungsbereiches „Entwicklung von Forschungsinfrastruktur und -technologie“ wurde diesen Vorgaben Rechnung getragen. 2006 konnte das robotische Teleskop STELLA auf Teneriffa seinen Betrieb aufnehmen und das LBT (Large Binocular Telescope) seiner wissenschaftlichen Nutzung zugeführt werden. Für die Arrondierung des Forschungscampus Babelsberg durch einen Neubau wurden die planerischen Grundlagen erarbeitet.

Als Institut der Leibniz-Gemeinschaft stellt sich das AIP alle sieben Jahre einer rigorosen Evaluierung. Dabei konnte das Institut 2007 wieder erfolgreich seine Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit auf internationalem Niveau demonstrieren.

Der vorliegende Zweijahresbericht gibt einen Überblick über die Arbeiten des Instituts und präsentiert aktuelle Fragen und Antworten aus der modernen Astrophysik. Die Pflege des umfassenden wissenschaftshistorischen Erbes wird ebenso dargestellt. Wir bedanken uns bei unseren Zuwendungsgebern, Kuratoren, Beiratsmitgliedern und Kooperationspartnern für die erfolgreiche Zusammenarbeit und freuen uns auf die vor uns liegenden gemeinsamen Projekte der Zukunft.



*During 2006 and 2007 the scientific work of all program areas at the AIP was successfully continued and strengthened thanks to continuous investments in infrastructure.*

*The institute today finds itself in a well-balanced position where experimental/observation-oriented research and theoretical/simulation-oriented research are of the same value. The broad diversity of the institute today reflects the scientific transition from (small-scale) stellar and interstellar plasma physics to research in the field of cosmological evolution and large-scale structure formation.*

*Progress in astrophysics is governed by the availability of astronomical instruments and telescopes at ideal sites and the control of an extensive amount of data from observations and simulations. This factor was met with the establishment of a further focus area “development of research infrastructure and technology”. In 2006, the robotic telescope STELLA on Tenerife, which was designed at the AIP, started operation. The LBT (Large Binocular Telescope), an international project with participation of the AIP, entered into its science acquisition phase. The planning permission for the construction of a new building on the Babelsberg research campus was obtained.*

*Being part of the Leibniz Association, the AIP faces a rigorous evaluation procedure every seven years. During the evaluation process in 2007, the institute successfully demonstrated its excellent performance and competitiveness on an international level.*

*This biennial report provides an overview of research work at the institute, presents current questions and results in modern astrophysical research, and documents the fostering of its scientific and historical legacy. We would like to thank our funding agencies and supporters, board members and administrative partners for the successful collaboration in the years 2006 and 2007. We look forward to joint projects in the future.*

**Prof. Dr. Matthias Steinmetz**  
Wissenschaftlicher Vorstand  
und Direktor Forschungsbereich II

**Peter A. Stolz**  
Administrativer Vorstand

**Prof. Dr. Klaus G. Strassmeier**  
Direktor Forschungsbereich I

**Im Frühjahr 2008**



# Inhalt Contents

<b>Impressum Imprint</b> .....	4
<b>Vorwort Preface</b> .....	5
<b>Inhalt Contents</b> .....	7
<b>Profil Profile</b> .....	8
<b>■ Wissenschaft und Forschung Science and Research</b>	
<b>Kosmische Magnetfelder Cosmic Magnetic Fields</b> .....	12
Magnetohydrodynamik und Turbulenz <i>Magnetohydrodynamics and Turbulence</i> .....	14
Physik der Sonne <i>Physics of the Sun</i> .....	22
Sternphysik und Sternaktivität <i>Stellar Physics and Stellar Activity</i> .....	31
<b>Extragalaktische Astrophysik Extragalactic Astrophysics</b> .....	38
Sternentstehung und interstellares Medium <i>Star Formation and the Interstellar Medium</i> .....	40
Galaxien und Quasare <i>Galaxies and Quasars</i> .....	48
Kosmologie und großräumige Strukturen <i>Cosmology and Large-Scale Structure</i> .....	58
<b>Entwicklung von Forschungsinfrastruktur und -technologie</b>	
<i>Development of Research Technology and Infrastructure</i> .....	66
Teleskopsteuerung und Robotik <i>Telescope Control and Robotics</i> .....	68
Hochauflösende Spektroskopie und Polarimetrie <i>High-resolution Spectroscopy and Polarimetry</i> .....	76
3D-Spektroskopie <i>3D Spectroscopy</i> .....	84
Supercomputing und E-Science <i>Supercomputing and E-Science</i> .....	92
<b>■ Standorte und Infrastruktur Sites and Infrastructure</b>	
<b>Forschungscampus Potsdam-Babelsberg und Außenstellen</b>	
<i>The Potsdam-Babelsberg Research Campus and associated facilities</i> .....	100
<b>Wissenschaftshistorischer Standort Potsdam-Telegrafenberg</b>	
<i>The Potsdam-Telegrafenberg Historical Site</i> .....	107
<b>Das AIP am Observatorio del Teide auf Teneriffa</b>	
<i>AIP facilities at the Observatorio del Teide on Tenerife</i> .....	110
<b>Das AIP am Mt. Graham International Observatory in Arizona</b>	
<i>AIP facilities at the Mt Graham International Observatory in Arizona</i> .....	112
<b>■ Öffentlichkeitsarbeit und Ausbildung Public Outreach and Education</b>	
<b>Ausbildung am AIP Educational activities at AIP</b> .....	118
<b>Presse- und Öffentlichkeitsarbeit Public Outreach</b> .....	120
<b>Veranstaltungen Events</b> .....	123
<b>■ AIP im Überblick AIP at a glance</b>	
<b>Institutsdaten Institute Data</b> .....	126
<b>Organigramm Organizational chart</b> .....	128
<b>Geschichtstafel History</b> .....	129
<b>Anreise How to get there</b> .....	130

## Profil *Profile*

Das Astrophysikalische Institut Potsdam (AIP) ist eine Stiftung privaten Rechts zum Zweck der wissenschaftlichen Forschung auf dem Gebiet der Astrophysik. Seinen Forschungsauftrag führt das AIP im Rahmen von nationalen, europäischen und internationalen Kooperationen aus. Die Beteiligung am Large Binocular Telescope auf dem Mt. Graham in Arizona, dem größten optischen Teleskop der Welt, verdient hierbei besondere Erwähnung.

Neben seinen Forschungsarbeiten profiliert sich dabei das Institut zunehmend als Kompetenzzentrum im Bereich der Entwicklung von Forschungstechnologie. So ist die internationale Bedeutung als Kompetenzzentrum für 3D-Spektroskopie wohl etabliert, der Aufbau einer analogen Rolle in der robotischen Teleskopsteuerung und der hochauflösenden Spektroskopie und Polarimetrie weit fortgeschritten. Die Grundlagen für eine national koordinierende Rolle im Bereich der E-Science und der Astronomie mit Durchmusterungen sind geschaffen.

*The AIP is a foundation according to civil law with the purpose of scientific research in the area of astrophysics. The AIP conducts its research mandate in the framework of national, European and international collaborations. The participation in the Large Binocular Telescope project, the world's largest optical telescope on Mt Graham, Arizona, is worth a special reference.*

*In addition to conducting research, the institute distinguishes itself more and more as a centre of competence in the area of the development of science technology. Its international reputation as a centre of competence for 3D spectroscopy is well-established; the process of assuming an analogous role in robotic telescope control and high-resolution spectroscopy and Polarimetry is very advanced. The foundations are laid for a coordinating role in the area of e-science and e-astronomy involving surveys on a national scope.*



Zwei gemeinsame Berufungen mit der Universität Potsdam und mehrere außerplanmäßige Professuren und Privatdozenturen an Universitäten in der Region und weltweit verbinden das Institut mit der universitären Forschung und Lehre. Zudem nimmt das AIP Aufgaben im Bereich der Aus-, Fort- und Weiterbildung und in der Öffentlichkeitsarbeit wahr.

Neben seiner wissenschaftlichen Aufgabe verwaltet die Stiftung AIP auch ein umfassendes wissenschaftshistorisches Erbe. Das AIP ist Nachfolger der 1700 gegründeten Berliner Sternwarte und des 1874 gegründeten Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam, der ersten Forschungseinrichtung weltweit, die sich ausdrücklich der astrophysikalischen Forschung widmete.

*Two joint appointments with the University of Potsdam, and several "extraordinary" professorships and lectureships at regional and world-wide universities connect the institute with non-university teaching and research. The AIP performs public outreach as well as other educational training.*

*In addition to its research mandate, the AIP also administers an extensive scientific and historical legacy. The institute is successor of the Berlin observatory founded in 1700 and of the Astrophysical Observatory Potsdam, which at the time of its foundation in 1874 was the first research institute world-wide to explicitly devote its work to astrophysical research.*

Das wissenschaftliche Forschungsprogramm des Instituts gliedert sich in die zwei Hauptforschungsrichtungen:

- I. Kosmische Magnetfelder
- II. Extragalaktische Astrophysik

Jede dieser Hauptforschungsrichtungen wird von einem wissenschaftlichen Direktor geleitet und ist organisatorisch in je drei Programmbereiche untergliedert: "Magnetohydrodynamik und Turbulenz", "Physik der Sonne", "Sternphysik und Sternaktivität", bzw. "Sternentstehung und Interstellares Medium", "Galaxien und Quasare" und "Kosmologie und großräumige Strukturen". Diese Forschungsgebiete sind durch die Anwendung verwandter mathematischer und physikalischer Methoden sowie durch gemeinsame Projekte in der Entwicklung und dem Einsatz von neuen Technologien eng miteinander verbunden. Seit seiner Neugründung 1992 befasst sich das AIP somit auch zunehmend mit der Entwicklung des ent-

*The scientific research programme of the AIP pursues two main research areas:*

- I. Cosmic Magnetic Fields*
- II. Extragalactic Astrophysics*

*Each of these main research areas is led by a scientific director, and is organizationally split into three programme areas: "Magnetohydrodynamics and Turbulence", "Physics of the Sun", "Stellar Physics and Activity" on the one hand, and "Star Formation and the Interstellar Medium", "Galaxies and Quasars", "Cosmology and Large-Scale Structure" on the other hand. Those research areas are closely intertwined through the application of related mathematical and physical methods and through joint projects in the development and adoption of new technologies. Since its re-establishment in 1992, the AIP therefore has continuously enlarged its technological equipment, which was targeted in 2006 as a new development focus area:*



sprechenden Forschungsinstrumentariums und richtete 2006 den Entwicklungsschwerpunkt

III. "Entwicklung von Forschungsinfrastruktur und -technologie"

ein. Dieser umfasst die vier Programmbereiche „Teleskopsteuerung und Robotik“, „Hochauflösende Spektroskopie und Polarimetrie“, „3D-Spektroskopie“ und „Supercomputing und E-Science“.

*III. Development of Research Infrastructure and Technology*

*This comprises the four programme areas "Telescope Control and Robotics", "High-resolution Spectroscopy and Polarimetry", "3D Spectroscopy" and "Supercomputing and E-Science".*



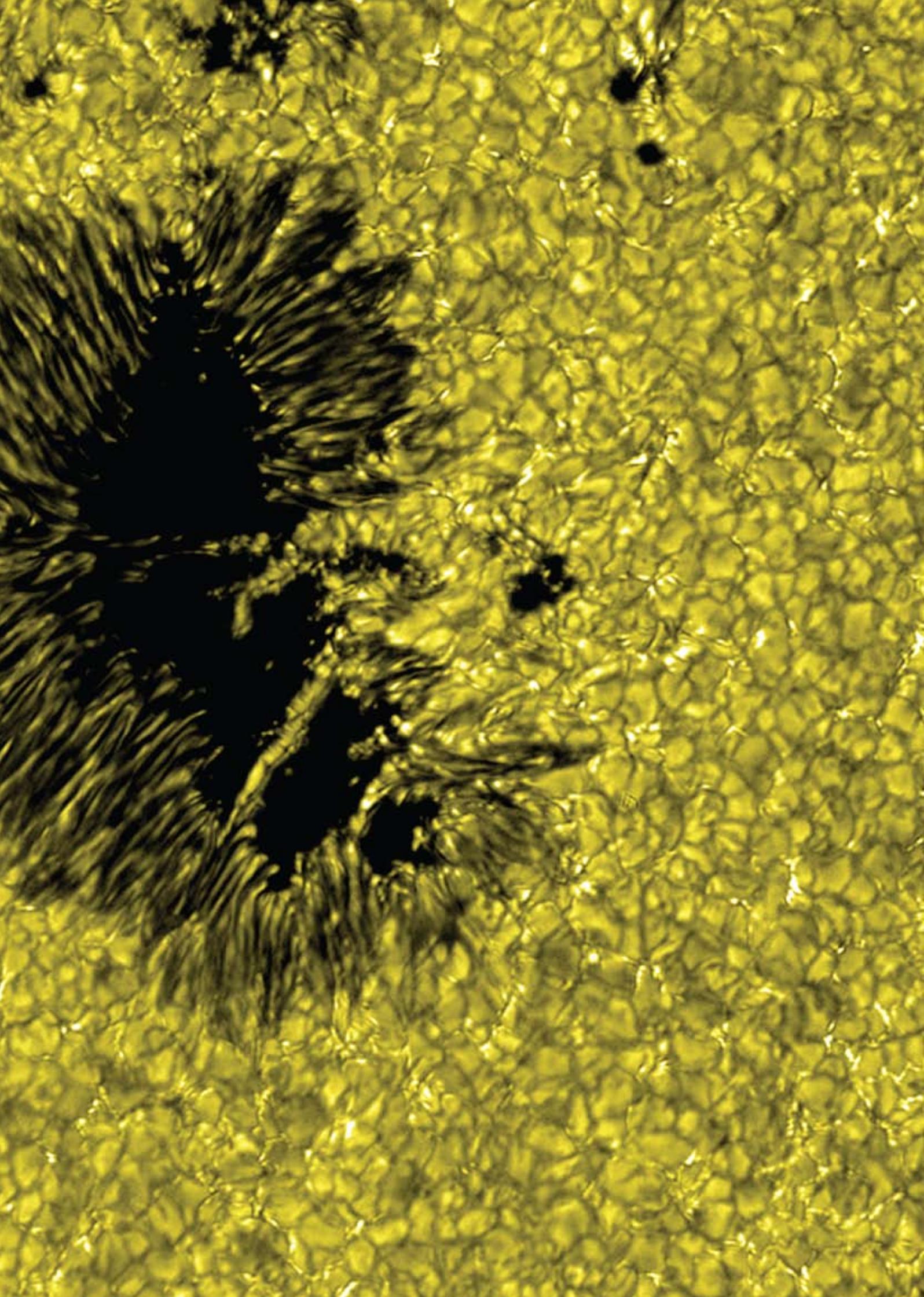
**Wissenschaft und Forschung**  
*Science and Research*

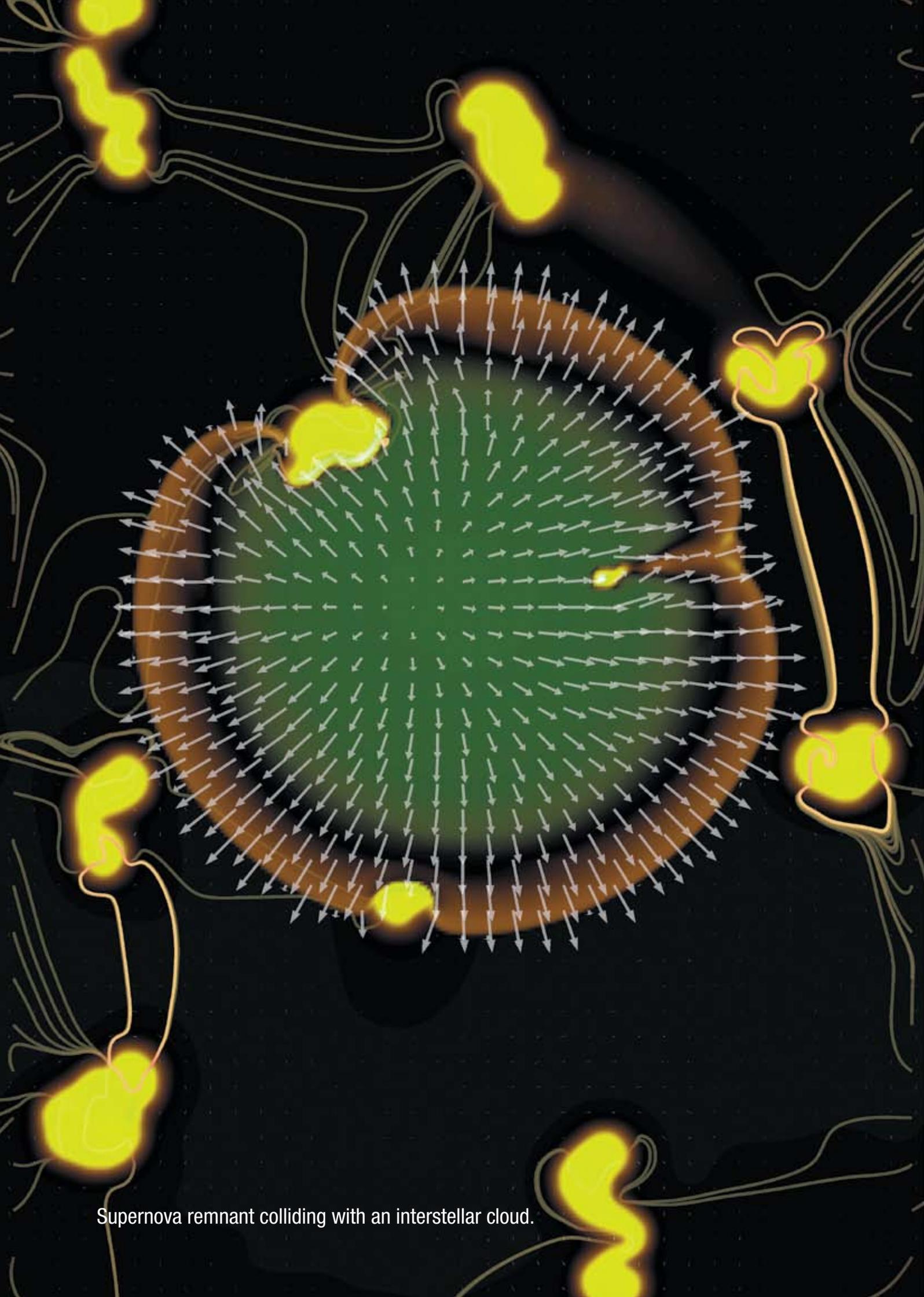
## Kosmische Magnetfelder

### *Cosmic Magnetic Fields*

Magnetismus ist eine der vier Grundkräfte in der Natur. Magnetfelder mit Stärken im Bereich zwischen  $10^{-13}$  bis  $10^{11}$  Tesla wurden direkt oder indirekt gemessen – das sind 24 Größenordnungen! Sie beeinflussen die Entwicklung von Materiestrukturen auf allen Skalen, können Elektronen auf knapp Lichtgeschwindigkeit beschleunigen und sind der Schlüssel zum Verständnis solarer und stellarer Aktivität. Um dynamische Prozesse im Kosmos realistisch beschreiben zu können, benötigen wir ein gesamtheitliches Verständnis über die Wechselwirkungen zwischen Magnetfeldern und Materie auf allen Dichte-, Zeit- und Längenskalen; von der Frühzeit des Universums bis zur heutigen Sonne. Die Existenz stellarer und planetarer Magnetfelder entscheidet bereits früh über die Entstehung von Leben auf Planeten, da Magnetfelder, wie in unserem Sonnensystem, die hochenergetische kosmische Strahlung abschirmen. Ihre Existenz sichert auch weiterhin die Entwicklung und das Überleben von Zivilisationen wie der unsrigen. Der Forschungsbereich „Kosmische Magnetfelder“ widmet sich der Erforschung solarer, stellarer und galaktischer Magnetfelder sowie den magnetohydrodynamischen Mechanismen welche sie erzeugen. Diese Thematiken werden dabei durch die „solar-stellar connection“ miteinander verbunden und fokussiert.

*Magnetism is one of the four fundamental forces in nature. Magnetic fields of the order from  $10^{-13}$  to  $10^{11}$  Tesla have been measured by direct or indirect means, spanning a range of 24 orders of magnitude! Magnetic fields influence the structure of matter on all scales. They can accelerate electrons to nearly the speed of light, and they are the key to understanding solar and stellar activity. In order to realistically describe dynamic processes in the universe, we need a collective understanding of the interaction between magnetic fields and matter on all scales of density, time and length – from the early universe to our Sun as it is today. Stellar and planetary magnetic fields play a key role in the formation and evolution of life on planets, as magnetic fields are shields against high-energy cosmic rays. Their existence also ensures the further evolution and survival of civilizations like ours. The research area “Cosmic Magnetic Fields” is dedicated to the exploration of solar, stellar and galactic magnetic fields and the underlying magnetohydrodynamic mechanisms. The “solar-stellar connection” connects and focuses these research subjects.*





Supernova remnant colliding with an interstellar cloud.

# Magnetohydrodynamik und Turbulenz

## *Magnetohydrodynamics and Turbulence*



Team 06/07 (alphabet.): Rainer Arit, Detlef Elstner, Hans-Erich Fröhlich, Marcus Gellert, André Giesecke, Oliver Gressel, Andrea Hans, Leonid Kitchatinov, Manfred Küker, Günther Rüdiger (head), Manfred Schultz, Dima Shalybkov, Aniket Sule, Jacek Szklarski, Udo Ziegler

Magnetismus ist im Universum sehr weit verbreitet. Planeten, Sterne und sogar ganze Galaxien sind magnetisch, wobei die Magnetfelder in der Regel durch einen Dynamo verstärkt worden sind. Dabei spielen diverse Instabilitäten eine Rolle, wie thermische Konvektion, die Magnetorotationsinstabilität (MRI), die Tayler- und Hall-Instabilitäten oder auch durch Supernovae erzeugte Turbulenz im interstellaren Gas. Die numerische Simulation von Magnetokonvektion der Erde und Sonne, die Erforschung der differentiellen Rotation der Sterne, die Magnetohydrodynamik der interstellaren Turbulenz und das Studium magnetisch-instabiler Taylor-Couette-Strömungen stehen daher im Zentrum unserer Arbeit.

Mit der Realisierung des weltweit ersten MRI-Experiments (mit dem Forschungszentrum Dresden-Rossendorf) hat sich ein neuer Zweig der Laborastrophysik etabliert. Numerische Simulationen zum Design weiterer Taylor-Couette-Experimente sowie die Entwicklung von Codes für zukünftige Dynamoexperimente zeigen rasche Fortschritte.

*Magnetism is one of the most pervasive features of the Universe, with planets, stars and entire galaxies all having dynamo-driven magnetic fields generated by various instabilities, e.g. the convective instability, the magnetorotational instability, the Tayler and Hall instabilities and/or supernova explosions. Therefore, the numerical simulation of magnetoconvection in the Earth and in the Sun, the investigation of the differential stellar rotation, the magnetohydrodynamics of the interstellar turbulence and currently also the study of magnetic instabilities in MHD Taylor-Couette flows are of central importance in our work. With the realization of the worldwide first MRI experiment (in collaboration with the Research Centre Dresden-Rossendorf) a new branch of laboratory astrophysics has been created. The theoretical design of future Taylor-Couette experiments and the development of new codes for related dynamo experiments are in rapid progress.*

## Differentielle Rotation von Sternen der unteren Hauptreihe

Differentielle Rotation ist ein starker Erzeuger von Magnetfeldern und deshalb wesentlich für die Sternaktivität. Hinweise auf differentielle Rotation hat man für eine Anzahl von Sternen gefunden. Die Daten von den Raumfahrtmissionen COROT und Kepler werden es der Asteroseismologie bald erlauben, die interne Rotation von Sternen zu messen.

Die Theorie des turbulenten Drehimpulstransportes reproduziert das beobachtete Rotationsmuster der Konvektionszone der Sonne (s. Abb. 1). Für Hauptreihensterne mit äußeren Konvektionszonen sagt die Theorie eine Abhängigkeit der differentiellen Rotation von der Effektivtemperatur und der Rotationsperiode voraus.

Vom kanadischen MOST-Satelliten aufgenommene Lichtkurven erlauben die Bestimmung der Oberflächenrotation der Sterne  $\kappa^1$  Ceti und  $\epsilon$  Eridani. Beide Sterne zeigen eine differentielle Rotation vom selben Typ und

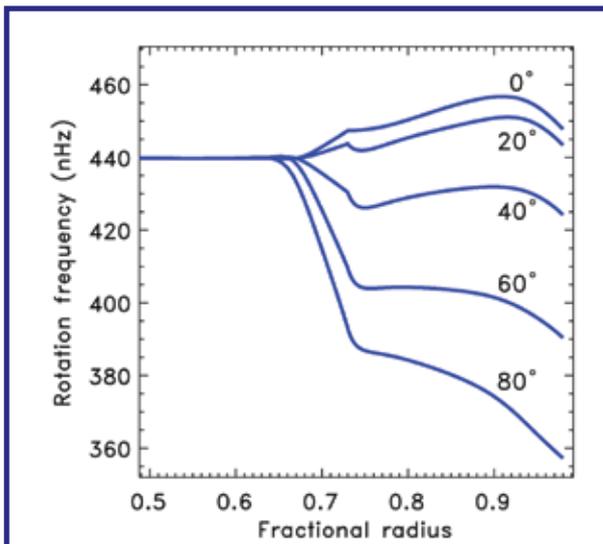


Fig. 1: Internal rotation of the solar convection zone and the radiative zone below for various latitudes.

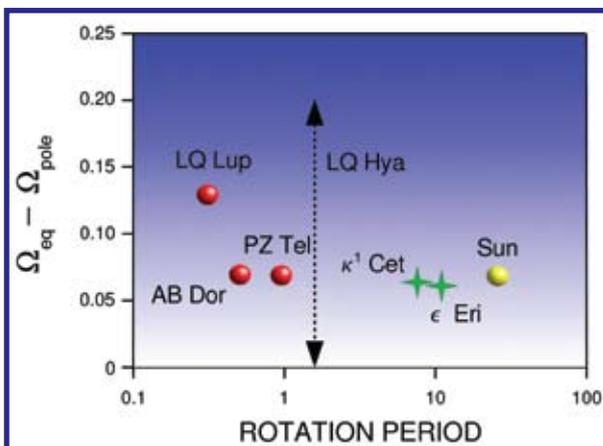


Fig. 2: Surface differential rotation for the Sun and other main sequence stars. Red bullets indicate results from Doppler imaging, green stars photometric measurements with the MOST satellite.

### Differential rotation of lower main sequence stars

Differential rotation is a powerful generator of magnetic fields and therefore vital to stellar activity. Evidence of surface differential rotation has been found for a number of stars. Data from the COROT and Kepler missions will soon allow asteroseismology to measure the internal rotation of stars.

The theory of turbulent angular momentum transport reproduces the observed rotation pattern of the solar convection zone (Fig. 1). For main sequence stars with outer convection zones theory predicts a dependence of the differential rotation on both effective temperature and rotation period.

Light curves recorded by the Canadian MOST satellite allow the determination of the surface rotation for the stars  $\kappa^1$  Ceti and  $\epsilon$  Eridani. Both stars show differential rotation of the same type and similar strength as that of the Sun. In preparation for the COROT mission a light curve of  $\epsilon$  Eridani has been analyzed in a Bayesian manner and the differential rotation was determined (Fig. 2).

Meridional flow plays a key role in the solar dynamo. It is directed towards the poles at the top and towards the equator at the bottom. While the solar meridional flow is too slow to dominate the angular momentum transport, some giant stars show evidence for much faster flows. For this case theory predicts fast rotation at high latitudes, which is indeed observed.

### The magnetic tachocline

The Sun consists of two major parts in its interior: an outer layer in which heat is transported by convection towards the surface, and an inner part in which heat coming from the nuclear fusion in the centre is transported by radiation. The properties of the turbulence in the convection zone cause a difference in the rotation periods between the solar equator and pole. The transition between the two zones exerts a strong shear on the fluid; the transition zone is called tachocline.

Besides that so-called differential rotation, there is another mechanism at work in the solar convection zone, which generates extended magnetic fields from the turbulent motions (dynamo). The magnetic fields are transported downwards into the tachocline and are wound up by the shear. Fields are generated whose field lines point into the direction of the rotational velocity. Such fields are called toroidal magnetic fields.

Winding up fields in the tachocline is only possible up to a certain field strength; if the magnetic field exceeds a certain limit, an instability starts to reform the field lines, which finally rise into the convection zone and are partly destructed there.

ähnlicher Stärke wie bei der Sonne. Zur Vorbereitung auf die COROT-Mission wurde eine Lichtkurve von  $\epsilon$  Eridani mit einem Bayes'schen Verfahren analysiert und der Wert der differentiellen Rotation bestimmt (s. Abb. 2).

Die meridionale Strömung spielt eine Schlüsselrolle im Sonnendynamo. Sie ist an der Oberfläche zu den Polen, am Boden zum Äquator hin gerichtet. Während die meridionale Strömung der Sonne zu langsam ist, als dass sie den Drehimpulstransport dominieren könnte, zeigen einige Riesensterne Hinweise auf sehr viel schnellere Strömungen. Für diesen Fall sagt die Theorie eine schnelle Rotation bei hohen Breiten voraus, die in der Tat beobachtet wird.

## Die magnetische Tachokline

Die Sonne besteht aus zwei wesentlichen Bestandteilen: einer äußeren Schicht, in der die Wärme von innen nach außen durch Konvektion transportiert wird, und einem inneren Teil, durch den die Wärme der Kernfusion im Zentrum durch Strahlung nach außen transportiert wird. Die Konvektionszone produziert durch die Eigenschaften ihrer Turbulenz ständig einen Unterschied in den Rotationsphasen am Sonnenäquator und am Pol. Die Strahlungszone dagegen rotiert nach bisherigen Erkenntnissen durchgängig mit der gleichen Periode. An der Grenze zwischen beiden Zonen kommt es daher zu einer starken Scherung; die Grenzschicht wird Tachokline genannt.

Neben dieser so genannten differentiellen Rotation agiert in der Konvektionszone der Sonne ein Mechanismus, der aus der Turbulenz ein ausgedehntes Magnetfeld generiert (Dynamo). Diese Magnetfelder werden bis in die Tachokline nach unten „gespült“ und dort durch die Scherung aufgewickelt. Es entstehen toroidale Felder, deren Feldlinien in Richtung der Rotationsgeschwindigkeit zeigen.

Das Aufwickeln geht bis zu einer bestimmten Feldstärke gut; danach kommt es zu einer Instabilität, und die Feldlinien formen komplizierte Strukturen, steigen in die Konvektionszone auf und werden dort abgeschwächt.

Dieses Aufsteigen wird zur Erklärung der Sonnenflecken herangezogen. Der Mechanismus benötigt allerdings Feldstärken von rund 10 T, damit eine „Feldlinienschleife“ bis zur Oberfläche intakt bleibt. Stabilitätsanalysen legen jedoch eine obere Grenze von 0,1 T nahe, bei denen die Instabilität schon einsetzt. Die Vorstellung vom Sonnendynamo könnte daher ein Umdenken erfordern.

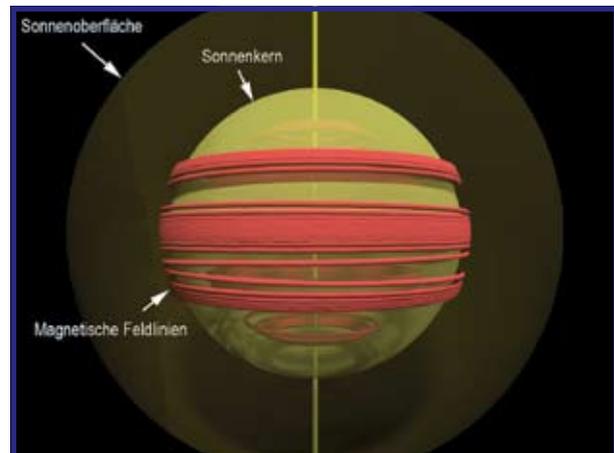
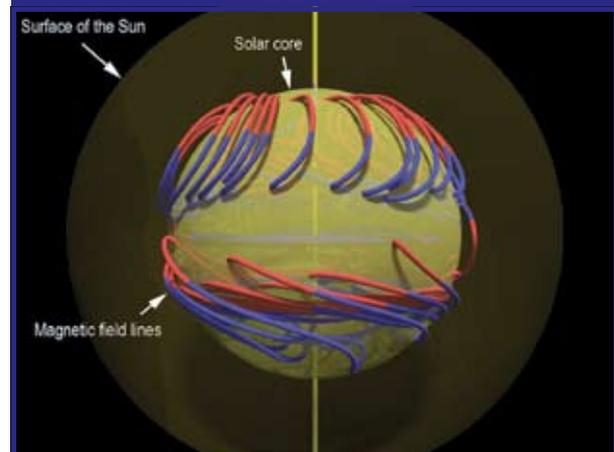


Fig. 3: Magnetic fields are strongly wound up in the tachocline (top panel). The inner sphere denotes the solar radiation zone, the outer sphere is the solar surface. When a critical field strength is reached, an instability causes complex field geometries with loops rising into the convection zone (bottom panel).



*The rising of magnetic loops may be responsible for the formation of sunspots on the solar surface. The mechanism requires magnetic field strengths of 10 T, in order to allow the field loop to rise through the entire convection zone. But stability analyses show a limit of 0.1 T for the rising of field loops which will then never reach the surface. The results may urge modifications in the dynamo theory for the magnetic field generation in the Sun and solar activity.*

### **Modeling the multi-phase turbulent interstellar medium**

*The interstellar medium (ISM) is an extremely diluted, turbulent gas that fills the otherwise void space between the stars. Compact, cold HI- and H<sub>2</sub>-clouds (20-100 K) are enclosed by a diffuse, hot plasma (10<sup>6</sup> K). Enriched with dust grains and cosmic rays, the interstellar cocktail is permanently stirred by supernovae (SNe). Although the ISM makes up for only a tiny fraction of the matter contained in the galaxy, it plays a crucial role for its magnetic field. To explore the origin of the observed galactic fields, it is of paramount importance to model the turbulence driven by the SNe. The non-linear character of the problem requires nu-*

## Modellierung des heterogenen, turbulenten interstellaren Mediums

Das interstellare Medium (ISM) ist ein extrem verdünntes, turbulentes Gas, das den Raum zwischen den Sternen ausfüllt. Kompakte, kalte HI- und H<sub>2</sub>-Wolken (20-100 K) sind von einem diffusen, heißen Plasma (10<sup>6</sup> K) umgeben. Angereichert mit Staubteilchen sowie kosmischer Strahlung wird der interstellare Cocktail beständig durch Supernovae (SNe) verwirbelt.

Obwohl das ISM nur einen Bruchteil der Materie einer Galaxie ausmacht, ist es doch bestimmend für deren Magnetfeld. Um den Ursprung solcher galaktischen Felder zu erforschen, ist es von grundlegender Bedeutung, die durch die SNe getriebene Turbulenz zu modellieren. Der nichtlineare Charakter des Problems erfordert dabei numerische Simulationen, die aufgrund der komplexen Natur des ISM robuste Algorithmen zwingend voraussetzen.

Hierzu wurde die am AIP entwickelte Simulationssoftware NIRVANA ([nirvana-code.aip.de](http://nirvana-code.aip.de)) um relevante Physik zur Beschreibung der thermischen Instabilität (TI) und zur Quantifizierung von stattfindenden Dynamoprozessen erweitert. NIRVANA ist ein numerischer Löser für die Gleichungen der Magnetohydrodynamik inklusive dissipativer Prozesse und der Poissongleichung. Die Integration der Gleichungen erfolgt mithilfe moderner numerischer Verfahren. Die Entwicklung kleinskaliger Strukturen im ISM aufgrund von TI machen den Einsatz adaptiver Gitterverfeinerungstechniken, wie sie auch im NIRVANA Code implementiert wurden, sinnvoll (s. Abb. 4). Zur effizienten Berechnung mit akkurater räumlicher Auflösung wurde der Code für den Einsatz auf Supercomputern parallelisiert.

Simulationsrechnungen (s. Abb. 5) bestätigen den theoretisch vorhergesagten Dynamoeffekt sowohl qualitativ als auch quantitativ. Die mit der Magnetfelderzeugung eng verknüpften Transportprozesse, die ihre Ursache in der räumlichen Variation der Turbulenzintensität haben, wurden bislang jedoch falsch eingeschätzt. Hier liefern unsere nichtlinearen Simulationen wichtige neue Erkenntnisse: Wurde in theoretischen Modellen bislang

numerical simulations which due to the complex nature of the ISM demand robust algorithms.

For this task the simulation software NIRVANA ([nirvana-code.aip.de](http://nirvana-code.aip.de)) developed at the AIP has been extended to include the relevant physics to describe thermal instability (TI) and the quantification of occurring dynamo-processes. NIRVANA is a numerical solver for the equations of magnetohydrodynamics including dissipative processes and the Poisson equation. The equations are integrated on the basis of modern numerical methods. Furthermore, the development of small-scale structures due to TI promotes the use of adaptive mesh refinement techniques (see Fig. 4) as they are implemented within NIRVANA. To allow for efficient computations with accurate spatial resolution the code has been parallelized for the use on supercomputers.

Simulation results (see Fig. 5) confirm the theoretically predicted dynamo effect both qualitatively and quantitatively. The transport processes, which have their origin in spatial variations of turbulence intensity and are tightly connected to the field creation, have been assessed falsely, however. Here our non-linear simulations give important new insights: while theoretical models predicted that the created magnetic field would be expelled from the galaxy, or even be squashed in the galactic midplane, these two effects now seem to be naturally balanced.

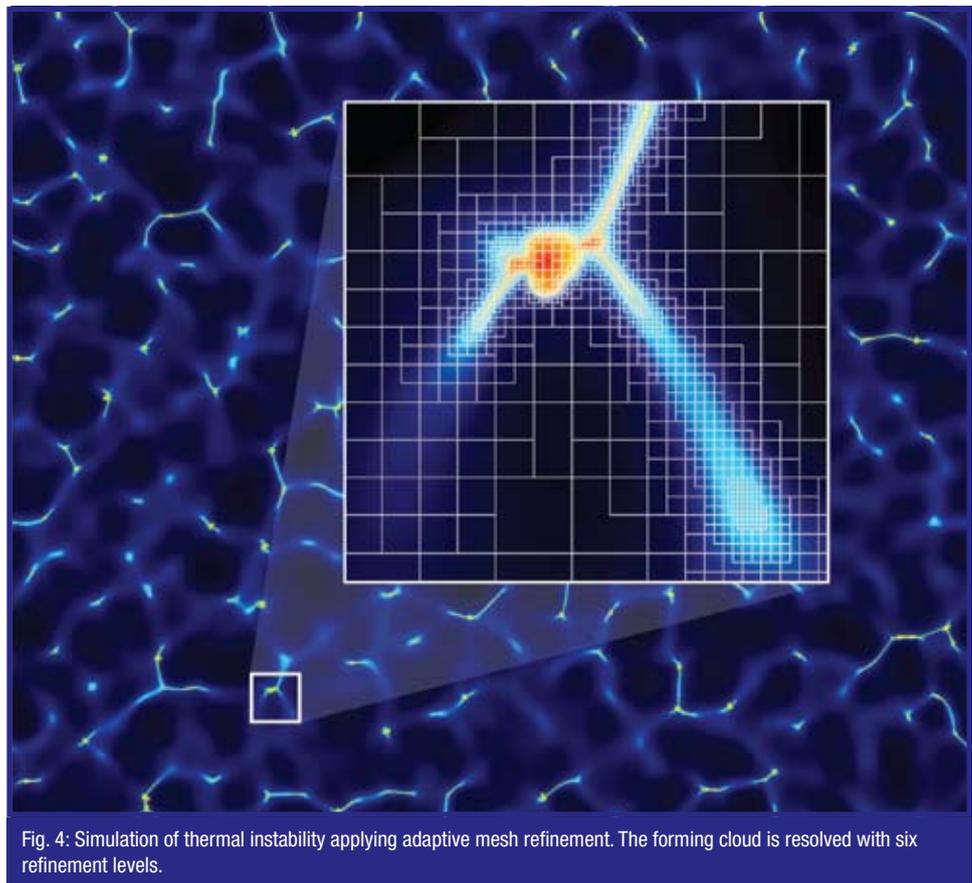


Fig. 4: Simulation of thermal instability applying adaptive mesh refinement. The forming cloud is resolved with six refinement levels.

vorhergesagt, dass das erzeugte Feld aus der Galaxie hinaus gedrängt wird, oder gar in deren Mittelebene zerfällt, so scheinen sich diese Effekte nun auf natürliche Weise die Waage zu halten.

## Magnetische Instabilitäten in Galaxien

Bei Anwesenheit nicht zu starker magnetischer Felder führt jedes Rotationsgesetz mit nach außen abnehmender Winkelgeschwindigkeit zur Entstehung von Turbulenz durch die Magneto-rotationsinstabilität (MRI). Für starke toroidale Felder kann die Tayler-Instabilität einsetzen. Globale Simulationen mit ZeusMP bestätigen diesen Effekt. Insbesondere in schwach differentiell rotierenden Galaxien und in den inneren starr rotierenden Gebieten kann die Tayler-Instabilität wirken. Die Entwicklung einer galaktischen Gasscheibe mit einem Radius von 10 kpc wurde numerisch simuliert. Die Instabilität wächst am schnellsten im Inneren, breitet sich aber nach etwa 2 Milliarden Jahren über die gesamte Scheibe aus. Die Lorentzkraft führt zu einer Gasakkretion bis zu einer Sonnenmasse pro Jahr (Abb. 6 und 7).

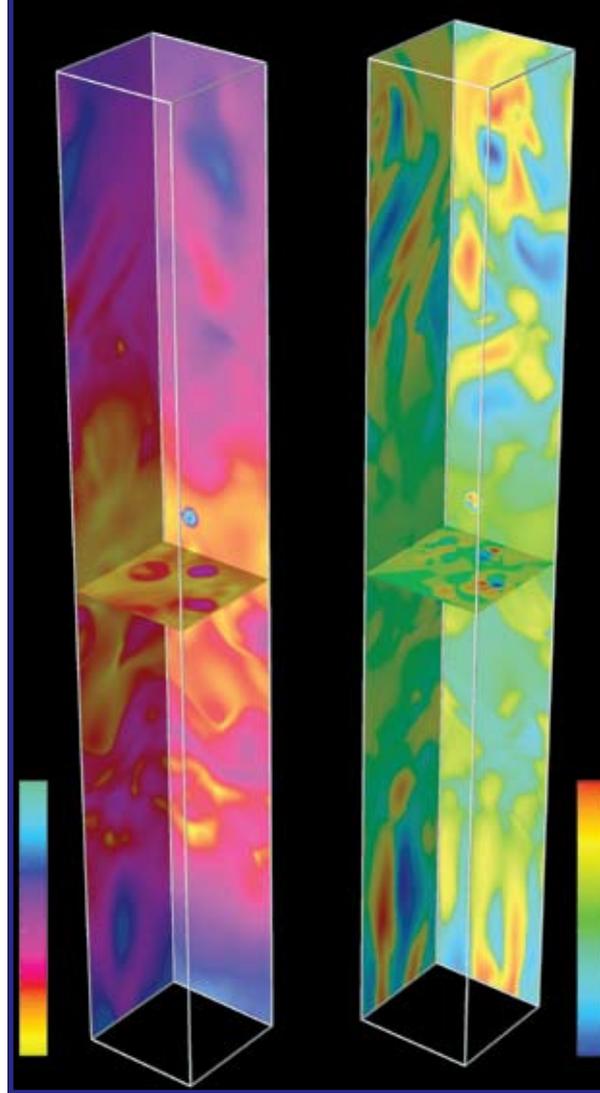


Fig. 5: Local simulation of SN-driven ISM turbulence. Color coding indicates the turbulent velocity dispersion (left) and kinetic helicity (right).

### Magnetic Instabilities in Galaxies

All rotation laws with outwards decreasing angular velocity lead under the influence of weak magnetic fields to the development of turbulence by the effect of the magneto-rotational instability (MRI). For strong toroidal fields also the Tayler instability can evolve. Global simulations with the ZeusMP code confirm this effect. Especially in weakly differentially rotating galaxies and in the inner rigidly rotating parts, the Tayler instability could be present. The development of a galactic gas disk with a radius of 10 kpc was simulated. The MRI starts to grow first in the inner part and propagates over the whole disk after about 2 billion years. The action of the Lorentz force leads to an accretion of gas up to one solar mass per year (Fig. 6 and 7).

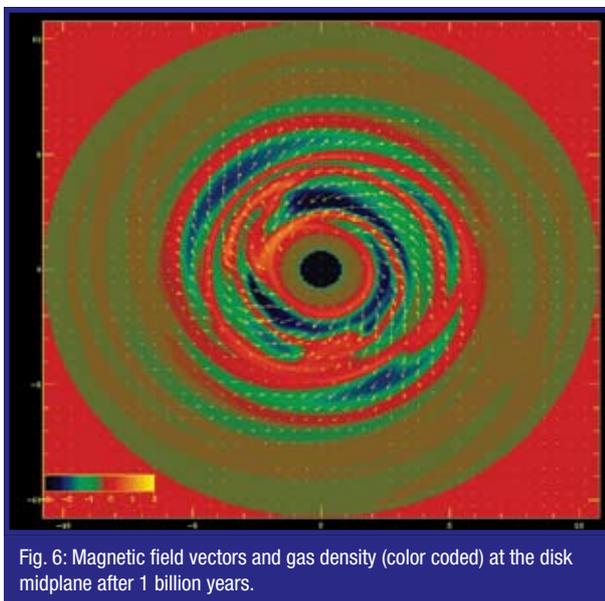


Fig. 6: Magnetic field vectors and gas density (color coded) at the disk midplane after 1 billion years.

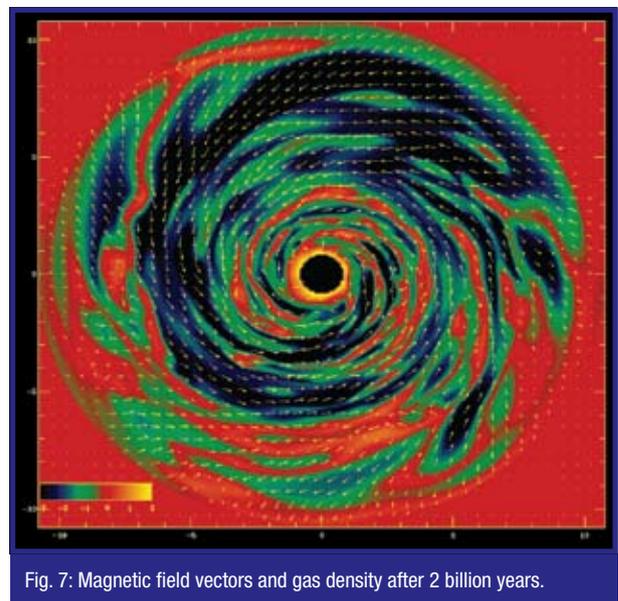


Fig. 7: Magnetic field vectors and gas density after 2 billion years.

## PROMISE

PROMISE ist das Potsdam-Rössendorf-Magnetic-InStability-Experiment, ein gemeinsames Projekt von AIP und Forschungszentrum Dresden-Rössendorf (FZD), dem weltweit erstmals der experimentelle Nachweis der magnetischen Scherinstabilität (MRI) im Labor gelungen ist. Die MRI kann das Problem des Drehimpulstransports bei der Bildung von Sternen lösen, ebenso wie die Entstehung von MHD-Turbulenz. Klassische MRI mit axialem Magnetfeld benötigt extrem hohe Rotationsraten, wenn flüssige Metalle mit kleinen magnetischen Prandtlzahlen verwendet werden. Als Alternative ist die Verwendung von helikalen Magnetfeldern mit poloidaler und toroidaler Komponente geeignet. Diese für astrophysikalische Objekte sehr typische Konfiguration vermindert die benötigten Rotationsraten um mehrere Größenordnungen.

Mit dem Wissen aus aufwendigen Simulationen ist es gelungen, den Einfluss der Deckel des Experimentcontainers drastisch zu reduzieren und störende induzierte Ströme zu beseitigen. Weiterhin haben numerische Untersuchungen ergeben, dass die Instabilität auch für die astrophysikalisch bedeutsamen Kepler-Scherströmungen im Experiment beobachtbar sein wird. Die bisherigen Messungen zeigen die durch die MRI hervorgerufene Welle in perfekter Übereinstimmung mit unseren numerischen Vorhersagen.

### PROMISE

*PROMISE (the Potsdam-Rössendorf-Magnetic-InStability-Experiment), a joint project of AIP and FZD, for the first time world-wide demonstrated the existence of the magnetorotational instability (MRI) in the laboratory. MRI is a suitable mechanism to solve the problem of angular momentum transport during the early stage of star formation and to produce MHD turbulence. Classical MRI with a purely axial field needs much too high rotation rates to be applicable to liquid metals with small magnetic Prandtl numbers in the lab. A solution is the use of helical fields with poloidal and toroidal components with comparable amplitude. This is not only a typical configuration in astrophysical objects, it also reduces the rotation rates by a few orders of magnitude. With the knowledge earned from demanding numerical simulations, a design that reduces the influence of the inevitable end caps of the fluid cell dramatically and avoids current induction near the boundaries, could be realized. Furthermore our numerical analysis showed the existence of the MRI for the laboratory configuration with quasi-Keplerian rotation law. The measurements to date show the MRI wave pattern in perfect agreement with our theoretical and numerical predictions.*

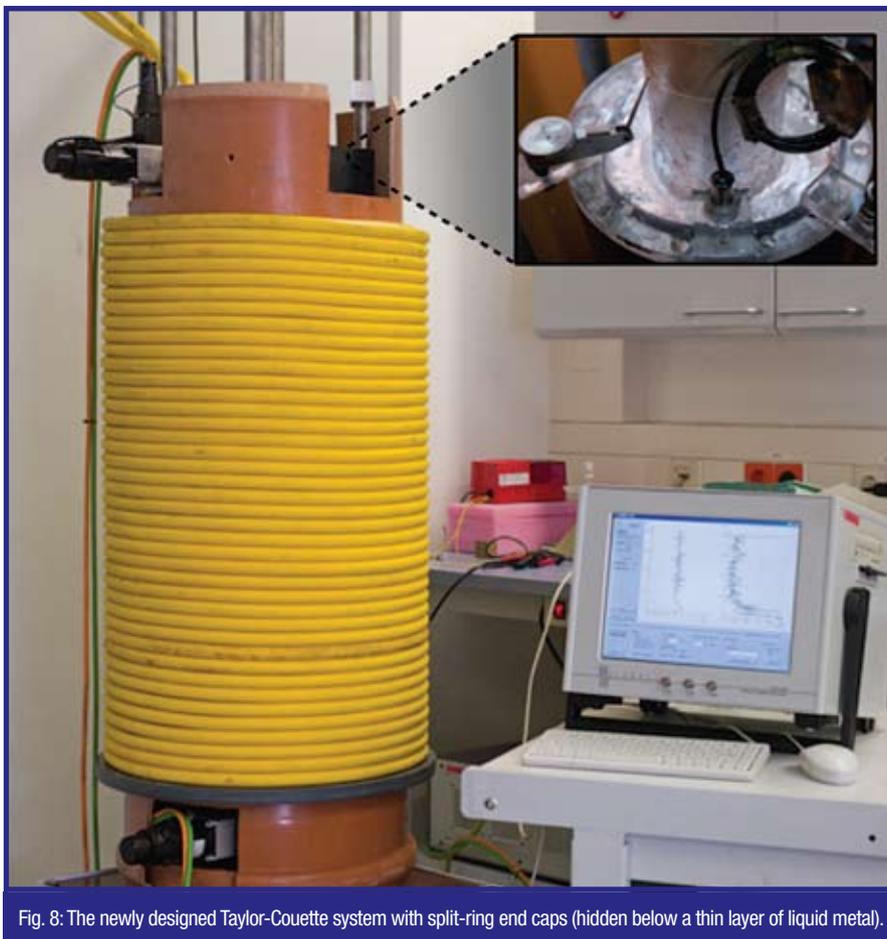
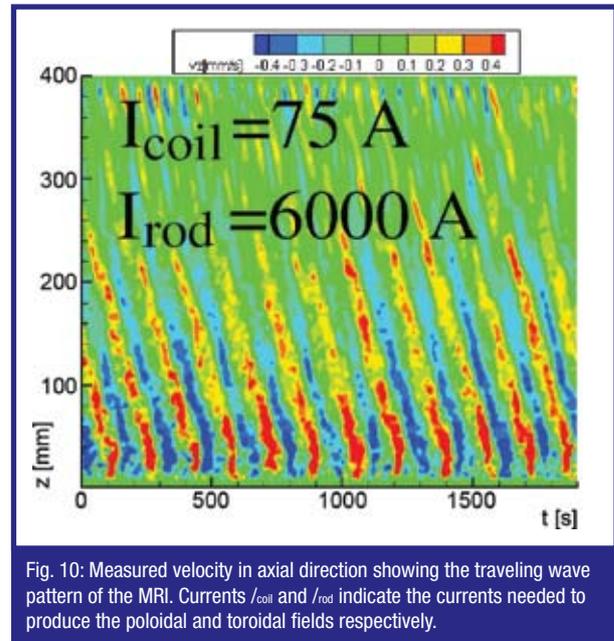
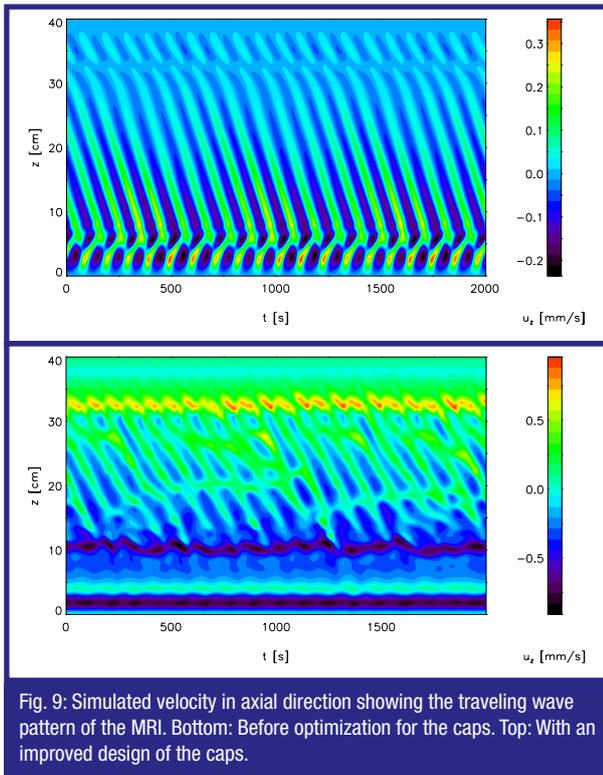


Fig. 8: The newly designed Taylor-Couette system with split-ring end caps (hidden below a thin layer of liquid metal).



### Ausgewählte Publikationen Selected Publications

Arlt, R., Sule, A., Rüdiger, G. (2007): **Stability of toroidal magnetic fields in the solar tachocline**, *Astronomy & Astrophysics* 461, 295

Bonanno, A., Elstner, D., Belvedere, G. (2006): **Advection-dominated solar dynamo model with two-cell meridional flow and a positive-effect in the tachocline**, *Astronische Nachrichten* 327, 680

Fröhlich, H.-E., Kroll, P., Strassmeier, K.G. (2006): **The RS Cvn binary HK Lacertae: long-term photometry from Sonneberg sky-patrol plates**, *Astronomy & Astrophysics* 454, 295

Gellert, M., Rüdiger, G., Elstner, D. (2008): **Helicity generation and alpha-effect by Tayler instability with z-dependent differential rotation**, *Astronomy & Astrophysics* 479, L33–L36

Gressel, O., Ziegler, U. (2007): **Shearingbox-implementation for the central-upwind, constrained-transport MHD-code NIRVANA**, *Computer Physics Communications* 176, 652

Hollerbach, R., Rüdiger, G. (2005): **New type of magnetorotational instability in cylindrical Taylor-Couette flow**, *Physical Review Letters* 95, 124501

Küker, M., Rüdiger, G. (2007): **Modelling the differential rotation of F stars**, *Astronomische Nachrichten* 328, 1050

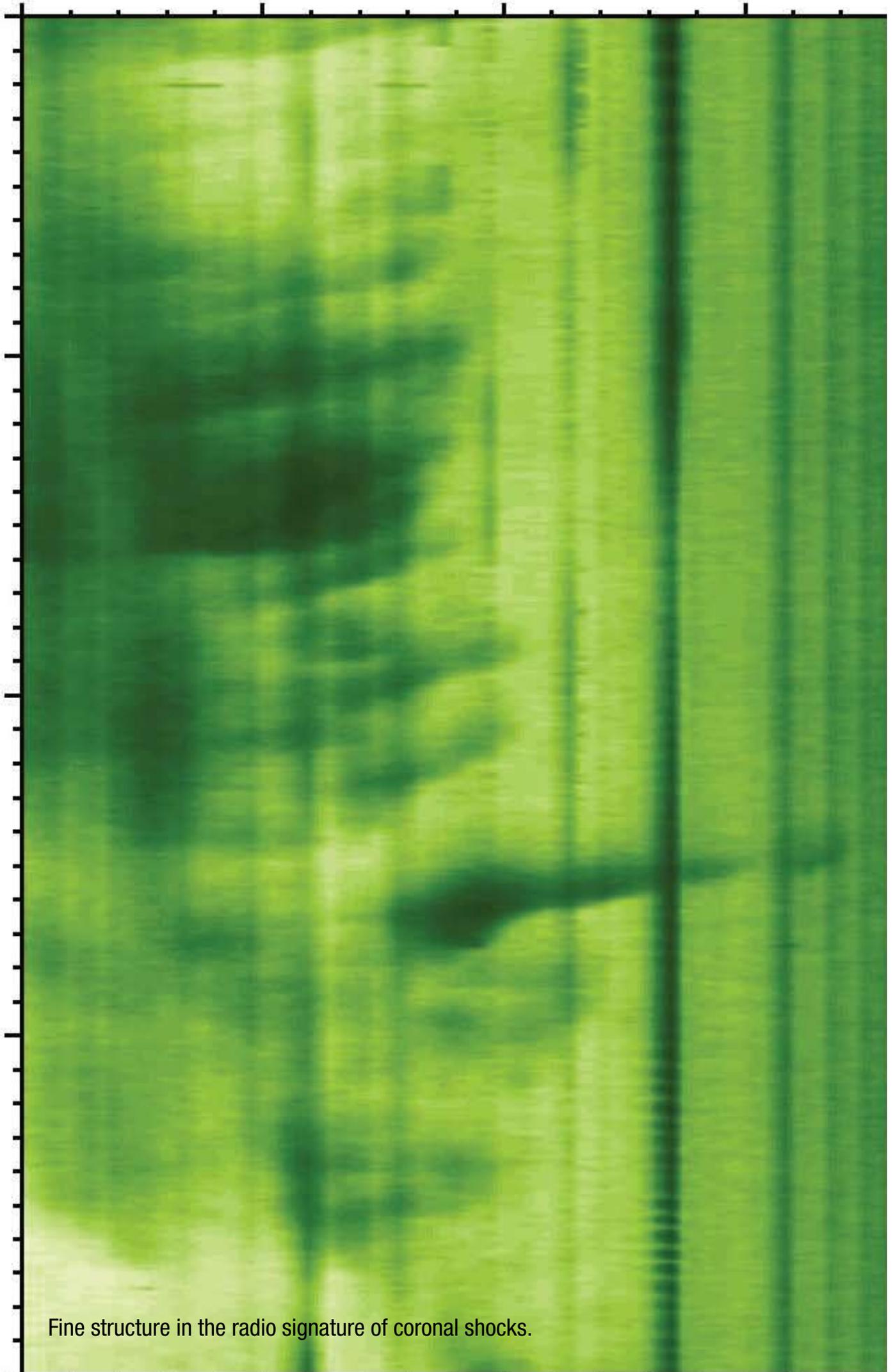
Rüdiger, G., Kitchatinov, L.L. (2007): **Structure and stability of the magnetic solar tachocline**, *New Journal of Physics* 9, 302

Rüdiger, G., Hollerbach, R., Schultz, M., Elstner, D. (2007): **Destabilization of hydrodynamically stable rotation laws by azimuthal magnetic fields**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 377, 1481

Shalybkov, D., Rüdiger, G. (2005): **Stability of density-stratified viscous Taylor-Couette flows**, *Astronomy & Astrophysics* 438, 411

Stefani, F., Gundrum, T., Gerbeth, G., Rüdiger, G., Schultz, M., Szklarski, J., Hollerbach, R. (2006): **Experimental evidence for magnetorotational instability in a helical magnetic field**, *Physical Review Letters* 97, 184502

Szklarski, J., Rüdiger, G. (2007): **Ekman-Hartmann layer in a magnetohydrodynamic Taylor-Couette flow**, *Physical Review E* 76, 066308



Fine structure in the radio signature of coronal shocks.



Team 06/07 (alphabet.): Kurt Art, Henry Aurl, Horst Balthasar, Thorsten Carroll, Carsten Denker (head), Peter Gömöry, Axel Hofmann, Bernhard Kliem, Ludmilla Kurth, Doris Lehmann, Gottfried Mann (head), Rositsa Miteva, Iliya Nickelt-Czycykowski, Hakan Önel, Germar Rausche, Jürgen Rendtel, Marina Skender, Jürgen Staude, Gherardo Valori, Christian Vocks, Alexander Warmuth

Die Sonne ist das Zentralgestirn unseres Planetensystems und unser nächster Stern. Sie ist kein ruhiger Stern, sondern aktiv. Das zeigt sich nicht nur in den Sonnenflecken mit ihrem 11-jährigen Zyklus, sondern auch in solaren Eruptionen, sogenannten Flares, bei denen eine Leistung von  $10^{22}$  Watt freigesetzt wird. Bei all diesen Prozessen spielt das Magnetfeld eine dominante Rolle. Im Programmbereich „Sonnenphysik“ werden Prozesse, die mit dem Magnetfeld der Sonnenatmosphäre verbunden sind, untersucht. Dies geschieht zum einen durch Beobachtungen mit dem Vakuumturmteleskop auf Teneriffa, dem Radiospektralpolarimeter in Tremisdorf (bei Potsdam) und Beobachtungen mit den NASA-Satelliten RHESSI (Ramaty High Energy Spectroscopic Imager) und STEREO. Zum anderen werden theoretische Arbeiten wie z. B. zur Magnetfeldfortsetzung in der Sonnenatmosphäre und zur Kinetik der Elektronenbeschleunigung durchgeführt. Hierbei besteht eine enge Verknüpfung zwischen Beobachtungsbefunden und theoretischen Arbeiten. Zukünftig wird sich das AIP an dem optischen Sonnenteleskop GREGOR und dem europäischen Ra-

*The Sun is the central star of our planetary system. Our nearest star is not a quiet but an active one. This is evident not only in terms of the sunspots and their 11-year cycle, but also as solar eruptions, so-called flares, during which an energy power of the order of  $10^{22}$  Watt is released. During all these processes the magnetic field plays a dominant role. In the program area “Solar Physics”, processes associated with the magnetic field of the solar atmosphere are investigated. This task can be performed, on one side, with observations by the Vacuum Tower Telescope on Tenerife, the radiospectralpolarimeter in Tremisdorf (near Potsdam) and data from the NASA-satellites RHESSI (Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager) and STEREO. On the other side, theoretical work is carried out on magnetic field extrapolations throughout the solar atmosphere and kinetics of the electron acceleration. In this sense, there is a close link between the observations and theory. In the future, AIP will take part in the optical telescope GREGOR and in the European radiointerferometer LOFAR (Low Frequency Array),*

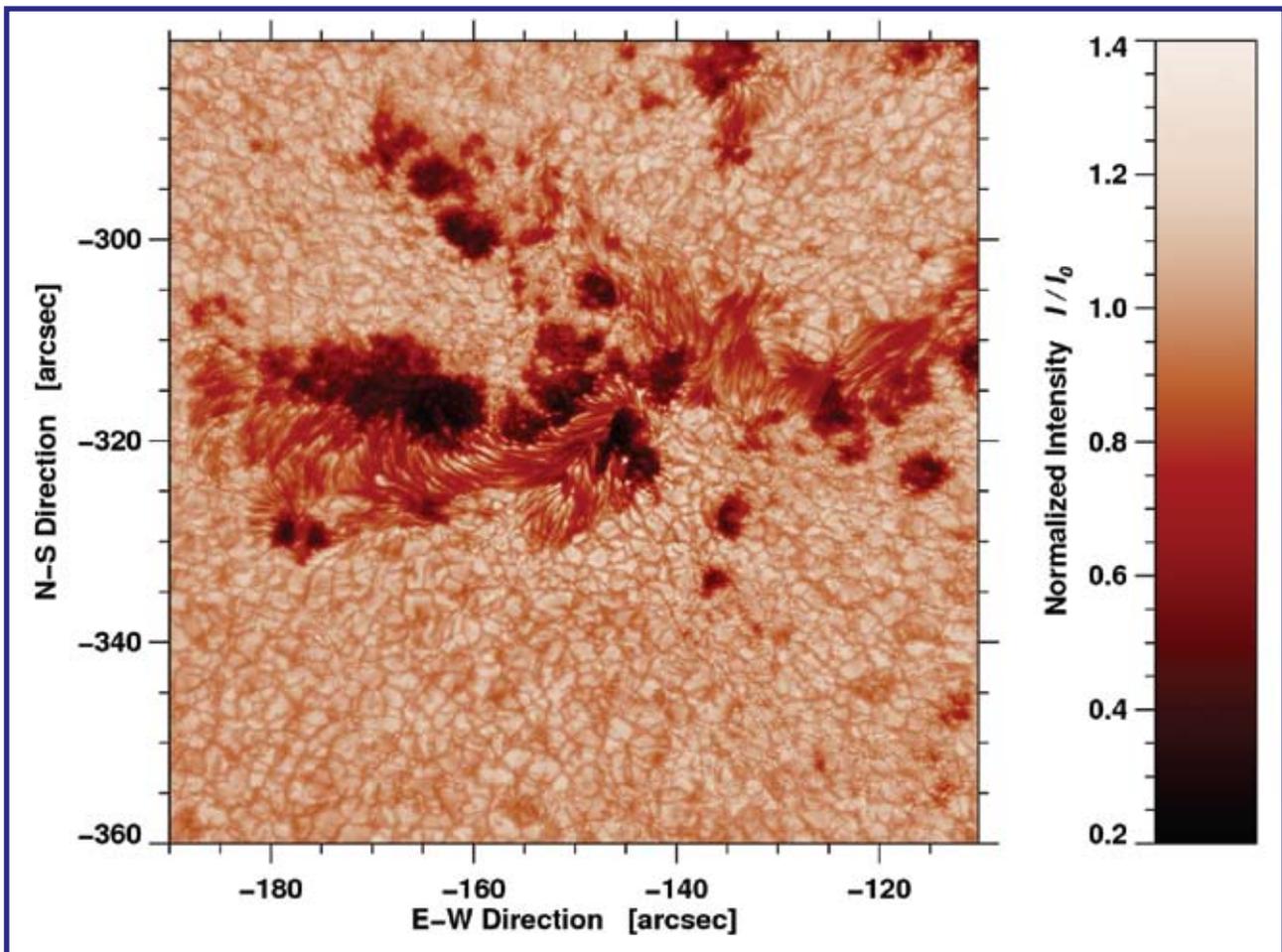


Fig. 1: Partial view of flare producing active region NOAA 10808 on 13 September 2005. Frame selection, adaptive optics and post-facto image restoration methods were used to achieve almost diffraction-limited resolution across a wide-field continuum image (600 nm).

diointerferometer LOFAR beteiligen. Damit werden weitere Zugänge zu modernster Technik der Sonnenbeobachtung geschaffen. Wegen der Nähe zur Erde ist die Sonne der am besten beobachtbare Stern am Himmel. So kann man Erkenntnisse über unsere Sonne auch auf andere Sterne übertragen, was man allgemein mit solar-stellaren Beziehungen bezeichnet und eine Verbindung zu den Programmbereichen „Magnetohydrodynamik“ und „Sternphysik und Sternaktivität“ schafft. Die solaren Eruptionen haben auch Einflüsse auf unsere Erde und mithin auf unsere technische Zivilisation und das Klima, was man allgemein Weltraumwetter nennt. So sind die Erkenntnisse über unsere Sonne nicht nur für die Astrophysik von Interesse, sondern von allgemeiner gesellschaftlicher Relevanz.

Grundlage des Arbeitsgebietes Optische Sonnenphysik sind Inversionsrechnungen von Spektrallinien und die Extrapolation von Magnetfeldern. Hierbei stehen Sonnenflecken (Abb. 1) als eine der auffälligsten Erscheinungen der Sonnenaktivität im Mittelpunkt. Hochaufgelöste Beobachtungen, angefangen vom Entstehen einfacher Sonnenflecken bis hin zum Zerfall komplexer Aktivitätsgebiete (das sind Gruppen von Sonnenflecken), sind unabdingbar zum Verständnis der Evolution von Magnetfeldern, die in komplizierten Plasmaströmungen

*such that further access to up-to-date solar observations techniques will be available. Due to its proximity to Earth, the Sun is the best observed star in the sky. Hence, the knowledge about our Sun can as well be transferred to other stars, which is generally referred to as solar-stellar connection. That gives a close link to the program area “Magnetohydrodynamics” and “Stellar Physics and Stellar Activity”. Solar flares have also an influence on Earth and consequently on our technical civilization and climate. This is well known as Space Weather. In this manner, the findings about our Sun are not only significant for astrophysics but are also of general societal importance.*

*Optical solar physics at AIP builds on existing strengths in spectral inversion codes and magnetic field extrapolations, which will be combined with high-resolution solar observing techniques. Here, sunspots (Fig. 1) are in the focus of interest, since they are one of the best-known phenomena of solar activity. High-resolution observations of formation and decay of sunspots starting from simple spots to complex spot groups are needed to improve our knowledge of generating and dissipating magnetic fields, which are embedded in complex photospheric plasma flows. Magnetic fields measured on the photosphere are*

eingebettet sind. Die in der Photosphäre gemessenen Magnetfelder werden als Randbedingungen für eine numerische Extrapolation (Abb. 2) der Magnetfelder bis weit in die Korona benutzt (s. auch Abb. 5). Insbesondere stehen Beobachtungen mit bildgebenden Spektrometern und Polarimetern im Vordergrund, die mit adaptiver Optik gewonnen und mit Bildrekonstruktionsverfahren verarbeitet werden. Das im Aufbau befindliche deutsche Sonnenteleskop GREGOR mit seiner 1,5 Meter großen Öffnung verspricht eine große Sichtbarkeit dieses Arbeitsbereiches und neue Entdeckungen in den nächsten zehn Jahren. Das AIP hat mit 1,5 M Euro (entsprechend 25% der Gesamtkosten) zu GREGOR beigetragen, was sich in einer 20 bzw. 70% Beteiligung in der Tag- bzw. Nachtbeobachtungszeit widerspiegelt. Die Optik zur Kalibrierung der Polarisations-eigenschaften des Teleskops sowie die M3 und M4 Spiegelfassungen (Abb. 6) wurden am AIP entwickelt und hergestellt. Dabei konnte auf die exzellente technische Ausstattung und hauseigenen Werkstätten zurückgegriffen werden.

Zweidimensionale Spektroskopie und Polarimetrie sind typische Werkzeuge, um ein genaues und detailreiches Abbild von aktiven Gebieten zu gewinnen. An verschiedenen Punkten des Profils einer Spektrallinie werden dabei schmalbandige Filtergramme aufgenommen, die zusammen einen dreidimensionalen Datenkubus ergeben. Diese Daten geben dann Aufschluss über Temperaturen, Dichten und die Geschwindigkeits- und Magnetfeldvektoren (Abb. 3). Mit GREGOR werden zum ersten Mal kleinste räumliche Skalen greifbar, die bisher nur mit numerischen Simulationen zugänglich waren.

Flares sind ein weiteres und bedeutendes Aktivitätsphänomen der Sonne. Während Flares wird gespeicherte magnetische Energie plötzlich umgewandelt in eine lokale Heizung der Korona, Massenbewegungen (z. B. Jets und koronale Massenauswürfe), eine erhöhte Emission von elektromagnetischer Strahlung

used as boundary conditions for numerical extrapolation methods (Fig. 2) in order to get the magnetic field structure up to the high corona (see also Fig. 5). In particular, our instrumentation efforts are focused towards high-resolution imaging spectroscopy and polarimetry with integrated adaptive optics and post-facto image correction. The German 1.5-metre aperture solar telescope GREGOR promises high visibility of this research field and new discoveries in the next decade. AIP has contributed about 1.5 M Euro (25% of the total costs) to the construction of GREGOR and has a share of 20/70% of the day/night observing time. The polarization calibration unit and the M3 and M4 mirror mounts were developed and built in-house (Fig. 6). Having access to excellent engineering and technical capacities will give us an edge in future instrumentation and telescope projects.

Two-dimensional spectroscopy and polarimetry are tools to obtain a more precise and comprehensive picture of solar active regions. While looking at the same scene on the Sun, a narrow filter scans a spectral line profile resulting in a three-dimensional data cube. These data contain information of temperature, density, the velocity flow vectors and magnetic field vectors. For the first time, GREGOR reaches fundamental spatial scales otherwise only accessible by numerical simulations of plasma processes (Fig. 3).

Flares are another important phenomenon of the active Sun. During flares the stored magnetic field energy is suddenly released into local heating of the corona, mass motions (e.g., jets and coronal mass ejections), enhanced electromagnetic radiation (as for example radio-, X-ray, and  $\gamma$ -ray emission), and increased fluxes of energetic particles (e.g., electrons, protons, and ions). Because of the radio emission of the ac-

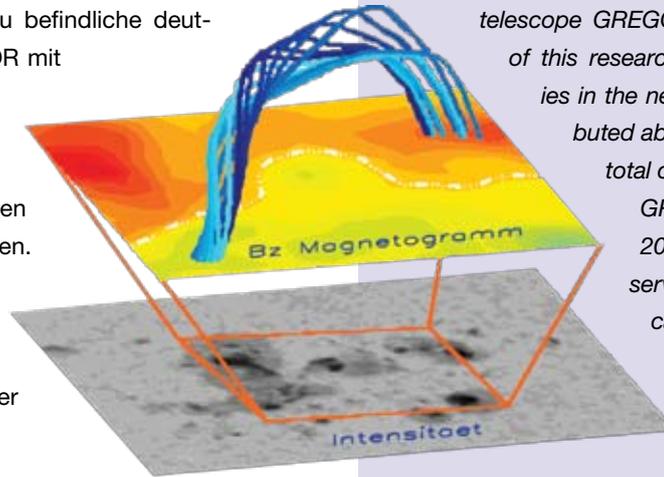


Fig. 2: Twisted magnetic field lines in solar active region NOAA 9077. Photospheric magnetograms serve as the input for magnetic field extrapolations. Sheared and twisted magnetic flux bundles play a crucial role in solar eruptive events such as flares, prominence/filament eruptions and coronal mass ejections (CMEs).

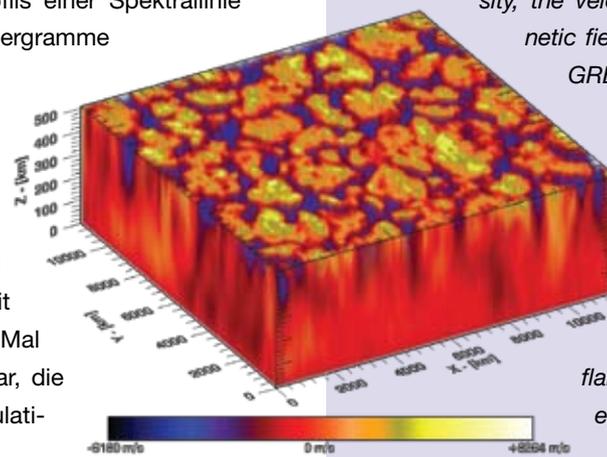


Fig. 3: Tomographic reconstruction of a quiet-sun region. The three-dimensional reconstruction is obtained by a novel Stokes profile inversion based on magnetoconvection simulations and artificial neural networks applied to observation from the HINODE satellite. The figure shows the reconstruction of the line-of-sight component of the plasma velocity for a photospheric region which covers a range of  $11.600 \times 11.600 \times 500$  km. For improved clarity and to show the rich velocity structure in the lower photosphere the reconstruction is shown from the bottom (i.e., upside down).

(wie z. B. Radio-, Röntgen- und  $\gamma$ -Strahlung) und erhöhte Flüsse von energiereichen Teilchen (wie Elektronen, Protonen und schwere Ionen). Wegen der Radioemission der beim Flare beschleunigten Elektronen, die im Observatorium des AIP beobachtet werden, sind die Flares Gegenstand des Arbeitsgebietes Solare Radiophysik.

Am 28. Oktober 2003 fand der stärkste bisher beobachtete Flare der Sonne statt. Durch eine Vielzahl von bodengebundenen Beobachtungen und Satellitenmessungen ist es eines der bestverstandenen Ereignisse. Am AIP entstanden aufgrund der eigenen Radiobeobachtungen international anerkannte interpretatorische und theoretische Beiträge dazu. Abb. 4 zeigt den Flare auf der Sonnenscheibe im EUV (extrem ultravioletten) Spektralbereich. Man erkennt eine helle Looparkade über der flareaktiven Region. Die vom NASA-Satelliten RHESSI gemessenen Quellen der harten (blau) und weichen (rot) Röntgenstrahlung sind eingezeichnet. Die aus der Photosphäre gewonnenen Magnetfelddaten für dieses Gebiet wurden in die Korona extrapoliert. Abb. 5 zeigt die durch

*celerated electrons (as observed by the AIP Trensdorf observatory) flares are the prime research topic in solar radio physics.*

*On 28 October 2003, the strongest flare on the Sun up to now was observed. This is one of the best observed flares covered by numerous ground-based and satellite observations. Therefore, much about this flare is known. Because of our own radio observations,*

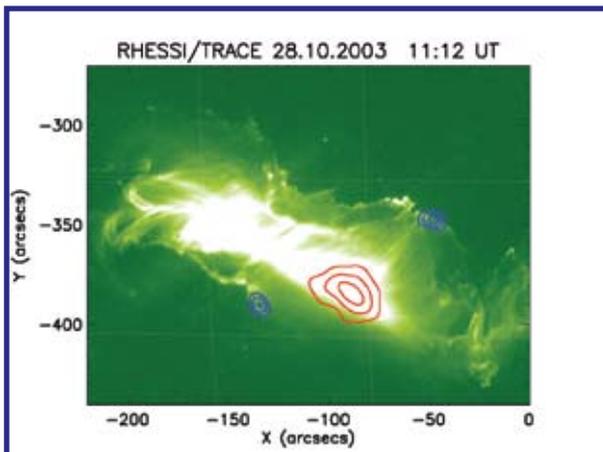


Fig. 4: Flare ribbons and loop arcade as observed in the EUV light by the NASA satellite TRACE in NOAA 10486 during the flare on 28 October 2003. The contour plots indicate the soft (red) and hard (blue) X-ray sources as obtained by the NASA satellite RHESSI.

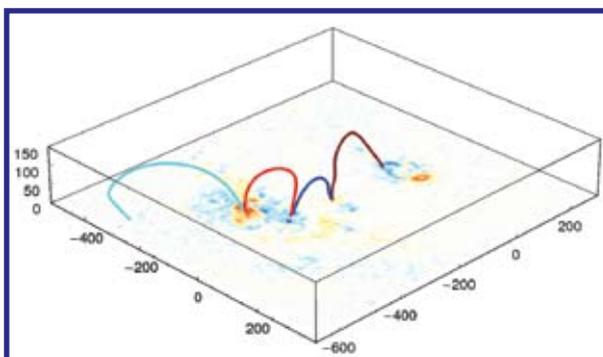


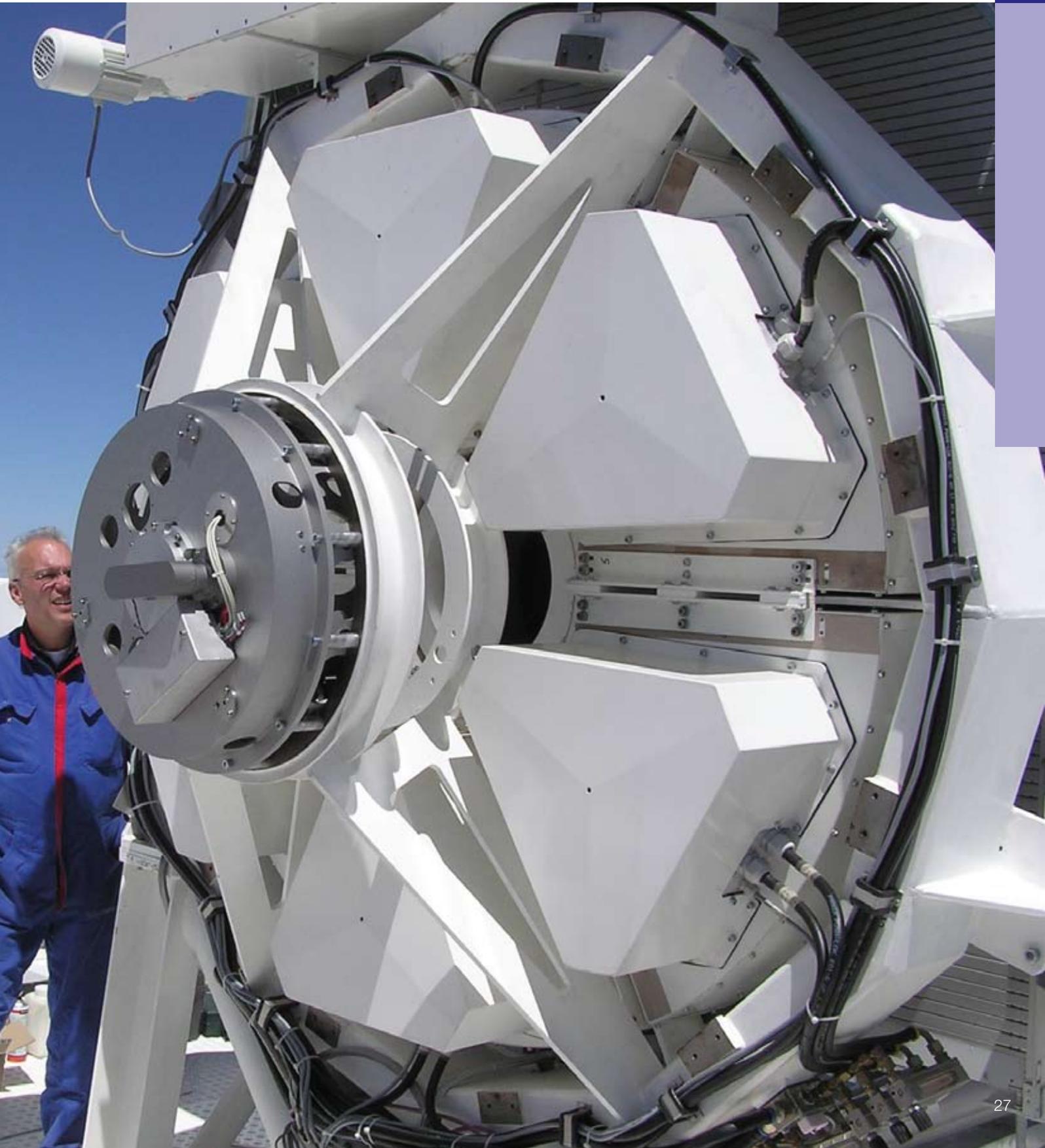
Fig. 5: Perspective view on discrete, huge activated coronal interconnecting field structures (colored bold arcs) between the flaring active region and surrounding regions obtained by ray-tracing of fiber burst sources (see Fig. 7 for a dynamic radio spectrum) combined with the extrapolation of the photospheric magnetic field in the corona. The plot is scaled in arcsec, bottom is the SOHO-MDI magnetogram of 28 October 2003, 11:11 UT. The red field loop is situated above the blue HXR contour lines in active region NOAA 10486 (see Fig. 4).



Fig. 6: Backside of the primary mirror cell for the GREGOR telescope during testing at Observatorio del Teide, Tenerife. Behind the donut-shaped primary mirror, which is hidden behind the triangular boxes of the thermal control system, is the location of the tertiary mirror (M3). The M3 mirror cell (i.e., the gray aluminium assembly in the center of the picture) was designed and built in-house at AIP.

Analyse von Fiberbursts (siehe Abb. 7) ausgewählten aktivierten Magnetfeldbereiche. Genau diese spielen bei der Entstehung des Flares und des auf die Erde zulaufenden koronalen Massenauswurfs (Halo-CME) eine besondere Rolle. Die harte Röntgenstrahlung stammt von den Fußpunkten der roten Magnetfeldschleife in Abb. 5. Die übrigen aktivierten Feldbereiche aus Abb. 5 greifen überraschenderweise weit über die flareaktive Region hinaus.

*some internationally recognized studies were performed on this flare. Fig. 4 shows the flare on the solar disc in the EUV (extreme ultraviolet) spectral range. One can notice a bright loop arcade over the active region. Sources of hard (blue) and soft (red) X-rays as measured by RHESSI are shown. The photospheric magnetic field data measured for this area are extrapolated up to the corona. Fig. 5 shows the selected*



Harte Röntgenstrahlung wird durch energiereiche Elektronen in der Sonnenatmosphäre erzeugt. In dem Spektrum der harten Röntgenstrahlung (Abb. 8) erkennt man, dass sie eine thermische und eine nichtthermische Komponente besitzen. Aus der thermischen Komponente kann man eine Flaretemperatur von 37 Mio. Kelvin ermitteln. Weiterhin kann man aus dem Röntgenspektrum herausfinden, dass die energiereichen Elektronen einen beträchtlichen Teil der beim Flare freigesetzten Energie tragen.

Für den Fall des Flares am 28. Oktober 2003 wurden  $10^{36}$  energiereiche Elektronen pro Sekunde erzeugt. Sie sind mit einer Leistung von  $10^{22}$  Watt verbunden. Die Frage, wie Elektronen in Bruchteilen von Sekunden bis auf hohe Energien von mehr als 100 keV während solarer Flares beschleunigt werden, ist Gegenstand von theoretischen Rechnungen in der Arbeitsgruppe Solare Radiophysik. Diese energiereichen Elektronen erzeugen nicht nur die harte Röntgenstrahlung, sondern auch nichtthermische Radiostrahlung (z.B. Abb. 7), wie sie am Observatorium des AIP in Trestdorf gemessen wird.

Die Arbeiten im Programmbereich Sonnenphysik zeigen eindrucksvoll, dass es ein enges Zusammenspiel zwischen großen und kleinen, räumlichen und zeitlichen Skalen der Evolution des Magnetfeldes bei Aktivitätsphänomenen der Sonne gibt. Für dessen Studium sind die unterschiedlichsten Beobachtungsmethoden und theoretischen Rechnungen notwendig.

Zukünftig wird sich das AIP an dem europäischen Radiointerferometer LOFAR (Low Frequency Array) beteiligen. Es handelt sich hierbei um eine neuartige Technologie. Eine Vielzahl über Zentraleuropa verteilter Radiostationen (Abb. 9) – eine davon wird vom AIP in Potsdam-Bornim errichtet – sammelt die Radiostrahlung von kosmischen Objekten, wie z. B.

der Sonne. Die so empfangenen Radiosignale werden zu einem Zentralrechner transportiert und dort zu Radiobildern korreliert. Die damit verbundene gewaltige Datenmenge

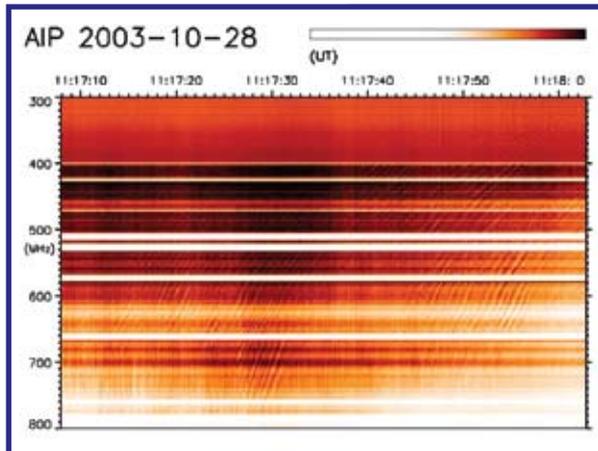


Fig. 7: Dynamic radio spectrum of fiber bursts during the huge solar Gamma-ray and ground-level flare event of 28 October 2003. Fiber bursts indicate whistler wave propagation in activated coronal structures during energetic proton injection in space and during the rise of the Halo-CME.

area of magnetic field lines obtained from the analysis of fiber bursts (see Fig. 7). Exactly these field lines play an important role in flare emergence and the development of the Earth-directed coronal mass ejection. The hard X-ray emission comes from the footpoints of the red-plotted magnetic loop (see Fig. 5). The remaining field lines on Fig. 5 surprisingly reach widely over the flare active region.

Hard X-ray radiation is produced by energetic electrons in the solar atmosphere. In the hard X-ray spectrum (Fig. 8) it can be seen, that the electrons generating this emission have thermal and non-thermal components. From the thermal component one can determine a flare temperature of 37 million Kelvin. Furthermore, the X-ray spectrum shows that energetic electrons carry a considerable part of the flare released energy. In the case of the 28 October 2003 flare,  $10^{36}$  energetic electrons per second were produced. They are associated with a power of  $10^{22}$  Watt. The question how electrons can be accelerated in a fraction of seconds up to energies of more than 100 keV during solar flares is the aim of theoretical calculations in the working group solar radio physics. These energetic electrons produce not only the hard X-ray emission,

but also the nonthermal radio radiation (see Fig. 7 as an example), as it is detected with the observatory in Trestdorf.

The results in the research area Solar Physics show impressively the existence of a close interplay between the large and small, spatial and temporal scales of the magnetic field evolution during solar eruptive phenomena. For these studies it is necessary to have access to a variety of observational techniques and theoretical calculations.

In the future, AIP will participate in the European radio interferometer LOFAR, which builds on novel technology. Many radiometers distributed over central

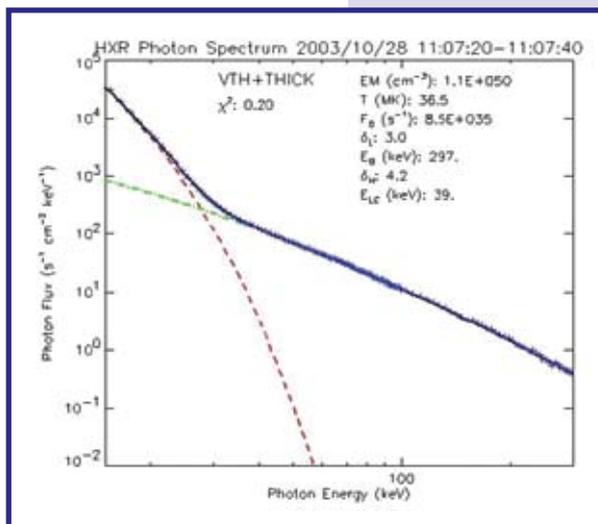


Fig. 8: The  $\gamma$ -ray spectrum (blue line) in the time interval from 11:07:20 to 11:07:40 UT during the flare on 28 October 2003.

von 1-2 Gbit pro Sekunde wird mit Methoden gemanagt, die am AIP im Programmbereich „Supercomputing und E-Science“ erarbeitet werden.



Fig. 9: The figure shows the intended distribution of remote LOFAR stations in Europe with the core stations in the Netherlands.

Europe (Fig. 9) – one of them will be installed by AIP in Potsdam-Bornim – will collect the radio emission from cosmic objects, such as the Sun. The received signals will be transported to a central computer and will be combined there to yield a radio image. The associated huge data rate of the order of 1-2 Gbit per second will be processed via the methods developed by the programm area “Supercomputing and E-Science“.

#### Ausgewählte Publikationen Selected Publications

Aurass, H., Rausche, G. and Mann, G. (2007): **Radio Burst from Converging Separatrices**, *Astronomy & Astrophysics* 471, 2, L37

Balthasar, H. (2006): **Vertical Current Densities and Magnetic Gradients in Sunspots**, *Astronomy & Astrophysics* 449, 1169

Carroll, T. A. and Kopf, M. (2007): **The Meso-Structured Magnetic Atmosphere. A Stochastic Polarized Radiative Transfer Approach**, *Astronomy & Astrophysics* 468, 323

Denker, C., Deng, N., Tritschler, A., and Yurchyshyn, V. (2007): **Two-Dimensional Spectroscopy of Photospheric Shear Flows in a Small Spot**, *Solar Physics* 245, 219

Hofmann, A. and Ruždjak, V. (2007): **Favourable Magnetic Field Configurations for Generation of Flare-Associated Meter-Wave Type III Radio Bursts**, *Solar Physics* 240, 107

Kliem, B. and Török, T. (2006): **Torus Instability**, *Physical Review Letters* 96, 25

Mann, G., Aurass, H. and Warmuth, A. (2006): **Electron Acceleration by the Reconnection Outflow Shock During Solar Flares**, *Astronomy & Astrophysics* 454, 3, 969

Miteva, R. and Mann, G. (2007): **The Electron Acceleration at Shock Waves in the Solar Corona**, *Astronomy & Astrophysics*, 474, 2, 617

Önel, H., Mann, G. and Sedlmayr, E. (2007): **Propagation of Energetic Electrons Through the Solar Corona and the Interplanetary Medium**, *Astronomy & Astrophysics*, 463, 3, 1143

Rausche, G., Aurass, H., Mann, G., Karlicky, M. and Vocks, C. (2007): **On Solar Intermediate Drift Radio Bursts at Decimeter and Meter Wavelength**, *Solar Physics* 245, 327

Valori, G., Kliem, B. and Fuhrmann, M. (2007): **Magnetofrictional Extrapolations of Low and Lou's Force-Free Equilibria**, *Solar Physics* 245, 263

Vocks, C. and Mann, G. (2006): **Whistler Wave Excitation by Relativistic Electrons in Coronal Loops During Solar Flares**, *Astronomy & Astrophysics* 452, 1, 331

Warmuth, A. (2007): **Large-Scale Waves and Shocks in the Solar Corona**, *Lecture Notes in Physics* 725, 107



Supernova echo as observed by LBT.

# Sternphysik und Sternaktivität

## *Stellar Physics and Stellar Activity*



Team 06/07 (alphabet.): Michael I. Andersen, Janos Bartus, Thorsten Carroll, Daniel Fügner, Christian Fuhrmann, Thomas Granzer, Rodrigo Guardarrama, Ilya Ilyin, Christian Jänicke, Ralf Jakob, Silva Järvinen, Arto Järvinen, Markus Kopf, Heidi Korhonen, Andreas Ritter, Christer Sandin, Igor Savanov, Detlef Schönberner (head), Matthias Steffen, Klaus G. Strassmeier, Michael Weber

Die beobachtungsorientierte Arbeit fokussiert sich auf die Untersuchung der rotationsinduzierten magnetischen Aktivität in allen Entwicklungsstadien „sonnenähnlicher“ Sterne. Dabei kommt vor allem die „Doppler-Imaging“-Technik mit Hilfe hochauflösender Spektroskopie und demnächst auch Polarimetrie zum Einsatz. Hinzugekommen ist die verstärkte Entwicklung eigener Software. Die theoretisch orientierte Arbeit konzentriert sich derzeit auf die Untersuchung der Entstehung und Entwicklung planetarischer Nebel, die 3D-Simulation von oberflächennaher Konvektion in rotierenden Sternen, den Strahlungstransport und das Verhalten magnetischer Flussröhren in aktiven Vor-Hauptreihen-Sternen. Das Programm begleitet derzeit wissenschaftlich die AIP-Großgeräte PEPSI, STELLA und RoboTel, in Zukunft auch ICE-T, und eventuell eine spätere Teilnahme an einem Europäischen Extremely Large Telescope (E-ELT).

*The observational work focuses on the study of rotation-induced magnetic activity during all stages of evolution of solar-like stars. The application of the Doppler-imaging technique to high-resolution optical spectra, soon also polarimetric spectra, is thereby in the foreground. Additionally, we focus now also on own software developments. The theoretical work concentrates on studies of the formation and evolution of planetary nebulae, the 3-dimensional numerical simulation of stellar surface convection of rotating stars, the radiation transport and the behavior of magnetic flux tubes in active pre-main-sequence stars. The program scientifically encompasses the AIP projects PEPSI, STELLA and RoboTel, ICE-T and possibly the participation in the future European Extremely Large Telescope (E-ELT).*

**Sternaktivität.** Aktive Regionen – sei es auf der Sonne oder auf anderen Sternen – beinhalten konzentrierte Magnetfelder, die den Energietransport aus dem Inneren des Sternes zum Teil unterbinden. Diese und andere Aktivitätsphänomene auf der Sternoberfläche können als ein Fingerabdruck des im Inneren des Sternes arbeitenden Dynamos gesehen werden. Um sie zu beobachten und zu interpretieren, bedarf es einer räumlichen Auflösung der Sternoberfläche. Wir entwickelten und verwenden daher eine indirekte Methode, die der medizinischen Computer-Tomographie ähnelt: das „Doppler-Imaging“. Diese Methode ist sowohl bei eindimensionalen Lichtkurven als auch bei 4-dimensionalen Stokes-Vektor Spektren anwendbar.

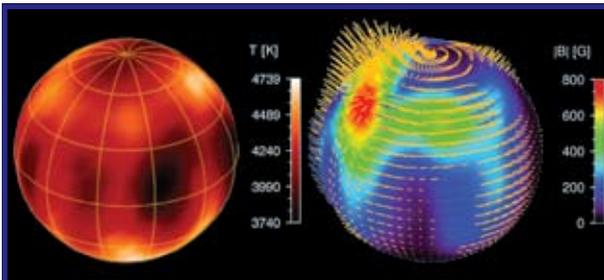


Fig. 1 : Temperature (left) and surface magnetic field distribution (right) of II Pegasi.

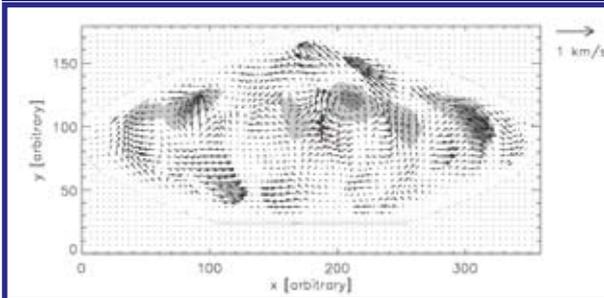


Fig. 2 : Meridional and moat flows on LQ Hya.

**Stellare Magnetfelder.** Stellare Oberflächenfelder können durch die Anwendung von tomographischen Inversionen und unter Verwendung des vollständigen Polarisationspektrums (Stokes-Spektrum) abgebildet werden. Eine erste Anwendung dieser Technik wurde für den aktiven Stern II Pegasi durchgeführt und ergab eine überraschende Magnetfeldverteilung, bei der das Feld im Wesentlichen in einer aktiven Longitude konzentriert ist und eine Feldstärke von bis zu 800 G besitzt. Abb. 1 zeigt die Temperatur (links) und Magnetfeldverteilung (rechts) von II Pegasi.

**Differentielle Rotation und meridionale Strömung.**

Die Technik des Doppler-Imaging erlaubt zusätzlich die Messung der differentiellen Oberflächenrotation von Sternen. Untersuchungen von zwei aktiven Riesensternen,  $\sigma$  Gem und UZ Lib, ergaben eine schwache differentielle Rotation, jedoch in anti-solarer Richtung, d.h. die Pole rotieren schneller als der Äquator. Darüberhinaus konnten für den Stern LQ Hya erste Beweise für die Existenz

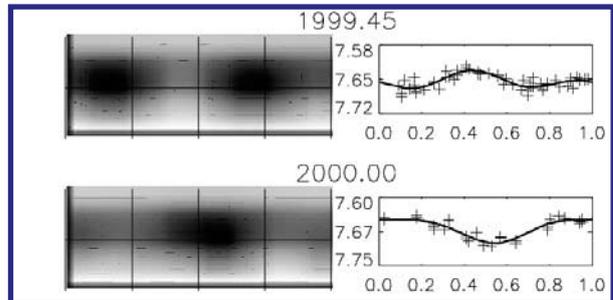


Fig. 3: Flip-Flop event of FK Comae.

**Stellar activity.** Active regions on the Sun and other stars contain concentrated magnetic fields that partly block the thermal energy release from underneath. Such activity phenomena require spatial resolution of the surface of other stars in order to be studied properly. We develop and apply an indirect technique comparable to the well-known medical computer tomography, dubbed “Doppler imaging”. This method is applicable to one-dimensional light curves as well as to 4-dimensional Stokes-vector line profiles.

**Stellar magnetic fields.** Stellar surface magnetic fields can be mapped by inverting polarized spectral line profiles. A first application of this technique to Stokes V spectra of the active star II Peg obtained at the Nordic Optical Telescope revealed a surprising field distribution where the field is mainly concentrated in one active longitude with field strengths of up to 800 G. Fig. 1 shows the temperature (left) and magnetic field distribution (right) of II Peg.

**Differential rotation and meridional flows.** Doppler images also allow to measure surface differential rotation. Studies of the two active giant stars  $\sigma$  Gem und UZ Lib revealed weak differential rotation but in anti-solar direction, i.e., the poles rotate faster than the equator. First evidence for the existence of meridional

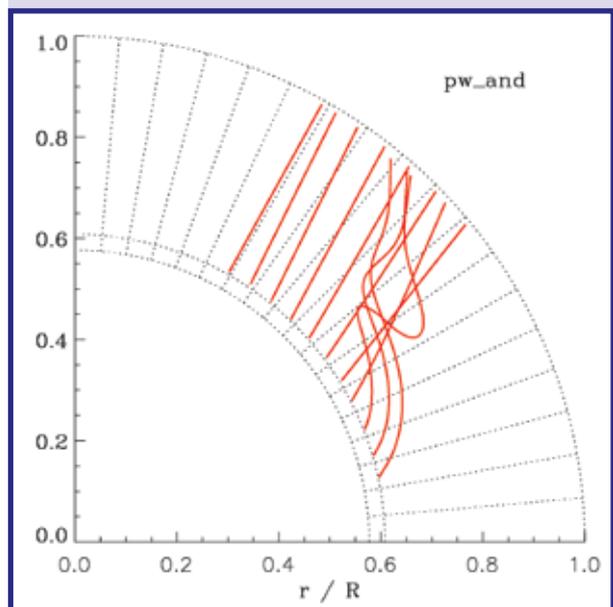


Fig. 4: Rising Flux Tube on PW And.

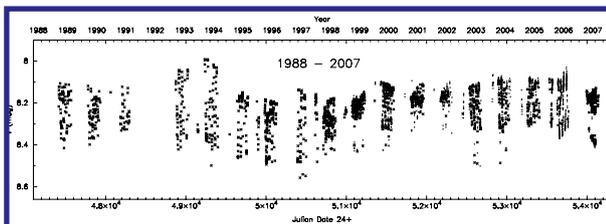


Fig. 5 : Starspot cycle on HD6286.

von meridionalen Strömungen sowie auswärtsgerichteten Geschwindigkeitsfeldern um Sternenflecken herum gefunden werden (Abb. 2).

**Das Flip-Flop Phänomen.** Flecken oder Fleckengruppen mit einem longitudinalen Abstand von  $\approx 180^\circ$  können durch einen oszillierenden Dynamoprozess periodisch entstehen und wieder vergehen. Eine Untersuchung des Unterriesen HD 291095 ergab einen solchen Flip-Flop Mechanismus mit einer Periode von 3 Jahren, wobei die Rotationsperiode des Sterns lediglich 3,9 Tage beträgt. Abb. 3 zeigt ein Beispiel eines beobachteten Flip-Flop Ereignisses für den Stern FK Comae.

**Magnetische Flussröhren.** Einfache eindimensionale MHD Modelle von Flussröhrenentwicklungen können mit Beobachtungen verglichen werden. Flussröhren können als Bindeglied zwischen den beobachtbaren Oberflächenfeldern und dem im Inneren operierenden Dynamo aufgefasst werden. Eine Untersuchung des K2-Zwergsterns PW And (Abb. 4) zeigt, dass die vorhergesagten Regionen des Auftauchens der Flussröhren sehr gut mit der beobachteten Feldverteilung übereinstimmen.

**Sternfleckenzyklen.** Langzeit APT Photometrie und die Benutzung komplexer Periodensuchalgorithmen ermöglichen die Untersuchung von Sternfleckenzyklen in Analogie zu dem 11-jährigen Fleckenzyklus der Sonne. Eine Studie des aktiven bedeckungsveränderlichen Sterns HD 6286 zeigte, dass beide Pole einen Polkappenfleck besitzen, der mindestens für die Dauer der Beobachtung von 19 Jahren beständig ist (Abb. 5).

**Zeta Andromedae.** Doppler imaging der durch Rotation und Gravitation deformierten Komponenten dieses Doppelsterns zeigt die enorme Oberflächenakti-

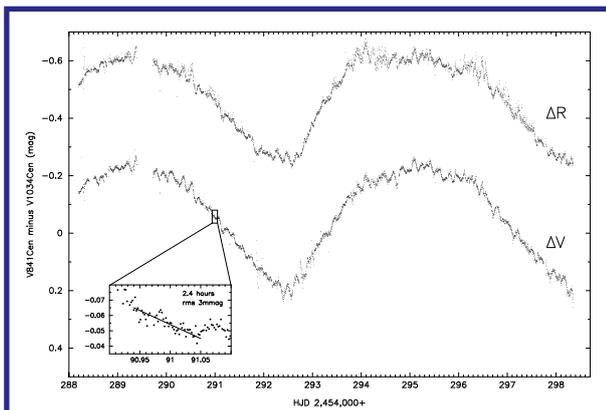


Fig. 7 : Time series of V841 Cen and V1034 Cen.

flows as well as of moat flows around starspots were found for LQ Hya (Fig. 2)

**The Flip-Flop phenomenon.** Spots or spot groups with a separation of  $\approx 180^\circ$  may periodically wax and wane due to a particular dynamo oscillation. A study of the subgiant HD 291095 revealed such a flip-flop period of 3 years, with a rotational period of the star being just 3.9 days. Fig. 3 shows an example of a flip for FK Comae caught in 1999/2000.

**Magnetic flux tubes.** Simple one-dimensional MHD models of flux tube evolution can be compared with observed surface Doppler maps and its spot dis-

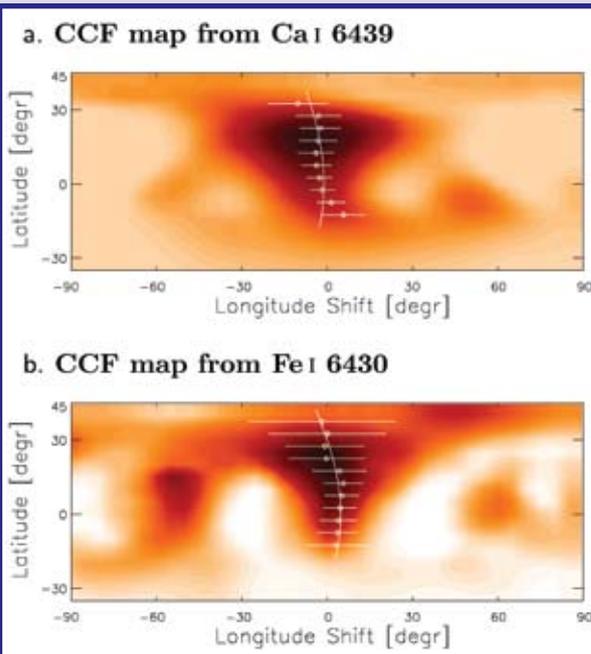


Fig. 6 : Surface flows on Zeta Andromedae.

tributions. Such flux tubes can be understood as the link between the (observable) surface and the internal dynamo. A study of the single K2-dwarf PW And (Fig. 4) showed that the predicted surfacing regions of the tubes agree well with the observed spot distribution.

**Starspot cycles.** Long-term APT photometry and the use of sophisticated period-search algorithms enable the study of starspot cycles in analogy to the 11-year sunspot cycle. A study of the active and eclipsing binary HD 6286 showed that both rotational poles harbour a cool cap-like spot for at least the 19-years of our continuous photometric observations (Fig. 5).

**Zeta Andromedae.** Doppler imaging of this rotationally and gravitationally deformed binary component revealed the enormous surface activity of this star. However, four times weaker surface differential rotation than on the Sun was detected while the star's rotation is 50% faster. The figure shows the cross-correlation function (color coded) between two Doppler images from consecutive rotation cycles obtained at

vität dieses Sterns. Es wurde eine differentielle Rotation festgestellt, die vier mal schwächer ist als die der Sonne, wobei die Rotationsgeschwindigkeit dieses Sterns jedoch 50% schneller ist. Abb. 6 zeigt die Kreuzkorrelationsfunktion (eingefärbt) zwischen Doppler Images von zwei aufeinander folgenden Rotationszyklen. Die Punkte und Balken entsprechen der Beobachtung, während die Linie eine Anpassung darstellt unter der Annahme eines sonnenähnlichen differentiellen Rotationsgesetzes.

**Erste Photometrie aus der Antarktis.** Wir haben die erste Zeitserie einer photometrischen Beobachtung eines aktiven Sterns in der Antarktis durchgeführt (Abb. 7). Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der Universität Perugia haben wir das 25-cm sIRAIT Teleskop für die Dauer von 243 aufeinanderfolgenden Stunden benutzt. Eine Periodenanalyse ergab eine Rotationsperiode des gefleckten Sterns V841 Cen von 5.943 Tagen und ein Minimum von 13 Perioden zwischen 3 Stunden und 2 Tagen für den  $\delta$ -Scuti Stern V1034 Cen.

**Code Entwicklung.** Weiterführende Arbeiten und Entwicklungen wurden an dem MHD Code CO<sup>5</sup>BOLD und den dazugehörigen Programmpaketen zur Berechnung des statistischen Gleichgewichts in 3D (und unter NLTE) sowie an der Spektrumsynthese durchgeführt. Ein neuer Zeeman-Doppler imaging code (iMap) für aktive und sonnenähnliche Sterne wurde zusammen mit einem effektiven Algorithmus zur Verbesserung des Signal-zu-Rausch Verhältnisses spektropolarimetrischer Beobachtungen entwickelt. Numerische Tests wurden durchgeführt, um das Potential zukünftiger Polarisationspektren von PEPSI abzuschätzen. Ein weiterer Code mit dem Schwerpunkt auf der Inversion von Molekülspektren wurde entwickelt.

## Isotopenhäufigkeiten von Lithium in galaktischen Halo-Sternen

Die sogenannten Halo-Sterne in den Außenbezirken unserer Milchstraße gehören den ersten Sternenerationen an, die sich nach dem Urknall gebildet haben. Ihr Alter ist vergleichbar mit dem des Universums. Die chemische Zusammensetzung der Gaswolken, aus denen sie sich gebildet haben, ist in ihrer Atmosphäre erhalten geblieben, so dass die Chemie des frühen Universums durch eine spektroskopische Analyse dieser alten, metallarmen Sterne erschlossen werden kann.

Lithium, das dritte Element im Periodensystem, kommt vornehmlich in Form von <sup>7</sup>Li (3 Protonen + 4 Neutronen) vor, aber es gibt auch das sehr viel seltenere stabile Isotop <sup>6</sup>Li (3p + 3n). Nach der Standard-Theorie werden im Urknall nur <sup>2</sup>H, <sup>3</sup>He, <sup>4</sup>He, und <sup>7</sup>Li erzeugt. Die primordiale <sup>7</sup>Li-Häufigkeit ist mit hoher Genauigkeit bekannt und kann mit der <sup>7</sup>Li-Häufigkeit in den Atmo-

*Kitt Peak National Observatory. The dots and bars are the observations while the thin line is a fit with a solar-like differential-rotation law.*

**First photometry from Antarctica.** We conducted the first ever time-series photometry of an active star (and a  $\delta$ -Scuti star) taken in Antarctica (Fig. 7). In a collaboration with the University of Perugia we used the 25-cm sIRAIT telescope for 243 consecutive hours. A period analysis revealed a rotation period of the spotted star (V841 Cen) of 5.943 days, and a minimum of seven periods between 3 hours and 2 days for the  $\delta$ -Scuti star V1034 Cen.

**Code development.** Continuous development and maintenance of the CO<sup>5</sup>BOLD code and its packages for 3D NLTE statistical equilibrium and spectrum synthesis were carried out. A new Zeeman-Doppler imaging code (iMap) was developed as well as a new technique to enhance the Signal-to-Noise ratio of measured Stokes profiles. Numerical tests were performed to evaluate the potential of future PEPSI polarimetric spectra. Another code was developed with emphasis on inverting molecular spectra.

### Lithium isotopic abundances in galactic halo stars

*The so-called halo-stars in the outskirts of the Milky Way belong to the first few generations of stars that have formed after the Big Bang. They have ages comparable to the age of the universe. The chemical composition of the gas clouds from which these stars have formed is preserved in their atmospheres. It is thus possible to infer the chemical composition of the early universe by a spectroscopic analysis of these distant, metal-poor stars.*

*Lithium, the third element in the periodic table, exists mostly in the form of <sup>7</sup>Li (3 protons + 4 neutrons), the other stable isotope, <sup>6</sup>Li (3p+3n) is much less abundant. According to the standard theory, the only nuclei produced in the Big Bang are <sup>2</sup>H, <sup>3</sup>He, <sup>4</sup>He, and <sup>7</sup>Li. The resulting primordial abundance of <sup>7</sup>Li can be predicted with high accuracy, and may be compared with the <sup>7</sup>Li abundance measured in the atmospheres of metal-poor halo stars. It turns out that the stellar <sup>7</sup>Li abundance is 2 to 4 times lower than the prediction of Big Bang Nucleosynthesis. This constitutes the "first lithium problem".*

*With the advent of 8m class telescopes equipped with highly efficient spectrographs, it has become possible to determine not only the abundance of <sup>7</sup>Li, but also the <sup>6</sup>Li/<sup>7</sup>Li isotopic ratio, albeit only for a handful of the brightest metal-poor stars. In the 9 stars for which <sup>6</sup>Li has been detected, the ratio <sup>6</sup>Li/<sup>7</sup>Li is very similar, ~0.04. Since <sup>6</sup>Li is not produced in the Big Bang, its detection in the halo stars came as a surprise. A*

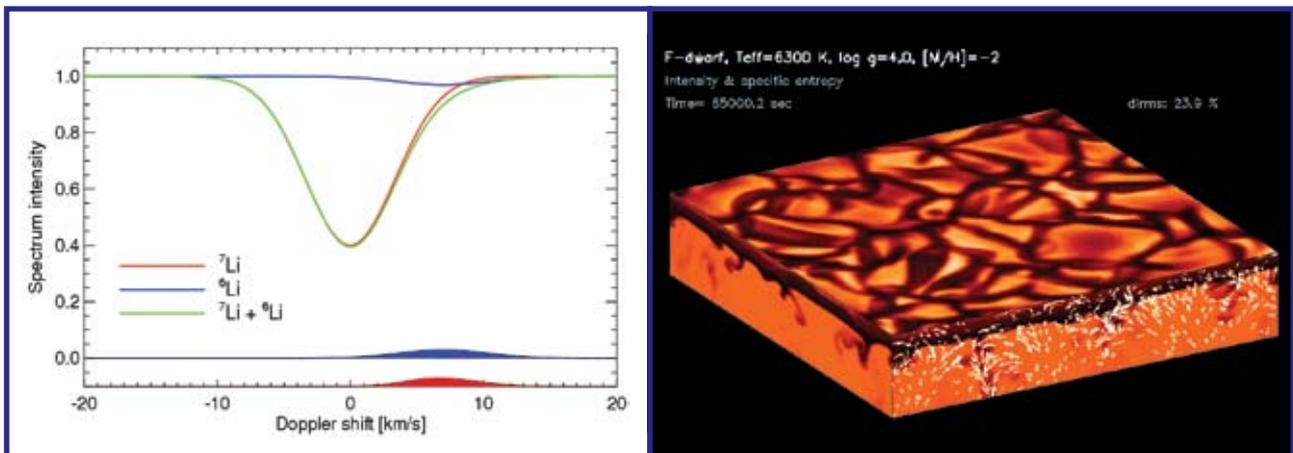


Fig. 8: Schematic illustration of the delicate spectroscopic measurement of  ${}^6\text{Li}$ . Left: The presence of Lithium in a stellar atmosphere is indicated by a single spectral feature in the red part of the spectrum. If only  ${}^7\text{Li}$  is present, the spectral line is symmetric (red). If  ${}^6\text{Li}$  is also present, it gives rise to its own spectral line, shifted to the red by about 7 km/s (blue). What can be observed with high-resolution spectrographs is the combination of both components: a slightly asymmetric spectral line (green). The abundance of  ${}^6\text{Li}$  is inferred from the amount of line asymmetry, measured as the intensity difference between the left and the right wing (blue shaded peak). Right: 3D hydrodynamical simulations of the surface layers of metal-poor stars, carried out with the CO<sup>5</sup>BOLD code at the AIP, show that vigorous gas flows prevail, leading to a characteristic pattern of bright cells where hot gas rises, and dark lanes where cool gas sinks. Due to the up/down (hot/cold) asymmetry of the atmospheric structure, all line profiles show some degree of intrinsic asymmetry. Even if only  ${}^7\text{Li}$  is present, the spectral line formed in the inhomogeneous atmosphere is intrinsically asymmetric. By a remarkable coincidence, the amount of intrinsic asymmetry (red shaded peak in left panel) is very much the same as the signature of a 4%  ${}^6\text{Li}$  contribution in a homogeneous atmosphere (blue shaded peak). This may explain why all previous studies based on symmetric line profiles found a  ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$  isotopic ratio of roughly 0.04.

sphären metallarmer Halo-Sterne verglichen werden. Es stellt sich heraus, dass diese spektroskopisch ermittelte  ${}^7\text{Li}$ -Häufigkeit etwa 2 bis 4 mal niedriger ist, als gemäß der Urknall-Nukleosynthese zu erwarten ist. Dies ist das „erste Lithium-Problem“.

Mit der Verfügbarkeit von 8m-Teleskopen mit hocheffizienten Spektrographen ist es möglich geworden, auch das Isotopenverhältnis  ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$  zu bestimmen, wenn auch nur für die hellsten Halo-Sterne. In den 9 Sternen, in denen  ${}^6\text{Li}$  bisher entdeckt wurde, ist das Isotopenverhältnis  ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$  sehr einheitlich,  $\sim 0.04$ . Da  ${}^6\text{Li}$  im Urknall nicht erzeugt wird, war dieses Ergebnis völlig unerwartet. Eine befriedigende Erklärung für die recht hohe  ${}^6\text{Li}$ -Häufigkeit wurde bisher nicht gefunden. Dies wird als das „zweite Lithium-Problem“ bezeichnet.

Wissenschaftler vom AIP und vom Observatorium Paris/Meudon sind kürzlich auf eine unerwartete Möglichkeit gestoßen, das zweite Lithium-Problem zu lösen. Unter Verwendung realistischer hydrodynamischer Simulationen metallarmer Sternatmosphären und einer detaillierten Theorie der Linienentstehung konnten sie einen systematischen Effekt demonstrieren (Abb. 8), der ernste Zweifel an allen bisherigen Bestimmungen der  ${}^6\text{Li}$ -Häufigkeit begründet. Sehr wahrscheinlich ist die tatsächliche  ${}^6\text{Li}$ -Häufigkeit in diesen Sternen deutlich geringer als bisher angenommen, und liegt vielleicht sogar unter der Nachweisgrenze.

## Messung des Massenverlustes kühler Riesensterne

Sterne mit Massen zwischen ca. 0.8 und 8 Sonnenmassen verlieren fast ihre gesamte Hülle durch einen kräftigen

*satisfactory explanation for the rather high  ${}^6\text{Li}$  abundance found in these objects is still lacking. This is the “second lithium problem”.*

*Scientists from the AIP and the Paris/Meudon Observatory recently discovered a rather unexpected possibility to resolve the second lithium problem. Based on a detailed treatment of spectral line formation in realistic hydrodynamical simulations of metal-poor stellar atmospheres, they found a systematic effect (Fig. 8) that casts serious doubt on all previous  ${}^6\text{Li}$  measurements. Very likely, the real abundance of  ${}^6\text{Li}$  in these stars is considerably lower than hitherto believed, possibly below the detection limit.*

### Probing the final mass-loss episode of cool giant stars

*Stars, which are about 0.8-8 times as massive as our Sun, lose nearly all of their envelope in an increasingly strong stellar wind during the final stages of evolution. These winds have been enriched with nuclear synthesized elements and thereby contribute to the interstellar and galactic chemical evolution. Although there has been some progress in understanding both stellar evolution and mass loss theoretically, observational details of the final phase of mass loss have remained obscure. In our project we determine properties of this mass loss stage by studying halos of planetary nebulae (PNe). A PN appears immediately after the phase of strong mass loss has ceased, and the halo is a weakly emitting region which surrounds the brighter core of the PN. Such halos still hold information of the preceding mass loss stage. Intensities of different emission lines across a PN range from very*

gen „Sternwind“, der gegen Ende der Entwicklung noch stark zunimmt. Diese Winde sind angereichert mit neu im Stern synthetisierten Elementen und leisten deshalb einen wichtigen Beitrag zur chemischen Entwicklung von Galaxien. Obwohl es in den letzten Jahren theoretische Fortschritte gegeben hat, sind die Details dieser letzten Phase des stellaren Massenverlustes immer noch recht unklar. Wir verfolgen daher das Ziel, diese Massenverlustphase mittels der Halos von sogenannten Planetarischen Nebeln (PN) zu untersuchen. Ein PN bildet sich unmittelbar nach der starken Massenverlustphase, und sein Halo ist eine nur sehr schwach leuchtende Region, die diesen PN umgibt und wichtige Information über den vorangegangenen Massenverlust enthält. Die Halos sind räumlich sehr ausgedehnt, und die Intensitäten der verschiedenen Emissionslinien variieren entsprechend stark – ein Fall für die sogenannte Integralfeldspektroskopie.

Abb. 9 zeigt links eines der von uns untersuchten Objekte, den „Blinking Eye“-Nebel. Mit dem institutseigenen PMAS-Instrument kann die gesamte Ausdehnung des Objektes mit zwei Belichtungen überdeckt werden. Der Halo hat eine nahezu kreisförmige Geometrie, so dass es möglich ist, die einzelnen Spektren innerhalb von geeigneten Kreissegmenten zur Verbesserung der Qualität aufzaddieren. Als Resultat ergibt sich für jede radiale Position im Halo ein einzelnes Spektrum guter Qualität. Mit dem so gewonnenen radialen Verlauf der H $\beta$ -Linienstärke konnte mittels einer Abel-Transformation unter Annahme von sphärischer Symmetrie der radiale Verlauf der Elektronendichte bestimmt werden (Abb. 9, Mitte). Setzt man eine konstante Windgeschwindigkeit voraus, lässt sich der Massenverlust als Funktion der Zeit bestimmen (Abb. 9, rechts). Für Entfernungen kleiner als 0,5 Lichtjahre (1 Lichtjahr =  $9,5 \times 10^{12}$  km) vom Stern ist die Dichtestruktur durch Photoionisation stark verändert worden, und für Abstände größer als 1,5 Lichtjahre muss die Wechselwirkung mit früheren Massenverlustepisoden berücksichtigt

*weak to strong – under these circumstances we used the suitable method of integral field spectroscopy.*

*An image of one of the objects in our study, the “Blinking Eye” PN, is shown in Fig. 9 to the left. With the PMAS instrument we covered the entire radial extent of the central parts and halo of this object with two exposures. As is seen in the image, the halo has, to a good approximation, a circular geometry. In the data analysis we therefore binned spectra, on the integral field unit of the instrument, along concentric arcs around the central star. The resulting data consists of one spectrum at the radius of each arc – each binned spectrum with less noise than any individual spectrum. Using the derived intensity structure of the H $\beta$  emission line we could – using an Abel transform, with the assumptions of spherical symmetry and a simple chemistry – calculate an electron density structure (see middle of Fig. 9). Assuming a constant outflow velocity in the nebula we then derived a mass loss rate as a function of time (see right of Fig. 9). For radii smaller than  $r=0.5$  lightyears (1 lightyear =  $9.6 \times 10^{12}$  km) photo-ionization processes in the shell of the PN have affected the wind structure; likewise, for radii larger than  $r = 1.5$  lightyears the wind has been restructured by interaction processes between the wind and previous mass loss episodes. As Fig. 9 (right) shows, the mass loss rate increases from 2 to 10 Earth masses per year within a time period of 30,000 years. During the whole period of about 50,000 years the star has lost about 0.5 solar masses to its surroundings!*

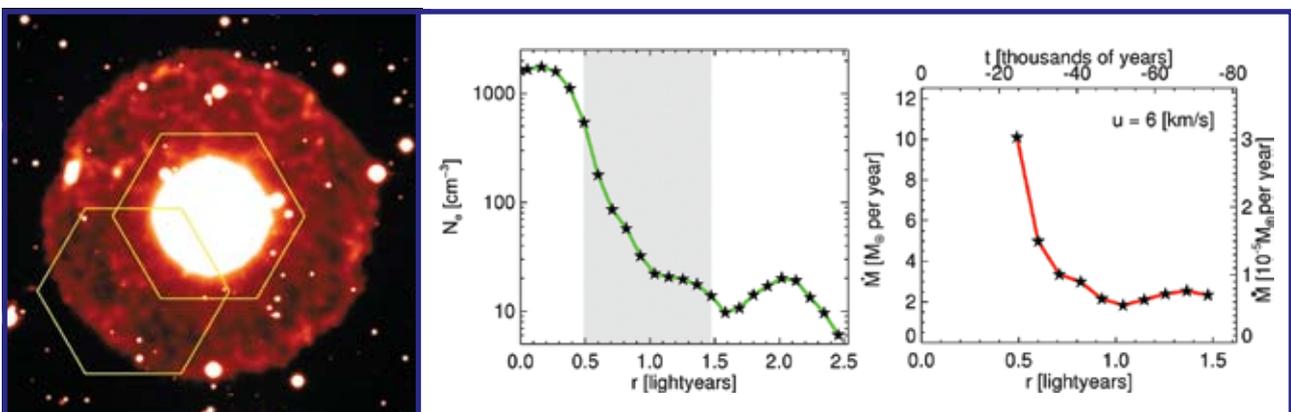


Fig. 9: The left image of the Blinking Eye nebula (NGC 6826) was recorded at the INT telescope with an exposure time of 9,000 seconds (courtesy of R. Corradi). The bright (over-exposed) central region is surrounded by a circular halo (red) of about thrice the diameter. The two outlines mark positions of our two PMAS exposures, 30 seconds (center) and 30 minutes (halo) long, respectively. The center figure shows the radial electron density structure (on a logarithmic scale). The right figure shows the final mass loss rate structure, which was derived from the density structure assuming a constant outflow velocity of 6 km/s throughout the nebula. The left axis shows the mass loss rate in Earth masses per year, and the right in solar masses per year (times 10<sup>-5</sup>).

werden. Abb. 9 (rechts) zeigt, dass der Massenverlust zeitlich stark zugenommen haben muss: von 2 bis 10 Erdmassen pro Jahr innerhalb einer Zeitspanne von nur 30.000 Jahren. Während der Zeit von 50.000 Jahren hat der Stern etwa 0,5 Sonnenmassen an seine Umgebung abgegeben!

### Ausgewählte Publikationen *Selected Publications*

Carroll, T.A., Kopf, M., Ilyin, I. and Strassmeier, K.G.

(2007): **Zeeman-Doppler imaging of late-type stars: The surface magnetic field of II Peg**, *Astronomische Nachrichten* 328, 1043

Korhonen, H., Berdyugina, S.V., Hackman, T., Ilyin, I.V., Strassmeier, K.G., Oláh, K. Weber, M., Rice, J.B. and Tuominen, I. (2007): **Study of FK Comae Berenices. V. Spot evolution and detection of surface differential rotation**, *Astronomy & Astrophysics* 476, 881

Kövári, Z., Bartus, J., Strassmeier, K.G., Oláh, K., Weber, M., Rice, J.B. and Washuettl, A. (2007): **Doppler imaging of stellar surface structure. XXIII. The ellipsoidal K giant binary Andromedae**, *Astronomy & Astrophysics* 463, 1071

Carroll, T.A. and Kopf, M. (2007): **The meso-structured magnetic atmosphere. A stochastic polarized radiative transfer approach**, *Astronomy & Astrophysics* 468, 323

Strassmeier, K.G., Carrol, T., Rice, J.B., Savanov, I.S. (2007): **Resolving stellar surface spots**, *Memorie della Societa Astronomica Italiana* 78, 278

Kovári, Z., Bartus, J., Strassmeier, K.G., Vida, K., Vanda, M.A., Oláh, K. (2007): **Anti-solar differential rotation on the active K-giant  $\sigma$  Geminorum**, *Astronomy & Astrophysics* 474, 165

Oláh, K., Strassmeier, K. G., Granzer, T., Soon, W., Baliunas, S.L. (2007): **Changing stellar activity cycles**, *Astronomische Nachrichten*, 328, 1072

Järvinen, S.P., Berdyugina, S.V., Korhonen, H., Ilyin, I., Tuominen, I. (2007): **EK Draconis. Magnetic activity in the photosphere and chromosphere**, *Astronomy & Astrophysics* 472, 887

Vreeswijk, P.M., Ledoux, ..., Andersen, M. I., ..., Savaglio, S., Wijers, R.A.M.J. (2007): **Rapid-response mode VLT/UVES spectroscopy of GRB060418. Conclusive evidence for UV pumping from the time evolution of Fe II and Ni II excited- and metastable-level populations**, *Astronomy & Astrophysics* 468, 83

Schönberner, D., Jacob, R., Steffen, M., Sandin, C. (2007): **The evolution of planetary nebulae IV. On the physics of the luminosity function**, *Astronomy & Astrophysics* 473, 467

Cayrel, R., Steffen, M., Chand, H., Bonifacio, P., Spite, M., Spite, F., Petitjean, P., L., Ludwig, H.-G., Caffau, E. (2007): **Line shift, line asymmetry, and the  $^6\text{Li}/^7\text{Li}$  isotopic ratio determination**, *Astronomy & Astrophysics* 473, L37

Wedemeyer-Böhm, S., Steffen, M. (2007): **Carbon monoxide in the solar atmosphere. II. Radiative cooling by CO lines**, *Astronomy & Astrophysics* 462, L31

Strassmeier, K. G., Rice, J. B. (2006): **First Doppler images of the very young K2-dwarf PW Andromedae = HD 1405**, *Astronomy & Astrophysics* 460, 751

Hubrig, S., González, J.F., Savanov, I., Schöller, M., Ageorges, N., Cowley, C.R., Wolff, B. (2006): **Inhomogeneous surface distribution of chemical elements in the eclipsing binary ARAur, a new challenge for our understanding of HgMn stars**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 371, 1953

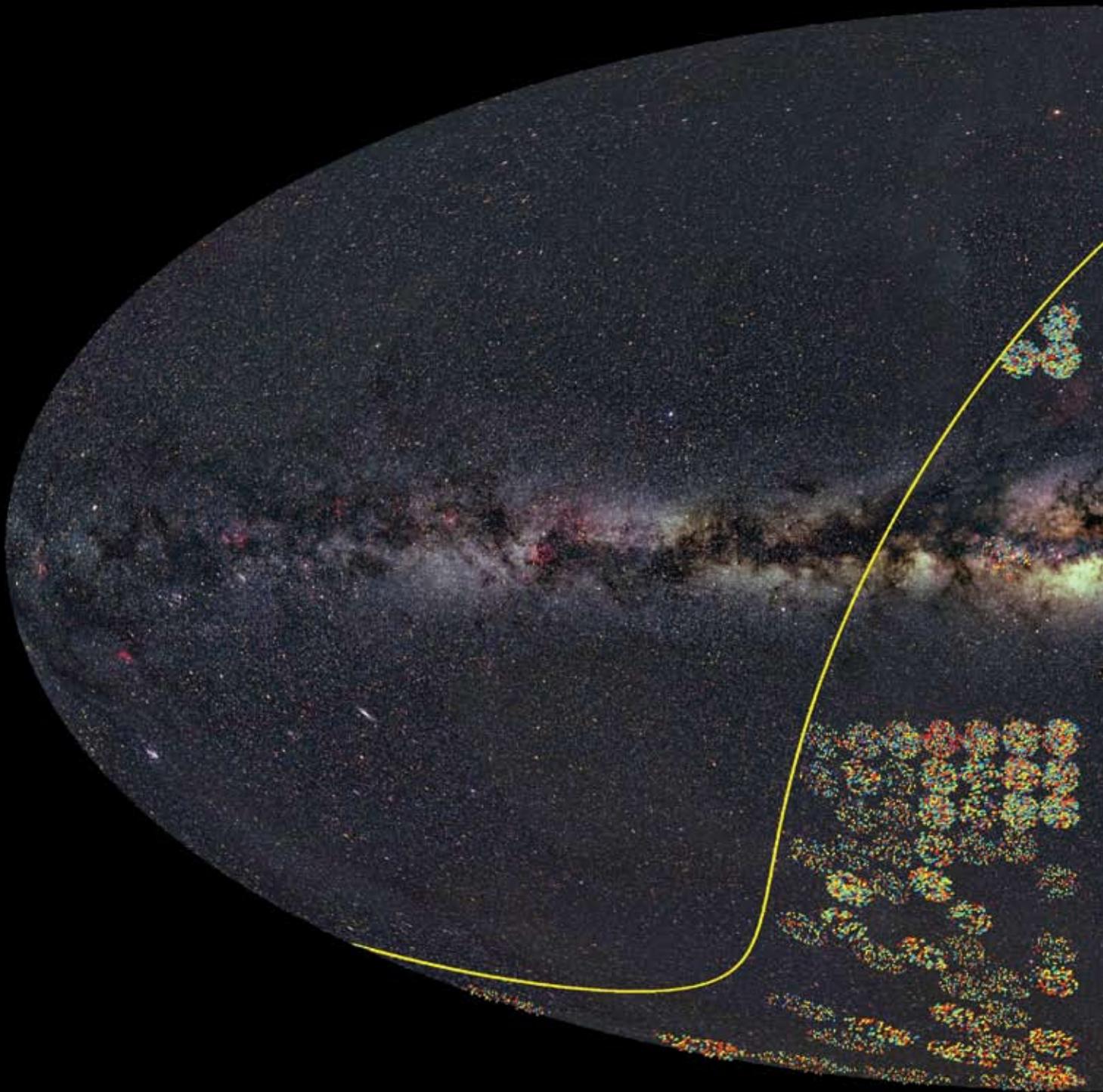
Fröhlich, H.-E., Kroll, P., Strassmeier, K.G. (2006): **The RS CVn binary HK Lacertae, long-term photometry from Sonneberg sky-patrol plates**, *Astronomy & Astrophysics* 454, 295

Oláh, K., Korhonen, H., Kovari, Z., Forgács-Dajka, E., Strassmeier, K.G. (2006): **Study of FK Comae Berenices. VI. Spot motions, phase jumps and a flip-flop from time-series modelling**, *Astronomy & Astrophysics* 452, 303

Ayres, T.R., Harper, G.M., Brown, A., Korhonen, H., Ilyin, I.V., Redfield, S., Wood, B.E. (2006): **The Remarkable Far-Ultraviolet Spectrum of FK Comae Berenices, King of Spin**, *Astrophysical Journal* 644, 464

Savanov, I., Hubrig, S., Mathys, G., Ritter, A., Kurtz, D.W. (2006): **Search for radial velocity and magnetic field pulsational variations in the roAp star  $\gamma$  Equulei**, *Astronomy & Astrophysics* 448, 1165

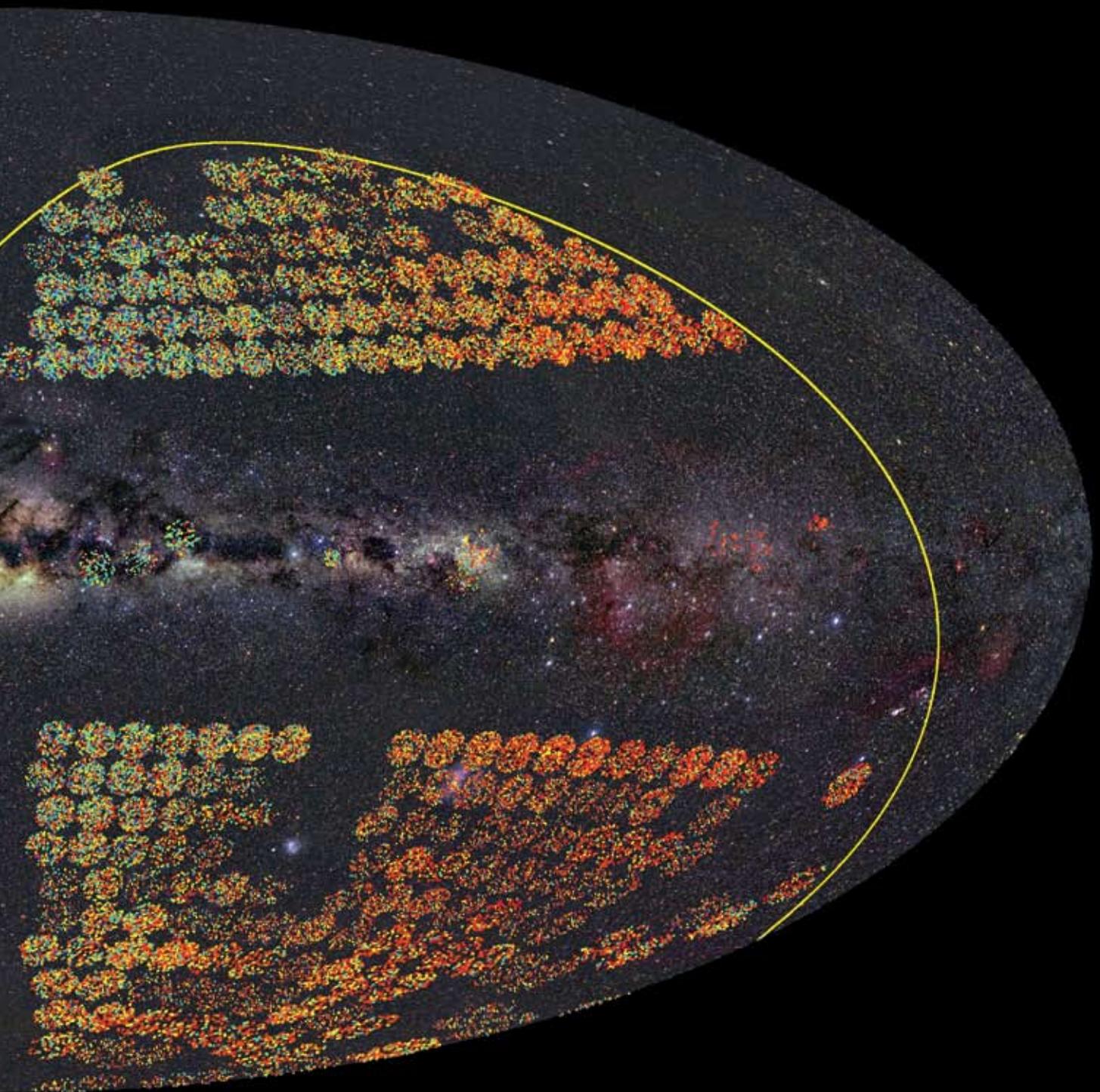
Jeffery, C.S., Schönberner, D. (2006): **Stellar archaeology, the evolving spectrum of FG Sagittae**, *Astronomy & Astrophysics* 459, 885



## Extragalaktische Astrophysik

Wohl kaum ein Gebiet der Astrophysik entwickelt sich derzeit so rasant wie das der extragalaktischen Astrophysik und Kosmologie. Ziel ist es zu verstehen, wie sich aus kleinen Unregelmäßigkeiten im frühen Kosmos, beobachtet in den minimalen Temperaturschwankungen von weniger als einem hunderttausendstel Grad in der kosmischen Hintergrundstrahlung, über kosmische Zeiten dann Planetensysteme, Sterne, Galaxien und Galaxienhaufen und die spinnennetzartige großräumige Verteilung von Galaxien, das so genannte cosmic web, herausgebildet haben. Der Forschungsschwerpunkt „Extragalaktische Astrophysik“

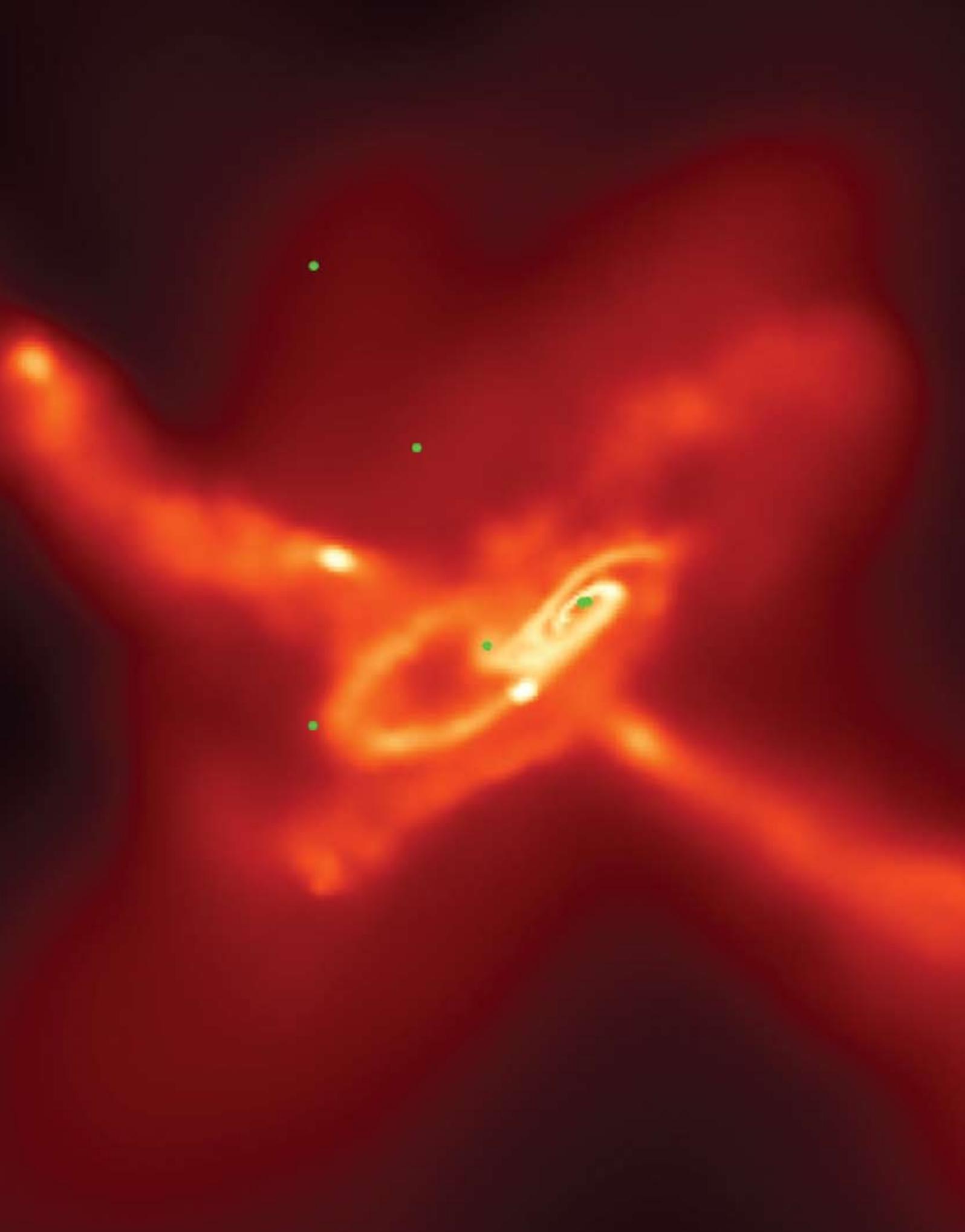
beteiligt sich maßgeblich an dieser internationalen Entwicklung mit verschiedenen Projekten in der beobachtenden wie theoretischen Astrophysik. Dabei zeichnet sich der Forschungsschwerpunkt dadurch aus, dass er einen ganzheitlichen Zugang zu diesem Themenkomplex verfolgt, der das Know-how auf den Gebieten der Sternentstehung, des interstellaren Mediums, der Entstehung und Entwicklung von Galaxien und Quasaren sowie der Kosmologie und der großräumigen Strukturen vereinigt. Die geheimnisvolle dunkle Materie und dunkle Energie spielen dabei eine wesentliche Rolle.



## ***Extragalactic Astrophysics***

*The area of extragalactic astrophysics and cosmology is one of the fastest progressing fields in present day astrophysical research. Its goal is to understand how small inhomogeneities in the early cosmos, manifested in the cosmic microwave background radiation as temperature fluctuations at a level of a one hundred thousandth of a degree, lead to the formation of planetary systems, stars, galaxies and galaxy clusters, all embedded in the filamentary structure of the cosmic web. The research area “extragalactic*

*astrophysics” is participating in the international development of the field with contributions in observational as well as theoretical astrophysics. In particular, the research area attempts an integrated approach that combines know-how in the area of star formation, interstellar medium, formation and evolution of galaxies as well as cosmology and large-scale structure. The mysterious dark matter and dark energy are of particular importance for these investigations.*



Hydrodynamic simulation of star and planet formation.

# Sternentstehung und Interstellares Medium

## *Star Formation and the Interstellar Medium*

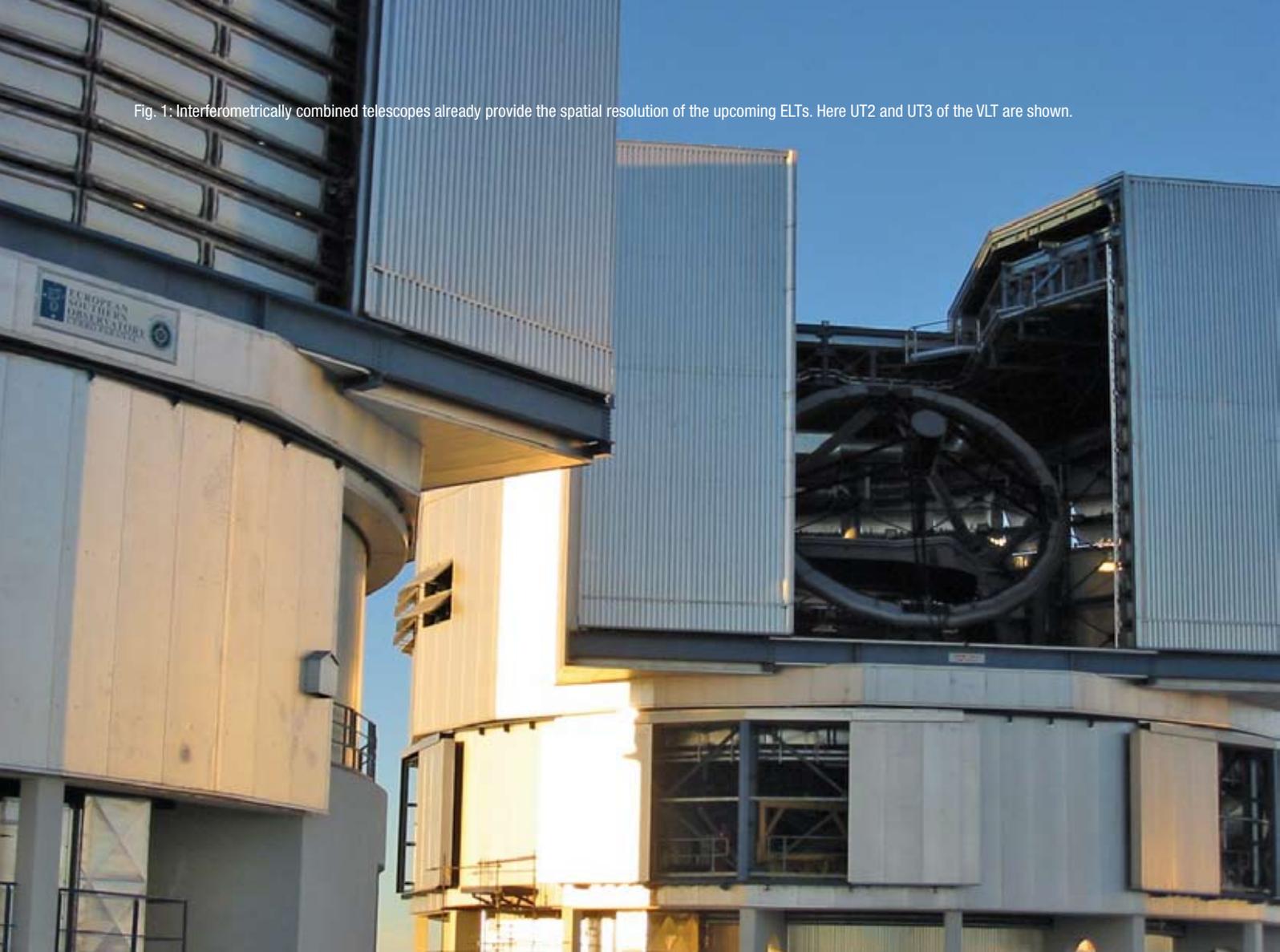


Team 06/07 (alphabet.): Cornelia Biering, Paul Clark, Serge Correia, Dijana Dominis, Simon Glover, Ulfert Hanschur, Anna-Katharina Jappsen, Nina Kharchenko, Spyridon Kitsionas, Ralf Klessen, Gwendolyn Meeus, Robert Piontek, Anatoly Piskunov, Thorsten Ratzka, Jan Ruppert, Stefan Schmeja, Ralf-Dieter Scholz, Jesper Storm, Hans Zinnecker (head)

Langfristige Zielstellung ist es, unser Verständnis für die Bildung von Sternen und Sternhaufen in unserer und in anderen Galaxien zu erweitern und zu vertiefen. Sterne entstehen in interstellaren Wolken aus molekularem Wasserstoffgas durch das komplexe Wechselspiel von Gravitation, Turbulenz und Magnetfeldern. Der lokale Prozess der Sternentstehung muss dabei eingebettet in die globale, dynamische und chemische Entwicklung der Muttergalaxie betrachtet werden. Insgesamt kommt der Bildung von Sternen eine zweifache Bedeutung zu: Zum einen ist sie die Voraussetzung für die Entstehung und Entwicklung von Planeten in zirkumstellaren Scheiben, zum anderen ist sie ein wichtiger Motor und ein Schmelztiegel für das interstellare Medium in den Galaxien.

*The long-term goal of our research is to better understand the formation of stars and stellar systems (star clusters and associations), both in our own and in other galaxies. Stars are formed from interstellar molecular gas clouds in a complex interplay of self-gravitational and magnetic forces with turbulent gas motions. The local process of star formation is embedded in the global (dynamic and chemical) evolution of each parent galaxy. Star formation is a process with a two-fold significance: on the one hand, it is the pre-condition for the formation and evolution of planets in circumstellar disks, on the other hand it is a major motor and melting pot for the interstellar medium in galaxies.*

Fig. 1: Interferometrically combined telescopes already provide the spatial resolution of the upcoming ELTs. Here UT2 and UT3 of the VLT are shown.



Genau genommen studieren wir die Entstehung und Frühphasen von Sternen niedriger und hoher Massen sowie die fundamentalen Eigenschaften dieser jungen Sterne, wie z.B. ihre zirkumstellaren Scheiben oder ihre Doppelsternnatur. Darüber hinaus beschäftigen wir uns auch gezielt mit Sternentstehung im frühen Universum (Wolkenkühlung und Wolkenfragmentation), insbesondere in Abhängigkeit von der chemischen Anreicherung und des Staubgehalts der Wolken (u.a. dem Übergang von Pop III nach Pop II).

## Interferometrische Beobachtungen von Sternwiegen

Zirkumstellare Scheiben sind die Reservoirs, aus denen junge Sterne ihr Material akkretieren und die Orte, an denen größere Staubteilchen wachsen und sich letztendlich zu Planeten zusammenballen. Für ein besseres Verständnis der Stern-, und Planetenentstehung ist deshalb die Erforschung dieser Scheiben von besonderer Bedeutung.

Zu diesem Zweck hat sich eine neue Technik, die sogenannte „Long-Baseline Interferometrie“ als erfolgreich

*In detail, we are studying the formation and early evolution of both low-mass and high-mass stars, including basic properties like circumstellar disks and multiplicity. In addition, we also focus on star formation (cloud cooling and cloud fragmentation) in the early universe, particularly as function of increasing heavy element and dust content (i.e. from Pop III to Pop II).*

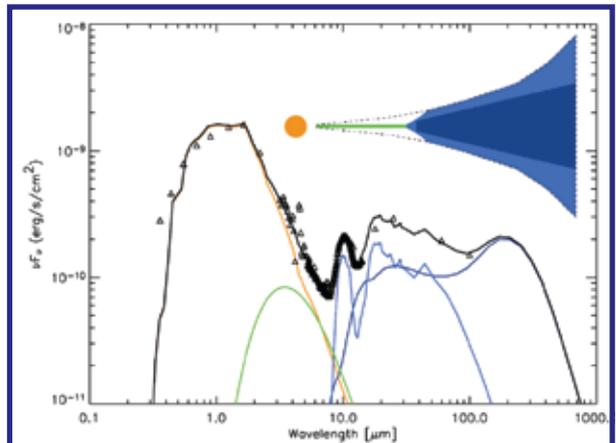


Fig. 2: Components of the TW Hya system and their contributions to the spectral energy distribution (measured values marked by triangles): stellar photosphere (yellow), optically thin inner disk (green), optically thick outer disk (blue) and its atmosphere (light blue). The distance from the star to the transition region between inner and outer disk has been newly determined to be less than 0.8 AU.

erwiesen. Diese Technik kombiniert zwei Teleskope so miteinander, dass nicht länger der Spiegeldurchmesser, sondern der Abstand der beiden Teleskope voneinander das räumliche Auflösungsvermögen bestimmt. Wir benutzen MIDI am VLT Interferometer, um die thermische Emission der warmen Bereiche der Scheiben um massearme junge Sterne räumlich und spektral aufzulösen.

Von besonderem Interesse ist der 10 Mill. Jahre alte Stern TW Hya. Er akkretiert noch immer Material, aber mit einer niedrigen Rate. Photometrische Daten legen nahe, dass die Scheibe bis zu einem Abstand von 4 AE vom Stern ein möglicherweise von einem Planeten verursachtes „Loch“ aufweist. Unter Zuhilfenahme unserer interferometrischen Messungen konnten wir jedoch zeigen, dass der Radius des „Lochs“ kleiner ist und nicht mehr als 0,8 AE beträgt. Ein möglicherweise vorhandener Planet in einem weiten Orbit kann demnach ausgeschlossen werden. Weiterhin zeigen unsere Daten, dass Staubwachstum vor allem im Innenbereich der Scheibe stattfand.

## Multiplizität bei T Tauri Sternen: Häufigkeiten und Sterneigenschaften

Weite visuelle Vorhauptreihen (VHR)-Doppelsterne wurden mit Hilfe adaptiver Optik (NACO) am VLT auf Multiplizität höherer Ordnung untersucht. Die Stichprobe bestand aus 58 weiten VHR-Doppelsternen in verschiedenen Sternentstehungsgebieten, darunter 52 T Tauri Systeme, meist mit Primärkomponenten der Spektraltypen K und M. Von diesen 52 Systemen stellten sich 7 als Dreifachsysteme (2 neue) und 7 weitere als Vierfachsysteme (1 neues, s. Abb. 3) heraus. Diese Ergebnisse sind die Grundlage für eine neue Statistik der Multiplizität höherer Ordnung unter jungen Sternen und erlauben letztendlich strenge Randbedingungen für Modelle der Entstehung von Mehrfachsternsystemen zu setzen.

### Interferometric Observations of Stellar Cradles

*Circumstellar disks are the reservoirs from which young stars accrete material and the sites where dust particles grow, and ultimately planets can form. Research into circumstellar disks is thus essential for a better understanding of star and planet formation.*

*For this purpose, a new technique called “long baseline interferometry” has proven to be successful.*

*This technique combines two telescopes in such a way that it is no longer the diameter of the main mirror, but the distance between the two telescopes that determines the spatial resolution. We use MIDI at the VLT Interferometer to spatially and spectrally resolve the thermal dust emission from the warm inner parts of the disks around young low-mass stars.*

*Of special interest is the 10 million year-old star TW Hya. It still accretes matter, but at a low rate. Photometric data of the system suggest that the inner parts of the disk, up to 4 AU from the central star have been cleared out, potentially by a*

*planet. By taking our interferometric data into account, we showed that the radius of the hole is much smaller, only up to 0.8 AU, so that a potential planet in a wide orbit can be excluded. Our data also show that dust evolution took place in the inner parts of the disk.*

### High-order multiplicity among T Tauri stars: frequencies and stellar properties

*We conducted a systematic search for high-order multiplicity among wide visual pre-main sequence (PMS) binaries using the adaptive optics system NACO at the VLT. The sample, comprising 58 PMS wide binaries from various star-forming regions, includes 52 T Tauri systems, mostly with K and M spectral-type primaries. Of these 52 systems, 7 are found to be triple (2 new) and 7 quadruple (1 new, see Fig. 3). These results allow us to derive meaningful high-order multiplicity statistics among young stars and ultimately place strong constraints on models of multiple star formation.*

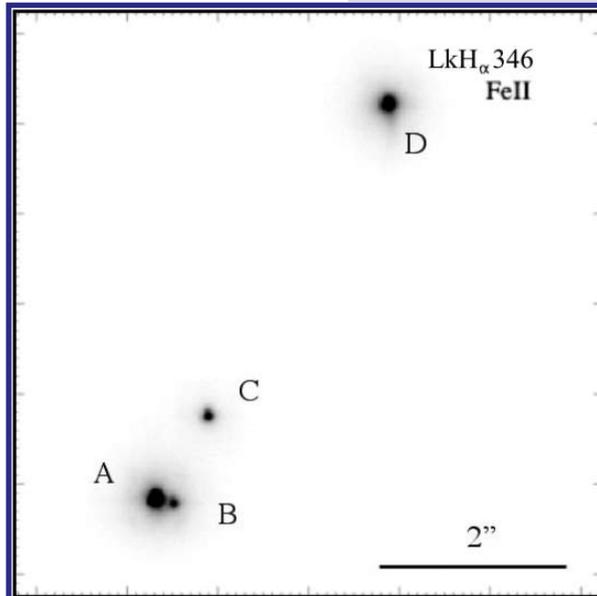


Fig. 3: VLT-NACO image of the candidate young quadruple system LkHa 346 in the B59 molecular cloud at ~160 pc observed through the [FeII] narrow-band filter at 1.64  $\mu\text{m}$ . The system is composed of 2 new candidate companions: component B is located ~0.2 arcsec from the K7 primary while component C lies projected between the primary and the M5 type component D. With flux ratios of ~0.3 with respect to the latter component, both might well be substellar.

## Die zweiten Sterne

Numerische Simulationen haben gezeigt, dass die ersten im Universum entstandenen Sterne sehr massiv waren, mit typischen Massen zwischen 10 und 100 Sonnenmassen. Beobachtungen alter Sterne im Galaktischen Halo zeigen aber, dass in späteren Perioden der Sternentstehung Sterne mit kleineren Massen (vergleichbar mit der Sonnenmasse) gebildet wurden. Es wird angenommen, dass diese Veränderung durch die Verschmutzung des sternformenden Gases mit schweren Elementen („Metallen“) und Staub verursacht wurde, die von den ersten Supernovae herrührt. Zwei verschiedene Szenarien werden diskutiert: Zum einen ist es die zusätzliche Kühlung durch atomare Feinstrukturlinien, die eine Fragmentierung des Gases und die Bildung massearmer Sterne erlaubt. Zum anderen wird diese Funktion vom Staub übernommen.

In den letzten Jahren haben wir beide Szenarien mit Hilfe von hochaufgelösten hydrodynamischen (SPH) Simulationen studiert. Die Rolle der Feinstruktur-Kühlung bleibt trotz unserer eingehenden Untersuchungen unklar. Unter bestimmten Bedingungen kann sie die Fragmentierung fördern, bei anderen bleibt sie ineffektiv. Um ihre Rolle besser zu verstehen, müssen wir zuerst ein besseres Verständnis der Einwirkung der ersten Sterne auf ihre lokale Umgebung entwickeln. Andererseits ist die Wichtigkeit der Staubkühlung klar erwiesen (Abb. 4). Unsere Ergebnisse zeigen, wie effektiv diese die Entstehung von kompakten Protosternhaufen ermöglicht, sogar wenn relativ wenig Staub im Gas enthalten ist.

## Massenbestimmung für nahe offene Sternhaufen

Die kombinierte astrometrische/photometrische Analyse der Zugehörigkeit der Sterne zu 650 offenen Sternhaufen, die im globalen Katalog ASCC-2.5 detektiert wurden, erlaubte die Untersuchung der radialen stellaren Dichteverteilung bei 236 Haufen innerhalb einiger Kiloparsec von der Sonne. Die Haufenmassen wurden aus den Gezeitenradien abgeleitet, die durch Anpassung von 3-Parameter King-Profilen an die beobachtete integrierte Dichteverteilung ermittelt wurden (Abb. 5). Dabei wurden verschiedene Stichproben von Mitgliedern verwendet. Die Kern- und Gezeitenradien liegen typischerweise bei etwa 1,5 pc bzw. 7-10 pc. Während der Kernradius mit einem typischen relativen Fehler zwischen 15% und 50% bestimmt wurde, lag der Wert für die Gezeitenradien meist unter 20%. Die Haufen enthalten typischerweise zwischen 50 und 1.000 Sonnenmassen. Die Haufenmassen wurden in der Hälfte der Fälle mit einem relativen Fehler von unter 50% ermittelt. Diese Massenbestimmungen können benutzt werden, um die Verteilungsfunktion der Haufenmassen abzuleiten (bzw.

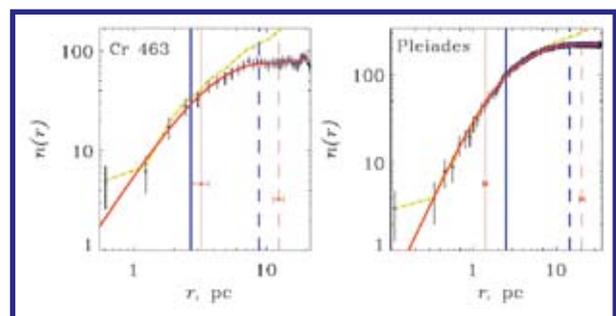
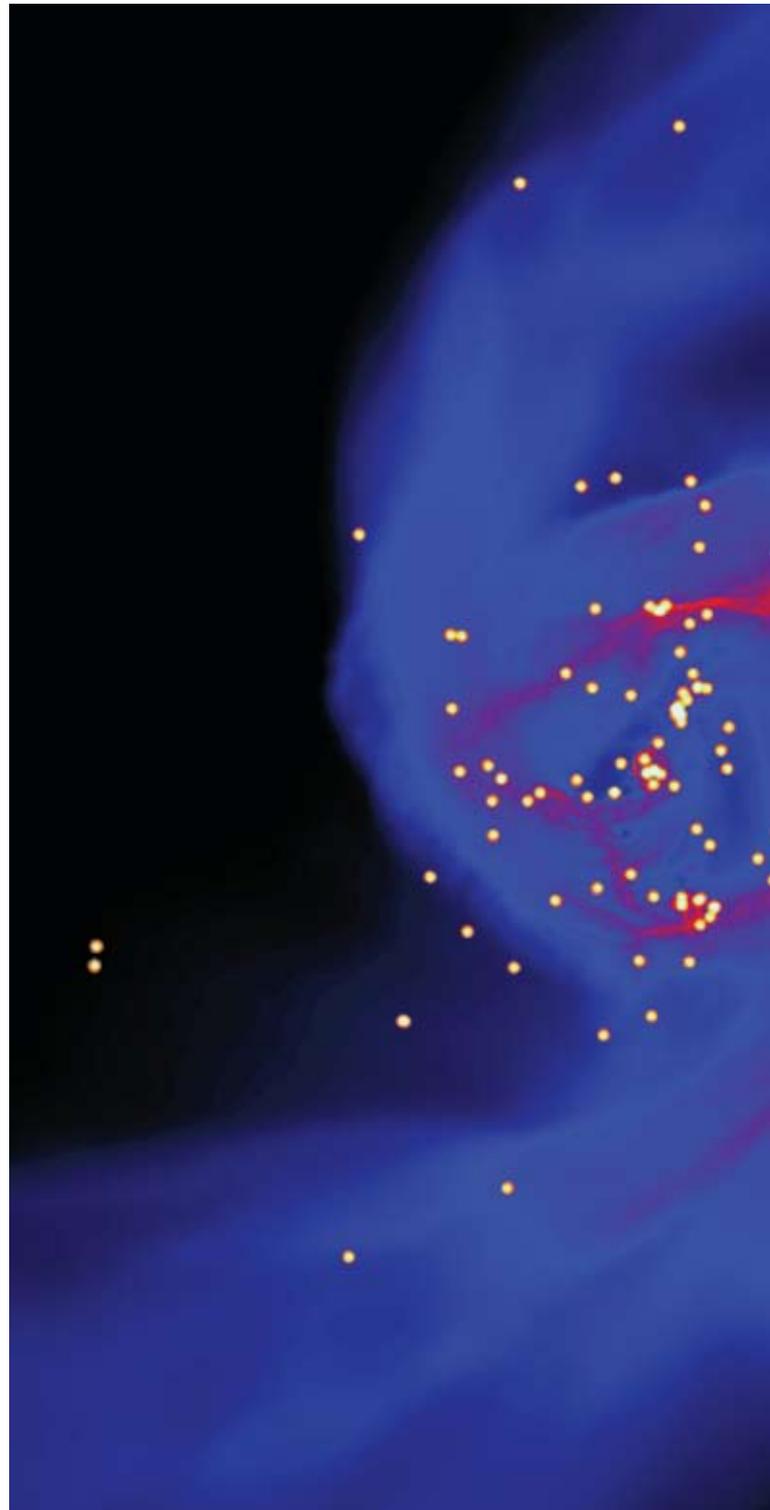


Fig. 5: Open clusters radial profiles. The crosses show the data corrected for the background. The solid curve is the fitted King profile, the dotted curve (yellow) is the total profile not corrected for background. The vertical lines indicate the derived radii. The solid lines show core radii, the dashed lines tidal radii (empirical parameters with blue colour, fitted data in red).

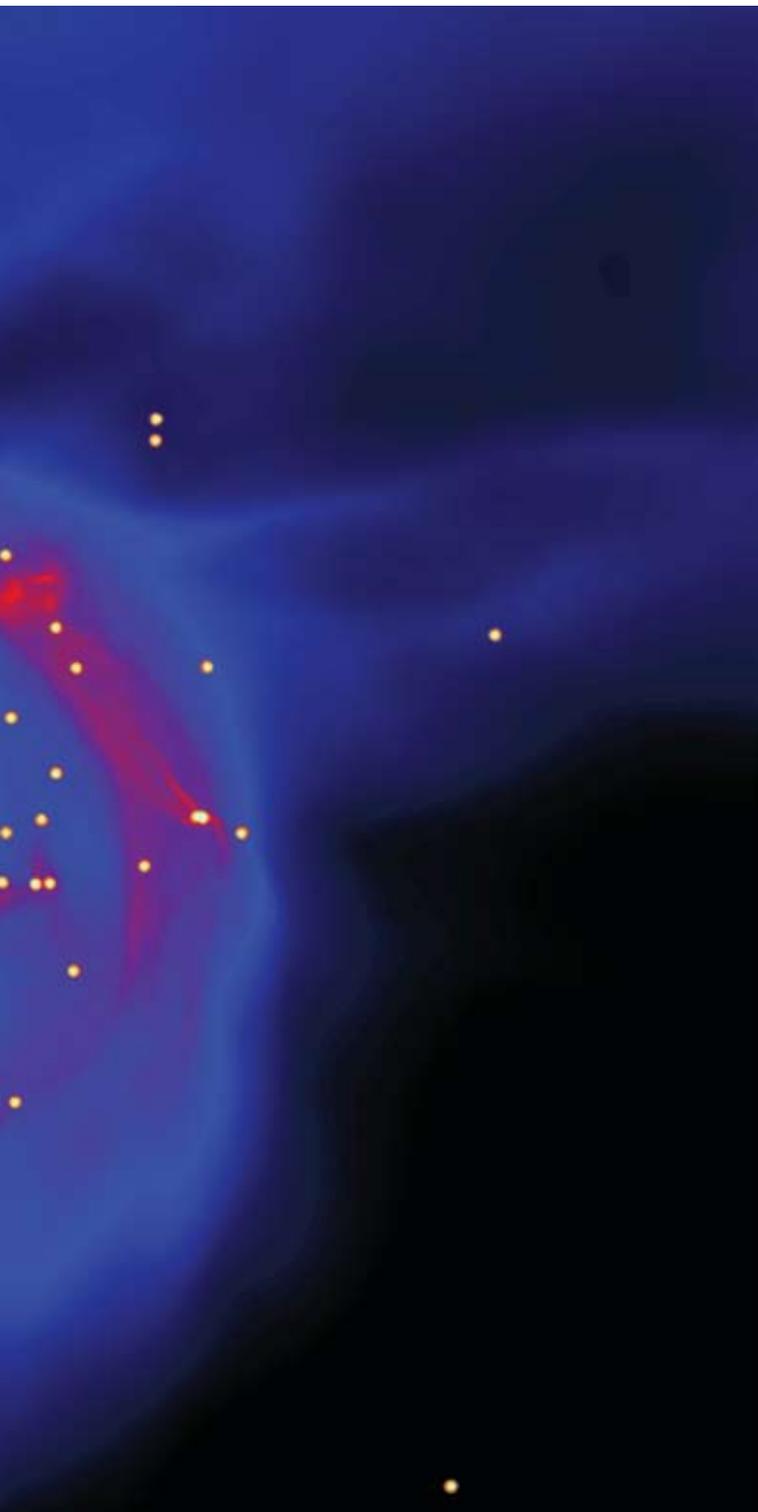


Fig. 4: A snapshot from a smoothed particle hydrodynamical simulation of the effects of dust cooling in metal-poor gas, 420 years after the formation of the first star. Each yellow dot is a protostar.

die Massenfunktion derjenigen Haufen, die jünger als ein bestimmtes Alter sind). Dabei ist es wichtig, Korrekturen bzgl. der Vollständigkeit der Stichprobe anzubringen. Wir finden, dass die Massenfunktion ( $dN/dM$ ) offener Sternhaufen mittlerer und hoher Massen bei deren Geburt einem Potenzgesetz mit einem Exponenten von ungefähr  $-1,7$  folgt.

### The second stars

Numerical simulations have shown that the first stars to form in the Universe were very massive, with typical masses 10-100 times greater than the mass of the Sun. However, we know from observations of old stars in the Galactic halo that subsequent periods of star formation produced much smaller stars, with typical masses comparable to that of the Sun. It is theorized that this change occurs as a result of the pollution of the star-forming gas with heavy elements ("metals") and dust produced by the first supernovae. Two different scenarios have been proposed. In one, it is the additional cooling provided by atomic fine-structure lines that allows the gas to fragment and to form low-mass stars. In the other, this role is played by the dust.

Over the past few years, we have studied both of these scenarios with the aid of high-resolution hydrodynamical (SPH) simulations. Despite our best efforts, the importance of fine-structure cooling remains unclear: we find that in some circumstances it can promote fragmentation, but in others it is ineffective. To properly understand its role, we must first develop a much better understanding of the effects of the first stars on their local environment. On the other hand, the importance of dust cooling is clear: our results show it to be highly effective, enabling the formation of dense clusters of protostars even when the amount of dust present in the gas is very small.

### Mass determination for nearby open clusters

Based on a combined astrometric and photometric membership analysis of 650 open clusters detected in the all-sky catalogue ASCC-2.5, we have investigated the radial stellar density profile for 236 open clusters within a few kiloparsecs around the Sun. For each cluster, the mass was estimated from the tidal radius determined from a fitting of three-parameter King profiles to the observed integrated density distribution (Fig. 5). Different samples of members were investigated. The distributions of the determined core and tidal radii peak at about 1.5 pc and 7-10 pc, respectively. A typical relative error of the core radius lies between 15% and 50%, whereas, for the majority of clusters, the tidal radius was determined with a relative accuracy better than 20%. Most of the clusters have tidal masses between 50 and 1,000 solar masses, and for about half of the clusters, the masses were obtained with a relative error better than 50%. The determined masses can be used to derive the distribution of the cluster masses (the mass distribution of clusters younger than a certain age, respectively). For that purpose it is essential to correct the results for completeness. We find that the initial mass function ( $dN/dM$ )

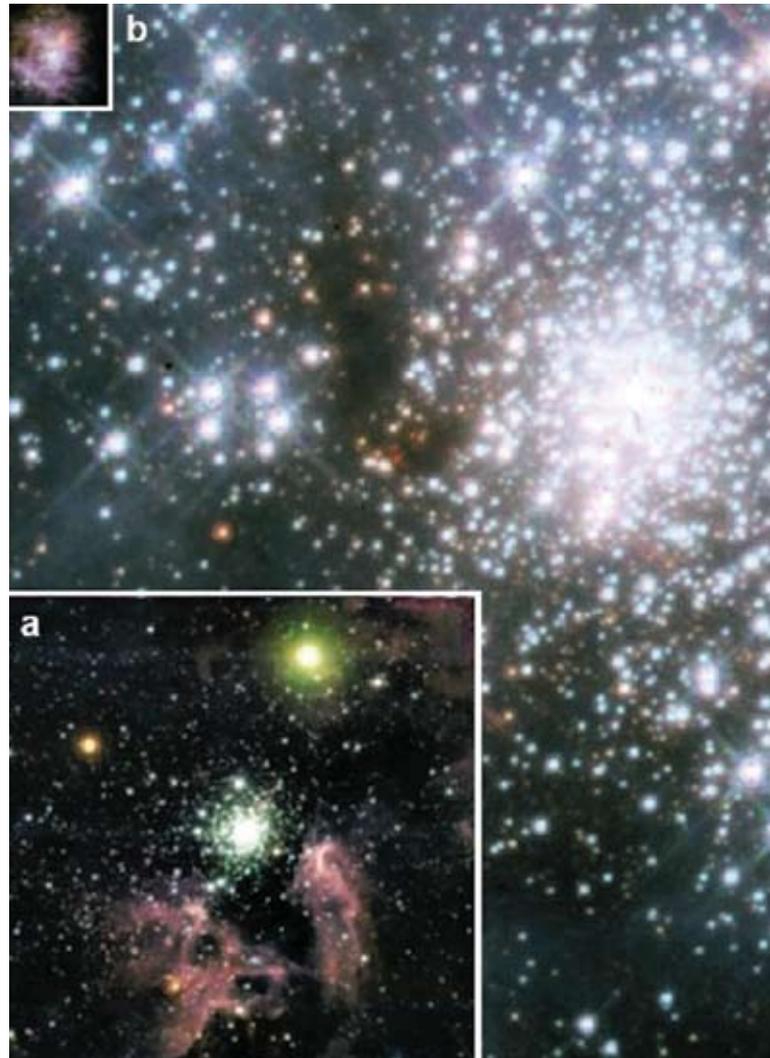
## Zur Bildung von Sternen der Superschwerkgewichtsklasse

Massereiche Sterne mit Massen über ca. 10 Sonnenmassen spielen eine fundamentale Rolle in der Astrophysik (z.B. als Vorläufer von Supernova-Explosionen). Aber die Prozesse, die zur Entstehung dieser Sterne führen, sind noch nicht ausreichend verstanden. Das liegt daran, dass diese Objekte nur schwer beobachtbar sind, da sie sich in relativ großer Entfernung befinden, stark in Staubwolken eingebettet und verdunkelt sind, und außerdem ihre Entwicklungszeiten astronomisch kurz sind (wenige Millionen Jahre). Diese Schwierigkeiten in der Beobachtung bringen es mit sich, dass theoretische Szenarien nicht leicht zu testen sind. Es gibt drei verschiedene Modelle zur Bildung massereicher Sterne:

- (1) gravitativer Kollaps eines einzelnen dichten und massereichen Wolkenkerns zu einem massereichen Stern (ohne Fragmentation)
- (2) Gasakkretion auf besonders bevorzugte, zentrale Protosterne, die im Wettbewerb mit anderen Protosterne in einem Haufen stehen
- (3) Zusammenstöße von Sternen niedrigerer Massen und deren Verschmelzung zu Sternen höherer Massen (in besonders dichten Haufen)

Wir haben die Vorhersagen dieser Theorien mit relevanten Beobachtungen verglichen (u.a. Ausflusseigenschaften, Eigenschaften von Mehrfachsystemen, Ballungseigenschaften der Sterne sowie Massenverteilungsfunktion und obere Massengrenze) und kommen zu dem Schluss, dass alle drei obigen Modelle in der Natur vorkommen, allerdings bevorzugt das Modell (2), d. h. Akkretion im Wettbewerb in einem Protosternhaufen; Modell (1) und (3) sind hingegen eher die Ausnahme als die Regel.

Wir schlussfolgern außerdem, dass massereiche Sternentstehung keine einfach skalierbare Variante von massearmer Sternentstehung darstellt, sondern neue Eigenschaften aufweist, wie z.B. Strahlungsdruck (Strahlungsbeschleunigung) auf Gas und Staub, was einerseits zu einer negativen Rückwirkung (Behinderung des eigenen Kollapsprozesses) aber andererseits zu einer positiven Rückwirkung (druckinduzierter Kollaps von anderen benachbarten Protosterne in der HII-Region im Protosternhaufen) führt.



*of intermediate and high mass open clusters follows a power law with an exponent of about -1.7.*

### **On the formation of high-mass stars**

*High-mass stars, with masses above some 10 solar masses, are fundamental for astrophysics (e.g., as progenitors of supernovae explosions), yet the processes that produce such massive stars are not well understood. Large distances, high extinction, and short time scales of critical evolutionary phases (a few million years) make observations of these processes challenging. Lacking good observational guidance, theoretical models have remained controversial. There are three competing concepts of high-mass star formation:*

- (1) monolithic gravitational collapse in isolated cores*
- (2) competitive accretion in a protocluster environment*
- (3) stellar collisions and mergers in very dense clusters*

*We also reviewed the observed outflows, multiplicity, and clustering properties of massive stars, the upper initial mass function and the upper mass limit – in an attempt to confront theory with observations.*



We conclude that all of the above concepts may apply in nature; predominantly “competitive accretion”, while “monolithic collapse” and “stellar mergers” may be more the exception than the rule.

We also conclude that high-mass star formation is not merely a scaled-up version of low-mass star formation with higher accretion rates, but that it is a mechanism with its own new elements, particularly radiation pressure (radiative acceleration on gas and dust) causing both a negative feedback (reduced collapse and accretion of a massive protostar) and a positive feedback (pressure induced, enhanced collapse and accretion of neighboring low-mass protostars in the HII region protocluster).

Fig. 7: The young massive cluster R136 in the Large Magellanic Cloud (LMC) together with Orion Trapezium cluster and NGC3603 cluster in the top and bottom corner (to scale, i.e. displaced to the same distance, here to LMC).

#### Ausgewählte Publikationen Selected Publications

Beaulieu, J.-P., Bennett, D.P., Fouqué, P., ..., Dominis, D., et al. (2006): **Discovery of a cool planet of 5.5 Earth masses through gravitational microlensing**, *Nature*, 439, 437

Correia, S., Zinnecker, H., Ratzka, Th., Sterzik, M.F. (2006): **A VLT/NACO survey for triple and quadruple systems among visual pre-main sequence binaries**, *Astronomy & Astrophysics*, 459, 909

Fouqué, P., Arriagada, P., Storm, J., et al. (2007): **A new calibration of Galactic Cepheid Period-Luminosity relations from B to K bands, and a comparison to LMC PL relations**, *Astronomy & Astrophysics*, 476, 73

Glover, S. C. O., Mac Low, M.-M. (2007): **Simulating the Formation of Molecular Clouds. II. Rapid Formation from Turbulent Initial Conditions**, *Astrophysical Journal*, 659, 1317

Jappsen, A.-K., Glover, S. C. O., Klessen, R. S., Mac Low, M.-M. (2007): **Star Formation at Very Low Metal-**

**licity. II. On the Insignificance of Metal-Line Cooling During the Early Stages of Gravitational Collapse**, *Astrophysical Journal*, 660, 1332

Kharchenko, N.V., Scholz, R.-D., Piskunov, A.E., Röser, S., Schilbach, E. (2007): **Astrophysical supplements to the ASCC-2.5: Ia. Radial velocities of 55,000 stars and mean radial velocities of 516 Galactic open clusters and associations**, *Astronomische Nachrichten*, 328, 889

Kitsionas, S. & Whitworth, A.P. (2007): **High-resolution simulations of clump-clump collisions using SPH with particle splitting**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 378, 507

Klessen, R.S., Spaans, M., Jappsen, A.-K. (2007): **The stellar mass spectrum in warm and dusty gas: deviations from Salpeter in the Galactic centre and in circumnuclear starburst regions**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 374, L29

Piontek, R.A. & Ostriker, E.C. (2007): **Models of Vertically Stratified Two-Phase ISM Disks with MRI-Driven Turbulence**, *Astrophysical Journal*, 663, 183

Piskunov, A.E., Kharchenko, N.V., Röser, S., Schilbach, E., Scholz, R.-D. (2006): **Revisiting the population of Galactic open clusters**, *Astronomy & Astrophysics*, 445, 545

Preibisch, Th. & Zinnecker, H. (2007): **Sequentially triggered star formation in OB associations**, *Proceedings IAU Symp. 237*, Cambridge University Press, p. 270

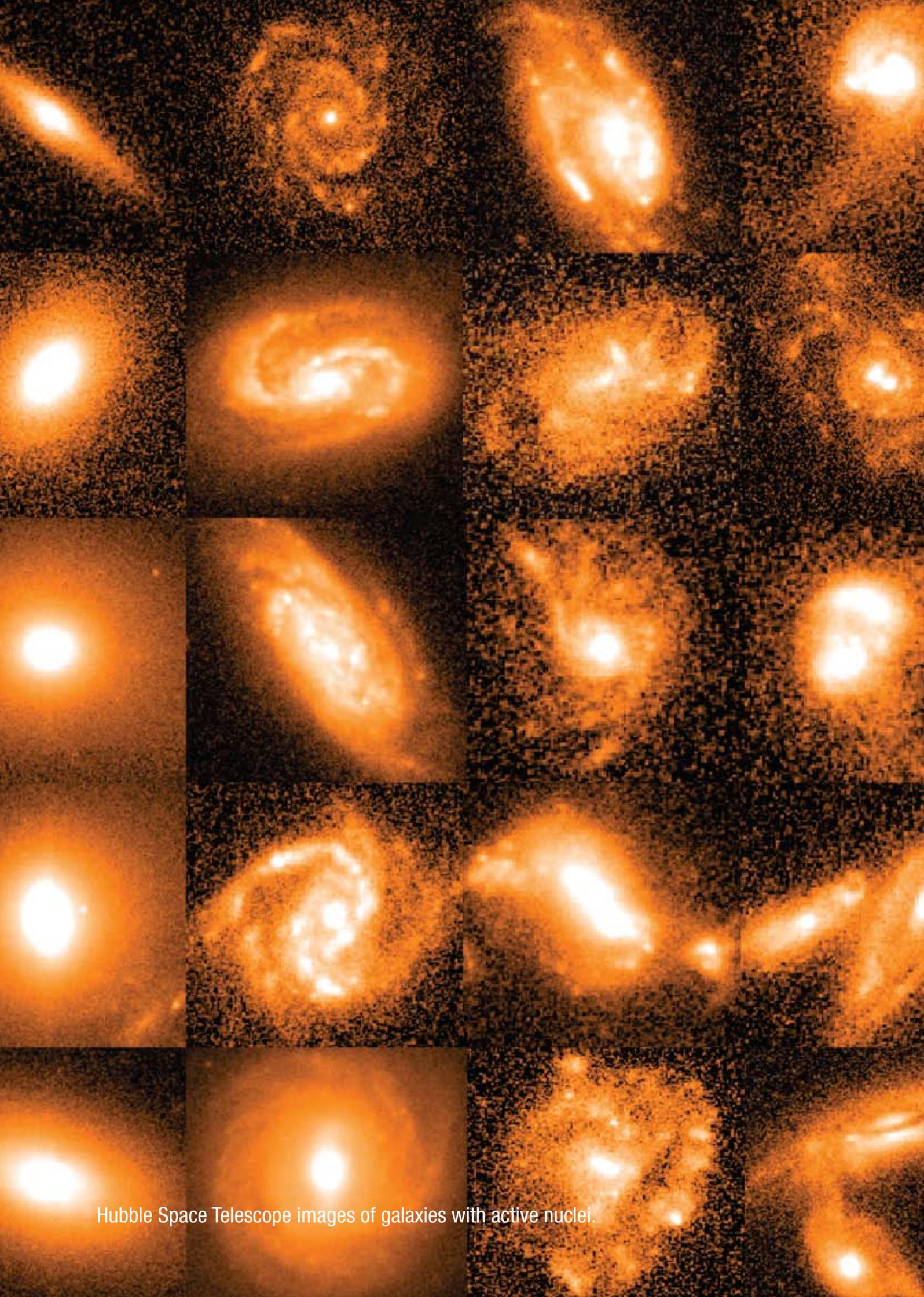
Ratzka, T., Leinert, C., Henning, T., et al. (2007): **High spatial resolution mid-infrared observations of the low-mass young star TW Hydrae**, *Astronomy & Astrophysics*, 471, 173

Schmeja, S. & Klessen, R.S. (2006): **Evolving structures of star-forming clusters**, *Astronomy & Astrophysics*, 449, 151

Scholz, A., Jayawardhana, R., Wood, K., Meeus, G., et al. (2007): **Evolution of Brown Dwarf Disks? A Spitzer Survey in Upper Scorpius**, *Astrophysical Journal*, 660, 1517

Tamanai, A., Mutschke, H., Blum, J., Meeus, G. (2006): **The 10  $\mu$ m Infrared Band of Silicate Dust: A Laboratory Study Comparing the Aerosol and KBr Pellet Techniques**, *Astrophysical Journal*, 648, 147

Zinnecker, H. & Yorke, H.W. (2007): **Toward Understanding Massive Star Formation**, *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, 45, 481



Hubble Space Telescope images of galaxies with active nuclei.

# Galaxien und Quasare *Galaxies and Quasars*



Team 06/07 (alphabet.): Borja Anguiano, Corrado Boeche, Asmus Böhm, Lachlan Campbell, Rachel Campbell, Andrea Cattaneo, Aldo Dall'Aglio, Daria Dubinovska, Isabelle Gavignaud, Matthias Hoeft, Bernd Husemann, Sebastian Kamann, Alexander Knebe, Jan Kohnert, Mirko Krumpke, Georg Lamer, Natasha Maddox, Mirko Meißner, Matthias Müller, Ada Nebot, Franziska Piontek, Pierre Ocvirk, Robert Piontek, Malte Schramm, Andreas Schulze, Robert Schwarz, Axel Schwoppe, Matthias Steinmetz, Lionel Veltz, Justus Vogel, Kristin Warnick, Mary Williams, Lutz Wisotzki (head), Gabor Wörseck

Galaxien sind hochkomplexe Systeme aus Sternen, Gas und weiteren Bestandteilen (vor allem der mysteriösen „Dunklen Materie“). Die Untersuchung ihrer Entstehung in der Frühphase des Kosmos und ihre nachfolgende Entwicklung bis hin zu der heute beobachteten Formen- und Farbenvielfalt stellen eines der zentralen Forschungsfelder der modernen Astrophysik dar. Warum gibt es eine so deutliche Zweiteilung in elliptische und scheibenförmige Galaxien? Ist der Typ einer Galaxie mit ihrer Entstehung festgelegt, oder kann sie ihren Charakter verändern? Welchen Einfluss hat die Umgebung, also die Existenz oder die Abwesenheit anderer nahegelegener Galaxien, auf die Entwicklung? Und welche Rolle spielen die massereichen schwarzen Löcher, die inzwischen im Zentrum von fast jeder größeren Galaxie vermutet werden?

Es ist inzwischen klar, dass Galaxien sich gegenseitig stark beeinflussen. Gezeitenkräfte können vormals symmetrische Systeme verformen oder sogar zerreißen. Immer wieder kommt es zu Kollisionen zwischen Gala-

*Galaxies are complex systems made of stars, gas, and other components (such as the mysterious “Dark Matter”). Understanding the formation of galaxies in the early universe, and their subsequent evolution into the multitude of forms and colors that we observe today, are two of the central challenges of modern astrophysics. Why are galaxies so clearly divided into elliptical and disc-like systems? Are galaxy types fixed from their formation time onwards, or can they change in character? How does the environment, i.e., the presence or absence of other galaxies nearby, influence the evolution of galaxies? And what is the role of the massive black holes that are now known to exist in the nucleus of virtually every large galaxy?*

*It has become clear that galaxies interact with each other in several ways. Tidal forces can distort previously symmetric systems, or even disrupt them altogether. Collisions between galaxies can lead them to merge, and form ever larger systems. In these events, galaxies can also be transformed from one type into*

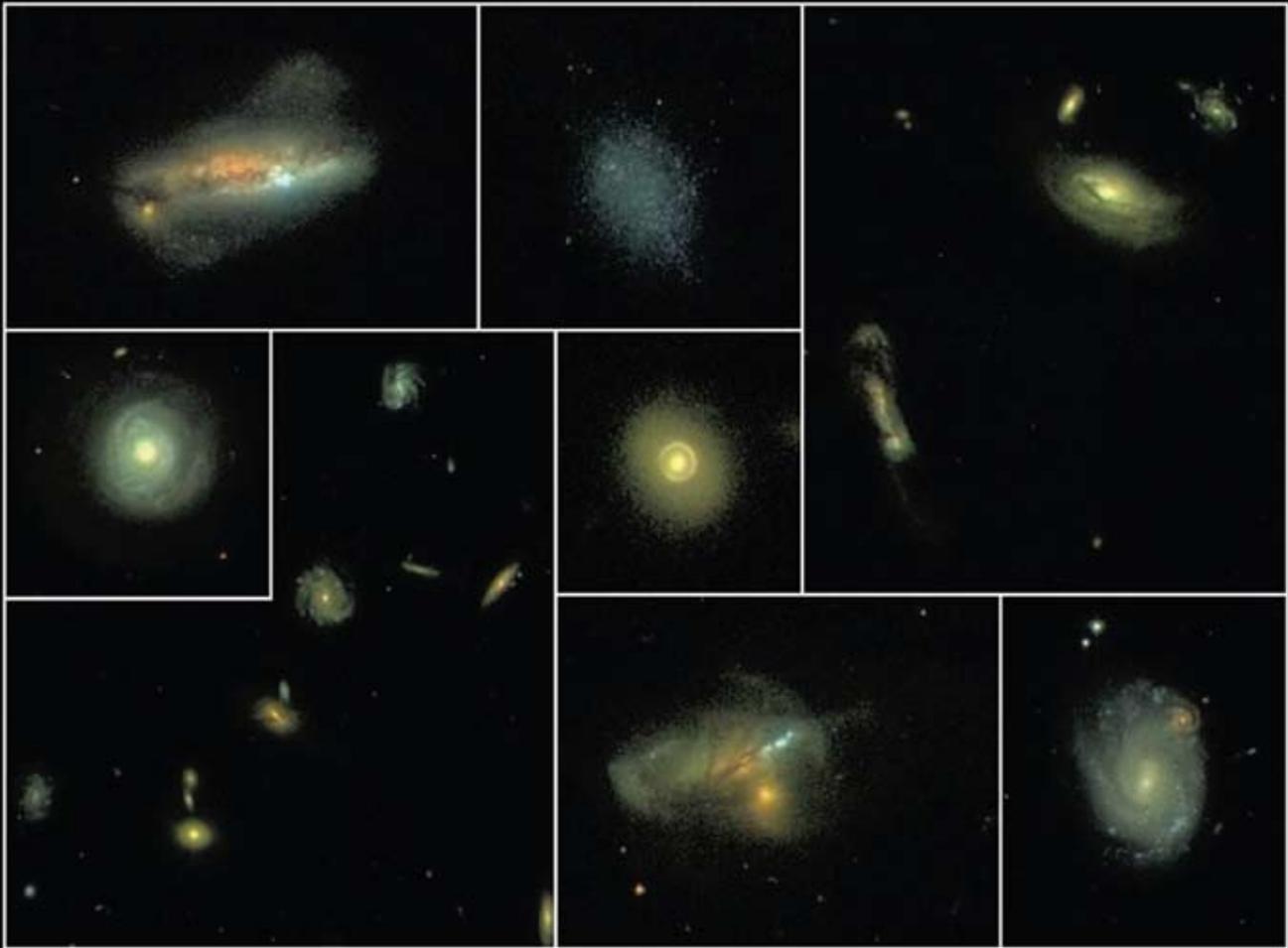


Fig. 1: Mosaic of unusual galaxies found in the wide-field STAGES survey, using the Hubble Space Telescope. AIP is involved within STAGES in studying the quasars and active galaxies. Notice the almost perfect Einstein ring in the central panel, originating from a foreground galaxy acting as gravitational lens on a background galaxy.

xien, in deren Folge eine Verschmelzung zu immer größeren Systemen stattfindet, wobei auch Umwandlungen zwischen verschiedenen Galaxientypen auftreten. Diese Vorgänge können wir als „Schnappschüsse“ mit internationalen Großteleskopen beobachten, aber auch durch numerische Simulationen im Computer quasi im Zeitraffer nachstellen. Die Grenzen zum Forschungsgebiet der Kosmologie sind dabei zunehmend fließend, da die Entstehung und Entwicklung von Galaxien nur im kosmologischen Kontext verstanden werden können.

Eine herausragende Bedeutung für die Galaxienforschung kommt der Milchstraße und ihren nahen Begleitern zu, die wir als einzige Sternsysteme im Detail, Stern für Stern, untersuchen können. Großangelegte spektroskopische und astrometrische Durchmusterungen liefern uns quasi „archäologische“ Einblicke in die Vergangenheit des Milchstraßensystems und seine Entstehungsgeschichte.

Oft sind die gleichen Daten sowohl zur Untersuchung der Vorgänge in Sternen als auch zur Charakterisierung stellarer Populationen des Milchstraßensystems verwendbar. Auch hier gibt es also einen fließenden Übergang zwischen den Forschungsgebieten; die Erforschung der Milchstraße stellt geradezu eine Brücke zwischen Sternphysik und Kosmologie dar.

*another. We observe all of these phenomena as static “snapshots” taken with large telescopes, but we can also study them dynamically by running computer simulations. Notably, the distinction between galactic and cosmological research becomes more and more blurred, because the formation and evolution of galaxies can only be understood within a cosmological context.*

*Of prime importance is our own Milky Way Galaxy and its closest neighbors, the only stellar systems near enough to observe in detail, star by star. Large-scale spectroscopic and astrometric surveys provide us with “archaeological” insights into the formation history of the Milky Way.*

*Frequently, the same data can be used to study the physical processes in stars or to characterise global stellar populations in the Milky Way Galaxy. Again, the borders between disciplines disappear, with the detailed investigation of the Milky Way forming a bridge between stellar physics and cosmology.*

**How fast do Black Holes grow?**

*Every large galaxy has a black hole at its centre, with a mass of  $10^6$  to  $10^9$  times the mass of the Sun. When matter falls into such a black hole (this is called accre-*

## Wie schnell wachsen schwarze Löcher?

Jede größere Galaxie besitzt im Zentrum ein schwarzes Loch mit dem  $10^6$ - $10^9$ -fachen der Masse der Sonne. Wenn Materie in ein solches schwarzes Loch hineinfällt (akkretiert wird), wird die Umgebung des schwarzen Lochs aufgeheizt und strahlt, das System wird zu einem „aktiven Galaxienkern“ oder „Quasar“. Ein Großteil der Masse in den uns bekannten schwarzen Löchern in Galaxien ist vermutlich durch Akkretion in solchen kernaktiven Phasen aufgebaut worden. Wir haben eine große Zahl von Spektren und Satellitenbeobachtungen von aktiven Galaxien ausgewertet und daraus die Massen der schwarzen Löcher und die Verteilungsfunktionen von Massen und Akkretionsraten bestimmt. Während leuchtkräftige Quasare fast durchweg Wachstumsraten aufweisen, die nahe am theoretischen Maximum liegen, fanden wir bei leuchtschwachen aktiven Galaxienkernen, dass sich die Massen der schwarzen Löcher nicht wesentlich unterscheiden, dass aber die Akkretionsraten deutlich kleiner sind. Wir interpretieren diesen Trend als Hinweis auf Alterungseffekte, also ein langsames Abfallen der Akkretions- und Wachstumsraten im Laufe des Übergangs von „aktiven“ zu „inaktiven“ Galaxienkernen.

## Kernaktive Galaxien: Fast normal?

Nur ein kleiner Bruchteil aller Galaxien zeigt Phänomene, die mit dem Sammelbegriff „Kernaktivität“ umschrieben werden. Dazu gehören ungewöhnliche Emissionslinienspektren, Helligkeitsvariationen, und insbesondere Röntgenstrahlung. Aber wie kommt es überhaupt dazu, dass einzelne Galaxien kernaktiv sind? Gibt es auslösende

*tion), the environment of the black hole is heated and starts radiating brightly. The system becomes an “Active Galactic Nucleus” or “quasar”. Most of the mass locked up in galactic black holes was probably accumulated by accretion, during these phases of nuclear activity (which therefore all massive galaxies must have undergone). We have examined a large number of spectra and satellite photometry observations of active galaxies to determine their black hole masses and the distributions of masses and accretion rates. While highly luminous quasars nearly always show growth rates close to the theoretical maximum, we found that low luminosity Active Galactic Nuclei have black hole masses similar to those with high luminosities, but substantially lower accretion rates. We interpret this trend as an indication of aging, where accretion and growth rates slowly decay as galactic nuclei evolve from active to inactive states.*

### **Galaxies with active nuclei: Nearly normal?**

*Only a small fraction of galaxies shows phenomena that can be encompassed by the umbrella term “nuclear activity”. These phenomena include unusual emission line spectra, temporal brightness variations, and in particular, X-ray emission. But why are some galaxies active, while others are not? Is it that certain trigger events are necessary, such as collisions between two galaxies? Are different types of Active Galactic Nuclei related to different trigger mechanisms, or do they simply reflect various evolutionary phases? These questions have been asked for many years and are still unanswered. To address them we are working with some of the largest mosaic exposures ever taken with the Hubble Space Telescope.*

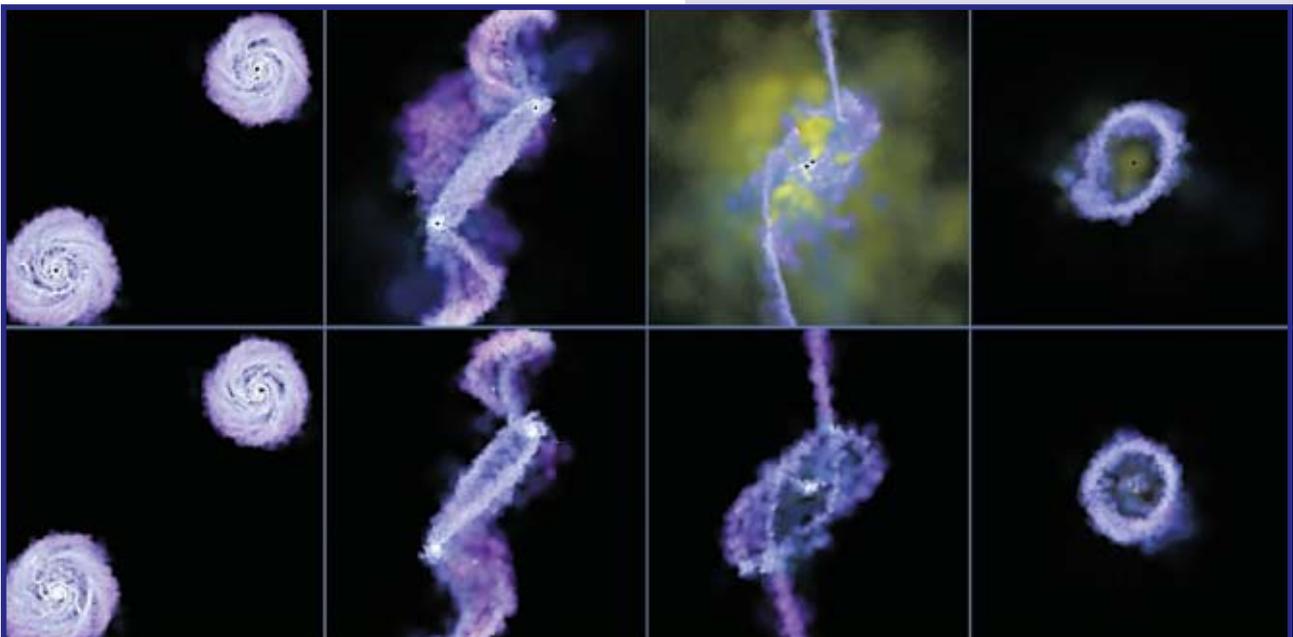


Fig. 2: Simulation of the collision of two galaxies.

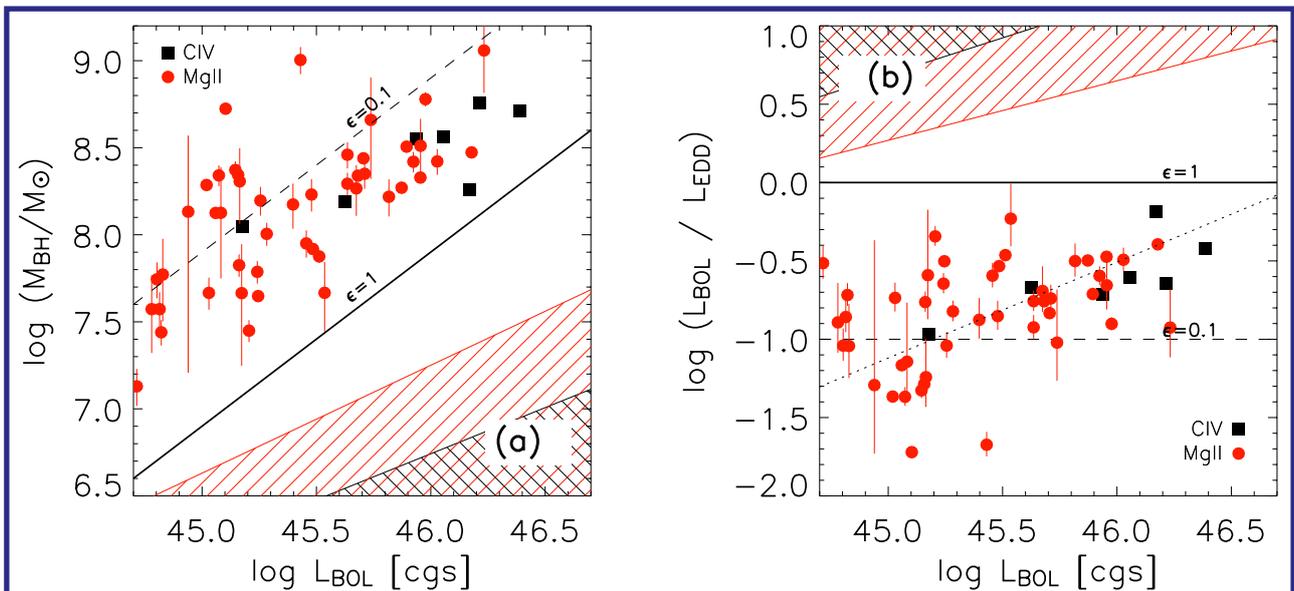


Fig. 3: Black hole masses (left panel, in units of solar masses) and accretion rates (right panel, in units of the maximum accretion rate) of a sample of low-luminosity Active Galactic Nuclei at high redshifts. Note how the mean accretion rate decreases as one goes to fainter luminosities, i.e. from right to left.

Ereignisse, z.B. Zusammenstöße zweier Galaxien, oder deren Verschmelzung? Sind verschiedene Typen von aktiven Galaxienkernen mit unterschiedlichen Auslösemechanismen verknüpft, oder geben sie unterschiedliche Phasen der Entwicklung wieder? Diese Fragen sind bis heute unbeantwortet. Wir werten dazu einige der größten Mosaik-Aufnahmen aus, die je mit dem Hubble-Weltraumteleskop aufgenommen wurden.

In diesen Datensätzen finden wir Bilder von mehreren Zehntausenden von Galaxien, deren Licht teilweise aus kosmischen Epochen zu uns gelangt, in der das Universum nur halb so alt war wie heute. Unter diesen haben wir speziell solche Galaxien ausgewählt, die starke Röntgenstrahlung aussenden, also „kernaktiv“ sein müssen (einige Beispiele sind auf Seite 48 gezeigt).

Interessanterweise unterscheiden sich die aktiven von den inaktiven Galaxien kaum in ihren Formen, was gegen einen unmittelbaren Zusammenhang von Kollisionen und Kernaktivität spricht. Hingegen gibt es deutliche Anzeichen, dass aktive Galaxien weitaus mehr junge Sterne enthalten als inaktive. Möglicherweise waren Verschmelzungsereignisse die Auslöser für sowohl Sternentstehung als auch, mit allerdings erheblicher Zeitverzögerung, die Zündung der aktiven Kerne.

## Quasare in 3D

Was geschieht in einer Galaxie, wenn in deren Zentrum ein leuchtkräftiger Quasar zündet? Aufgrund der starken ultravioletten Strahlung des Quasars darf erwartet werden, dass ein bedeutender Teil des kühlen interstellaren Mediums (ISM) in der Galaxie ionisiert und aufgeheizt wird – jedenfalls soweit die Strahlung aus dem Kern entkommt, und sofern noch ein kühles ISM in der Galaxie existiert. Dieser Frage, die Teil der aktuellen Diskussion

*The Hubble Space Telescope data provide us with images of tens of thousands of galaxies, whose light was emitted at much earlier cosmic epochs, up to look-back times of half the age of the universe. From these galaxies we selected specifically those that are copious X-ray emitters (some example images of these galaxies are shown on Page 48). Interestingly, active and inactive galaxies do not show significant differences in their morphologies, arguing against an immediate relation between collisions and nuclear activity. On the other hand, we found that active galaxies contain significantly more young stars than inactive ones. It is possible that merger events have triggered both star formation and nuclear activity, but the latter with a time delay of up to several hundred million years.*

### Quasars in 3D

*What happens to a galaxy once a luminous quasar has ignited in its central region? Because of the intense ultraviolet radiation emitted by the quasar it can be expected that a large amount of the cool interstellar medium in the galaxy will be heated and ionized, assuming the radiation is able to escape from the nuclear region, and assuming there is still a cool ISM in the galaxy. We have approached this question (which is part of the ongoing discussion about “feedback processes” in active galaxies) by observing several quasars with the technique of Integral Field, or 3D Spectroscopy. We found that almost half of the quasars in our representative sample show very large extended regions of ionized emission-line gas, with overall dimensions spanning the entire host galaxy. Remarkably, our sensitivity for such features turned out to be much higher than recently published exposures of some of these objects obtained with the Hubble Space Telescope (see Fig. 4).*

über „Feedback-Prozesse“ in aktiven Galaxien ist, haben wir uns über Beobachtungen von Quasaren mit der Technik der Integralfeld- oder 3D-Spektroskopie genähert. Wir fanden ausgedehnte Emissionslinienregionen mit Dimensionen der gesamten Muttergalaxie in knapp der Hälfte unserer repräsentativen Stichprobe. Dabei erwies sich unsere Nachweismethode mit dem PMAS-Instrument am Calar Alto 3,5 m-Teleskop als weitaus empfindlicher als kurz zuvor veröffentlichte Aufnahmen einiger der gleichen Quasare mit dem Hubble-Weltraumteleskop (siehe Abb. 4).

## „First Light“ für das AIP am LBT

Die ersten wissenschaftlichen Beobachtungen mit dem noch einäugigen LBT wurden im Mai und Oktober des Jahres 2007 durchgeführt. Für diese erste Beobachtungsphase in sog. Science Demonstration Time (SDT), wurden spezielle Ziele ausgewählt, die in ihrer Breite die Leistungsfähigkeit des neuen Teleskops veranschaulichen sollten.

Für das AIP wurden die ersten SDT-Beobachtungen im Oktober 2007 durchgeführt. Ziel dieser Beobachtungen war das Feld des isolierten Neutronensterns RBS1774. Der Röntgensatellit ROSAT hat während seiner halbjährigen Durchmusterung im Jahre 1990 am gesamten Himmel etwa 130.000 neue Röntgenquellen gefunden. Nur sieben davon, um Größenordnungen weniger als erwartet, entpuppten sich als Kandidaten für isolierte Neutronensterne, deren Energiehaushalt wahrscheinlich allein durch ihre innere Energie gespeist wird und die deshalb thermische Spektren zeigen. Das große Interesse an diesen Sternen rührt daher, dass sie die einzigen sind, die einen unverstellten Blick auf die Atmosphäre eines Neutronensterns erlauben und daher detaillierte Aufschlüsse über Materie in Extremzuständen versprechen. Mit den gegenwärtigen Röntgenobservatorien XMM-Newton und Chandra werden diese „Glorreichen Sieben“ derzeit intensiv untersucht. Optische Beobachtungen sind wichtig, um z.B. die spektrale Energieverteilung im gesamten elektromagnetischen Spektrum festzustellen, sie sind aber wegen der extrem geringen Helligkeit dieser Sterne auch sehr schwierig. Optische Gegenstücke konnten bislang für fünf dieser Sterne mit VLT, Keck, Subaru und HST im Helligkeitsbereich  $m = 25,2-28,6$  gefunden werden. Die vierstündigen Beobachtungen mit LBT/LBC durch einen Blaufilter bei einer Grenzhelligkeit  $m_b \sim 28$  zeigen tatsächlich ein lichtschwaches Objekt am Ort der mit verschiedenen Observatorien detektierten Röntgenquelle, aller Wahrscheinlichkeit nach ihr optisches Gegenstück. Das Objekt ist immer noch deutlich heller als durch extrapolierte Röntgenspektralmodelle vorhergesagt, die aufgrund der ersten AIP-LBT Beobachtungen revidiert werden müssen.

### First Light for the AIP at the LBT

The first scientific observations with the still one-eyed LBT were performed in May and October 2007. For this first observation period, the so-called Science Demonstration Time (SDT), specific targets were selected to demonstrate the scientific power of this new facility.

The first SDT-observations for the AIP were obtained in October 2007. The target was the field of the isolated neutron star RBS1774. The X-ray satellite ROSAT conducted the first all-sky survey at soft X-ray energies in 1990 and discovered about 130,000 new X-ray sources. Only seven of those, orders of magnitude fewer than expected, turned out to be candidate isolated neutron stars, whose observed radiation is fed purely by their internal energy and thus show thermal spectra. The great attraction of these stars is that they allow direct inspection of a neutron star's atmosphere. The current generation of large X-ray observatories (XMM-Newton and Chandra) are thus spending a considerable fraction of their time investigating these strange stars, termed the "Magnificent Seven". Opti-

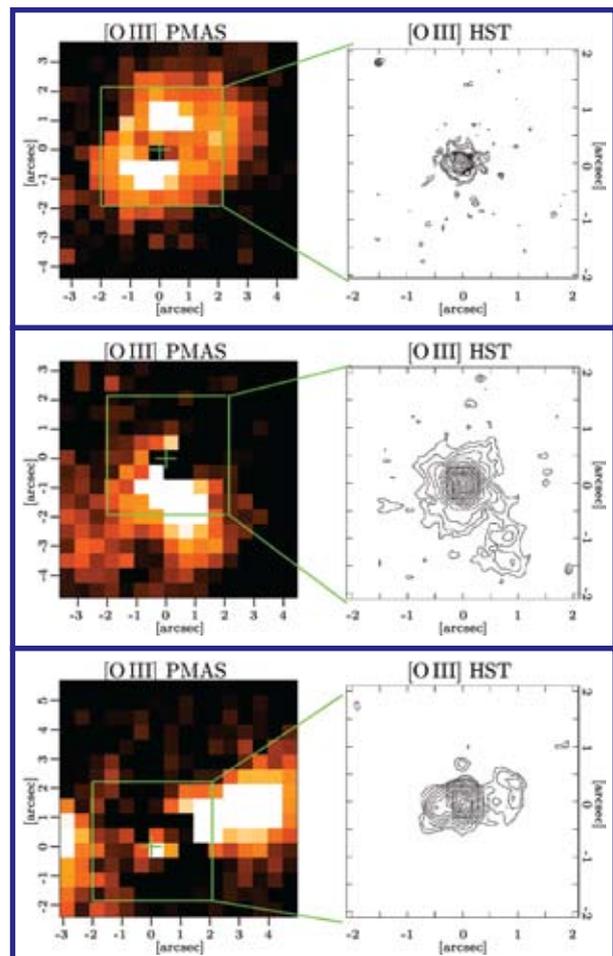


Fig. 4: Extracted narrow-band images showing the distribution of ionized gas emitting the [OIII] oxygen emission line. Left-hand panels show our observational data from PMAS; in several cases the line emission extends outside the sampled region. Right-hand panels show narrow-band images obtained with the Hubble Space Telescope. The much higher sensitivity of the PMAS data is evident.

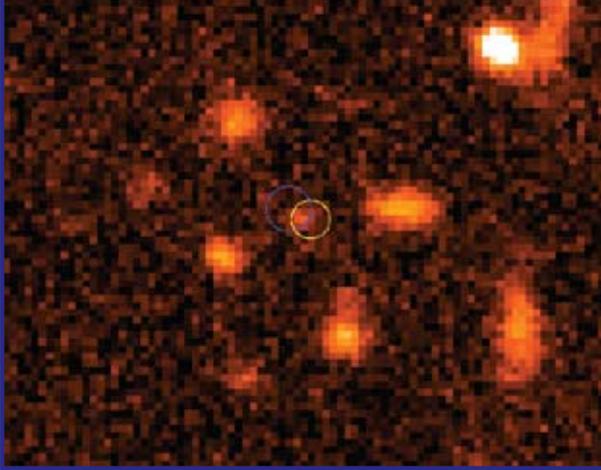


Fig. 5: Deep co-added exposure of the field of the isolated neutron star RBS1774, obtained with the Large Binocular Camera at the LBT. The superimposed circles mark the X-ray position of the object derived with Chandra (red) and XMM-Newton (blue). A faint optical counterpart is detected in the joint error region.

## Die Entwicklung enger Doppelsystems: Untersuchungen mit SEGUE

Wo komme ich her, wo gehe ich hin, was mache ich hier? Um diese essentiellen Fragen dreht sich nicht nur so manches Menschenleben sondern auch die Frage nach der Entwicklung von Sternen. Insbesondere die Entwicklung enger Doppelsysteme gibt viele Rätsel auf, deren Lösung wir mit einem groß angelegten Beobachtungsprogramm anstreben.

Enge Doppelsysteme mit einem Weißen Zwerg als kompaktem Primärstern, entwickeln sich von langen zu kurzen Bahnlaufperioden wenn sie eine Phase mit gemeinsamer Hülle (common envelope CE) durchlaufen und anschließend Drehimpuls über einen magnetisierten Sternwind und Gravitationsstrahlung verlieren. Während die Physik der Gravitationsstrahlung durch die Relativitätstheorie gut beschrieben ist, sind die Effektivität der CE-Phase und der magnetischen Bremsung nur in Ansätzen verstanden.

Ein Grund dafür liegt in der bislang bekannten sehr geringen Anzahl von Objekten, aus deren Beobachtung man entsprechende Parameter ableiten könnte. Wir wollen diese Erkenntnislücke durch ein speziell zugeschnittenes Beobachtungsprogramm schließen. Dabei machen wir Gebrauch von unserer Beteiligung am Sloan Digital Sky Survey im Rahmen des SEGUE-Teilprojekts. Uns werden exklusiv bis zu 10 Spektren pro Plattenpaar von farbselektierten Doppelsystemkandidaten geliefert, deren Binärnatur durch umfangreiche Folgebeobachtungen gezeigt werden muss. Bislang wurden uns dafür rund 50 Nächte an Großteleskopen (VLT, Gemini, Magellan, NTT) zugesagt und ein Large Programme am Calar Alto wurde implementiert. Mehrere hundert Kandidaten wurden auf diese Weise gefunden, von rund zwei Dutzend konnten Bahnlaufzeiten zwischen 2 und 20 Stunden bestimmt werden. Damit ist die Stichprobe bekannter enger

cal observations are nevertheless important to derive, for example, the broadband spectral energy distribution. However, this is extremely difficult due to their faintness. Utilizing VLT, Keck, Subaru and HST, optical counterparts were found for five neutron stars at magnitudes 25.2-28.6. LBT-SDT observations of RBS1774 indeed revealed a faint optical counterpart at the location of the X-ray source after 4 hours of integration (limiting magnitude  $m_B \sim 28$ ). The detected object is still much brighter than expected from the extrapolated X-ray spectral model which will be revised based on the first AIP-LBT observations.

### Close Binary Evolution: SEGUE follow-up

Where did I come from, what am I doing here, and where will I end up? These fundamental questions are not only important for human beings but similarly for stellar evolution. In particular, the evolution of close binary stars poses many open questions which we are addressing with a comprehensive observation programme.

Close compact binaries with a primary white dwarf evolve from long to short binary periods through a phase with a common-envelope (CE) and subsequent angular momentum loss via a magnetized stellar wind and gravitational radiation. While the physics of gravitational radiation are well understood and described by general relativity, the efficiency of the CE-phase and of magnetic braking are described only in gross terms. The main reason for this deficiency is the lack of observational input constraining those processes. As a remedy we have designed an observational project within the Sloan Digital Sky Survey/SEGUE. Up to 10 spectroscopic fibres per telescope pointing are allocated for our color selected close binary candidates. Their binary nature needs to be confirmed by photometric and spectroscopic follow-up observations. In some cases the binary nature is evident from the Sloan discovery spectrum of the primary star by an observed Doppler shift of absorption lines from the secondary star (see figure). Follow-up observations were performed over approximately 50 nights during 2006/2007 with the VLT, Gemini, Magellan, NTT telescopes, and a Large Programme could be implemented at Calar Alto for 2008/2009. Several hundred close binaries have been found; about two dozen have measured binary periods ranging from 2 to 20 hours. We have thus nearly doubled the sample size of known post-CE binaries and are aiming for several hundred more systems fully characterised in terms of binary period, mass ratio, and age. The analysis of the full sample will provide decisive constraints on the processes of binary evolution.

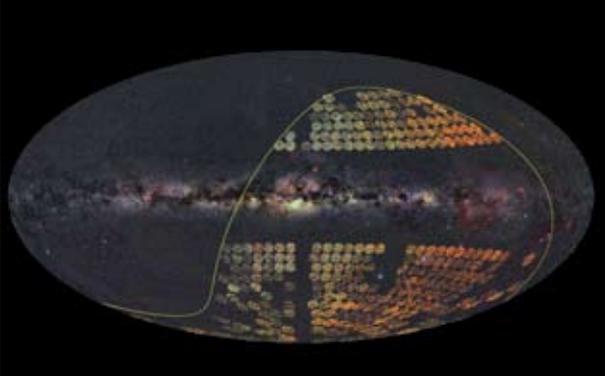


Fig. 6: Radial velocity distribution of stars in the Milky Way as measured by the 2<sup>nd</sup> data release of the RAVE survey, superimposed on a Milky Way mosaic at optical wavelengths. Blue colour implies motion towards us, red denotes stars with receding motion.

Doppelsterne vom post-CE Typ nahezu verdoppelt. Die am Ende einige hundert Objekte umfassende Stichprobe wird in bezug auf die Binärparameter (Umlaufperiode, Massenverhältnis, Alter) analysiert werden und entscheidende Rückschlüsse auf die Entwicklungsprozesse ermöglichen.

## RAVEN in der Milchstraße

Das Milchstraßensystem ist die einzige Galaxie, die wir von innen heraus untersuchen können. Das ist nicht immer ein Vorteil; die Innenansicht macht es uns schwer, das Gesamtbild wahrzunehmen, und manche Fragen sind einfacher durch Untersuchung anderer Galaxien zu beantworten. Andererseits haben wir in der Milchstraße die einzigartige Möglichkeit, im großen Umfang Einzelsterne zu untersuchen, ihre Bewegung im Raum zu messen und ihre chemische Zusammensetzung zu ermitteln. Das von uns initiierte RAVE-Projekt (RAVE = Radial Velocity Experiment) ist eine großangelegte spektroskopische Durchmusterung am Südhimmel, in dessen Verlauf die Spektren – und somit Radialgeschwindigkeiten und chemische Häufigkeiten – von bis zu einer Million Sternen aufgenommen werden sollen. Dies ermöglicht erstmals ein repräsentatives Inventar aller wesentlichen Komponenten des Milchstraßensystems. Einen zusätzlichen Gewinn verspricht die Kombination mit Messungen von Entfernungen und Eigenbewegungen aus astrometrischen Durchmusterungen, wodurch dann vollständige Raumbewegungen dieser Sterne bestimmt werden können. Im Vergleich mit Computersimulationen lassen sich damit wesentliche Phasen der Entstehungsgeschichte der Milchstraße rekonstruieren.

Nach dem Start des Projekts im Jahr 2003 sind mittlerweile über eine Viertelmillion Sterne spektroskopisch erfasst. Im Jahr 2006 wurden die Radialgeschwindigkeiten einer ersten Stichprobe von 25.000 Sternen veröffentlicht, die Veröffentlichung einer zweiten Stichprobe mit weiteren 25.000 Sternen und zum ersten Mal auch mit chemischen Häufigkeiten und weiteren Sterneigenschaften steht unmittelbar bevor. Weitere Datenveröffentlichungen im Jahresrhythmus sind geplant. Die Da-

### RAVEing the Milky Way

*The Milky Way Galaxy is the only system that we can study from within. Being inside of a galaxy is not always an advantage, as it is considerably more difficult to form a global picture of the Milky Way than it is for other galaxies. On the other hand, in the Milky Way we can investigate individual stars in large numbers, measure their motion in space, and determine their chemical composition. The RAVE project initiated by us (RAVE = Radial Velocity Experiment) is a large spectroscopic survey for stars in the Southern Sky, ultimately planning to deliver spectra of up to one million stars – and thus their radial velocities and chemical abundances. This will, for the first time, allow us to build a truly representative inventory of all the main components of the Milky Way system. The full potential of the project will be revealed when the radial velocities are combined with distances, proper motions and parallaxes from astrometric surveys, to yield the full spatial motion for each star. Comparing these results with computer simulations will allow us to reconstruct the formation history of the Milky Way.*

*After the launch of the project in 2003, spectra of more than a quarter of a million stars have been acquired. In 2006, the radial velocities for a first set of 25,000 spectra were released to the public. A second data release, containing a further 25,000 stars, and additionally featuring chemical abundances and other stellar parameters, will be released soon. The data have been ingested into the “Virtual Observatory” and can be accessed world-wide via the Internet.*

*A first scientific result of the RAVE survey was the determination of the escape velocity of the Milky Way system, i.e., the minimum velocity that a star requires in order to escape the gravitational attraction of the Milky Way altogether. This is essentially a measurement of the mass of the Milky Way. For this measurement, we selected stars with the very highest radial velocities and compared their velocity distribution with model calculations. Furthermore, we have shown that the kinematic properties of thin and thick disk stars are distinctly different, arguing against the possibility of a smooth and continuous transition from thin to thick disk. A detailed analysis of the vertical velocities of stars in the Solar neighborhood has revealed a lack of any sign of a coherent structure. In this way we can rule out the possibility that the tidal tail of the Sagittarius dwarf, a satellite galaxy that is about to be tidally disrupted by the Milky Way, passes through the solar neighborhood.*

### Debris of disrupted satellite galaxies

*Satellite galaxies – small companions to larger galaxies*

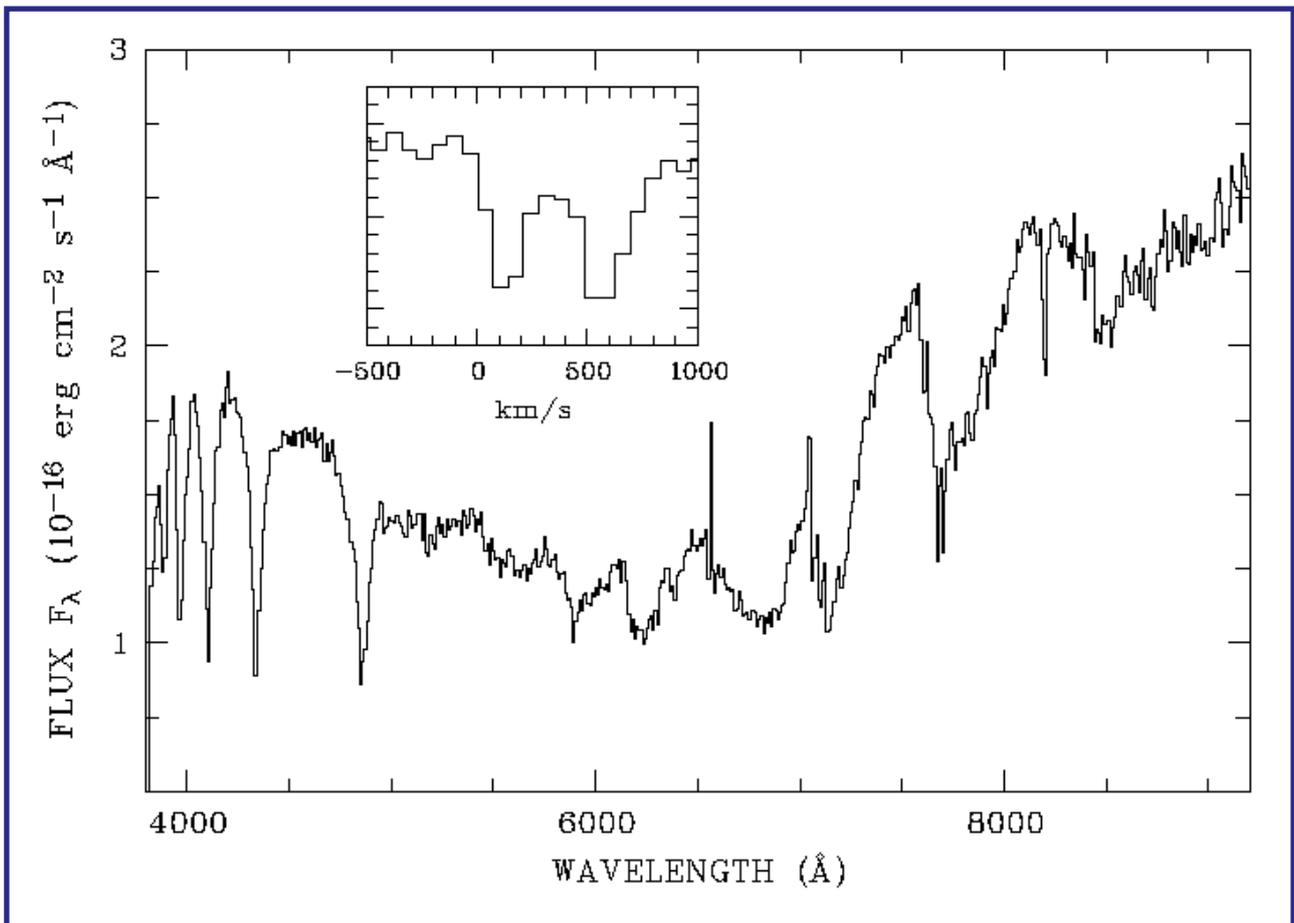


Fig. 7: Spectrum of a color-selected white dwarf/main-sequence binary from SEGUE. The NaI8183/8194 lines originating from the main-sequence star (inset) display a large Doppler shift interpreted as orbital motion, thus revealing the star as a physical binary.

ten sind in das „Virtuelle Observatorium“ eingespeist und weltweit über das Internet abrufbar.

Ein erstes wissenschaftliches Resultat der RAVE-Durchmusterung war die Bestimmung der Fluchtgeschwindigkeit des Milchstraßensystems, d.h. der Geschwindigkeit, die ein Stern mindestens haben müsste, um dem Schwerefeld der Milchstraße völlig zu entkommen – letztendlich also der Gesamtmasse der Milchstraße. Dazu wurden die Sterne mit den höchsten Radialgeschwindigkeiten aus RAVE ausgewählt und deren Geschwindigkeitsverteilung mit Modellrechnungen verglichen. Des Weiteren konnten wir zeigen, dass sich die Bewegungseigenschaften von Sternen der dicken und der dünnen Scheibe signifikant unterscheiden, dass also ein kontinuierlicher Übergang von dünner zu dicker Scheibe unwahrscheinlich ist. Eine genauere Analyse der vertikalen Geschwindigkeiten der Sterne in der Sonnenumgebung zeigte keinerlei Anzeichen für eine zusammenhängende Struktur. Wir konnten somit nachweisen, dass der Gezeitenarm der sog. Sagittarius-Zwerggalaxie (eine Satellitengalaxie, die gerade vom Gezeitenfeld der Milchstraße zerrissen wird) nicht die Sonnenumgebung durchdringt.

*such as our own Milky Way or the Andromeda Galaxy – orbit about their host under the influence of substantial gravitational tidal forces. This may eventually lead to the complete disruption of the satellite and spectacular “tidal arms” leading and trailing behind the remnant. We investigated the possibility of using these arms and the debris field to recover the original properties of the satellite at the time it entered the sphere of influence of its host. Such models are essential for the interpretation of, for example, the RAVE data where the stars in the Milky Way are mapped with unprecedented precision. If we find similar stellar streams in that data, we are now in the position to make predictions for the progenitor satellite.*

## Das Trümmerfeld von zerstörten Satellitengalaxien

Satellitengalaxien – kleine Begleiter von größeren Galaxien wie z.B. unserer Milchstraße oder der Andromedagalaxie – umkreisen ihre Muttergalaxie und spüren dabei die starken Gezeitenfelder derselben. Dies kann u.a. zu einer kompletten Zerstörung und damit einhergehend spektakulären Gezeitenarmen vor und hinter dem Überrest des Satelliten führen. Wir haben die Möglichkeit untersucht, diese „Arme“ dazu zu verwenden, Aussagen über ursprüngliche Eigenschaften des Satelliten zu machen. Solche Modellrechnungen sind unerlässlich für die Interpretation von z.B. den Daten der RAVE-Durchmusterung, die eine exakte Vermessung der Sterne in unserer Milchstraße liefern. Wenn wir dort ebenfalls ähnliche Trümmerfelder entdecken, werden wir Aussagen über den Vorläufersatelliten tätigen können.

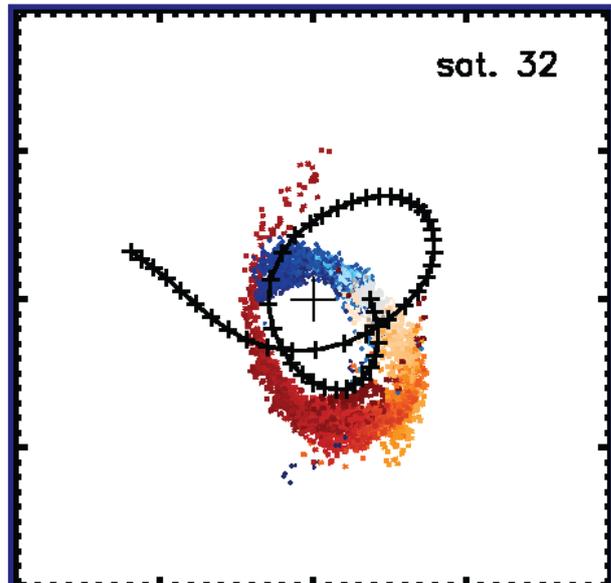


Fig. 8: Tidal disruption in action. Blue and red colours represent leading and trailing tidal arm particles, respectively. The brightness indicates the age (darker refers to older). The connected black crosses trace the orbit of the progenitor satellite. The host in the centre is not shown for clarity.

### Ausgewählte Publikationen Selected Publications

Böhm, A., Ziegler, B. L. (2007): **Evolution of Field Spiral Galaxies up to Redshifts  $z = 1$** , *Astrophysical Journal* 668, 846

Cattaneo, A., Dekel, A., Devriendt, J., Guiderdoni, B., Blaizot, J. (2006): **Modelling the galaxy bimodality: shutdown above a critical halo mass**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 370, 1651

Christensen, L., Jahnke, K., Wisotzki, L., Sánchez, S. F. (2006): **Extended Lyman- $\alpha$  emission around bright quasars**, *Astronomy & Astrophysics* 459, 717

Christensen, L., Wisotzki, L., Roth, M. M., Sánchez, S. F., Kelz, A., Jahnke, K. (2007): **An integral field spectroscopic survey for high redshift damped Lyman- $\alpha$  galaxies**, *Astronomy & Astrophysics* 468, 587

Krumpe, M., Lamer, G., Schwobe, A. D., Wagner, S., Zamorani, G., Mignoli, M., Staubert, R., Wisotzki, L., Hasinger, G. (2007): **The XMM-Newton survey in the Marano field. I. The X-ray data and optical follow-up**, *Astronomy & Astrophysics* 466, 41

Lamer, G., Schwobe, A., Wisotzki, L., Christensen, L. (2006): **Strange magnification pattern in the large separation lens SDSS J1004+4112 from optical to X-rays**, *Astronomy & Astrophysics* 454, 493

Sales, L. V., Navarro, J. F., Abadi, M. G., Steinmetz, M. (2007): **Cosmic ménage à trois: the origin of satellite galaxies on extreme orbits**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 379, 1475

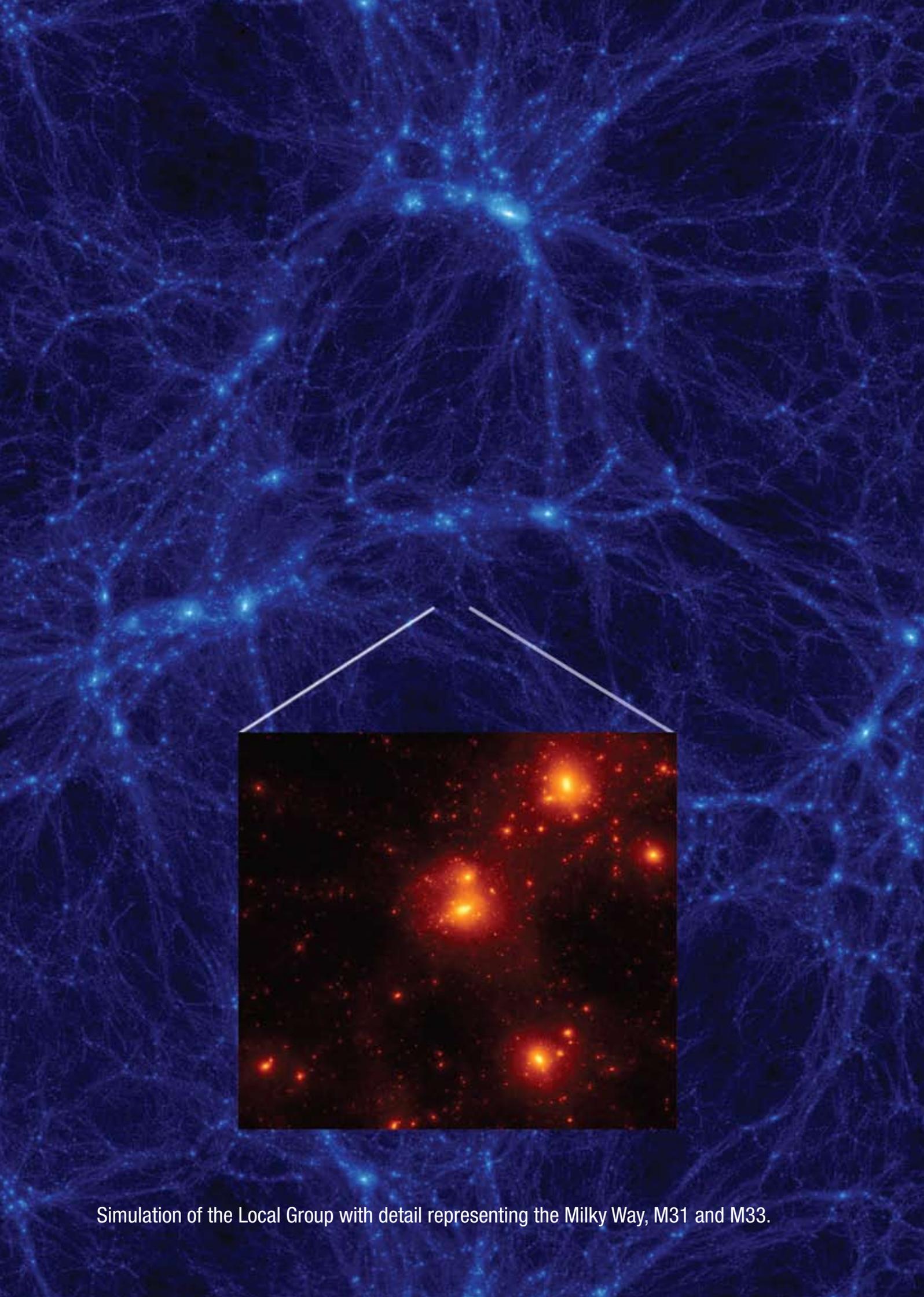
Smith, M. C., Ruchti, G. R., Helmi, A., Steinmetz, M., et al. (2007): **The RAVE survey: constraining the local Galactic escape speed**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 379, 755

Sharma, S., Steinmetz, M. (2006): **Multidimensional density estimation and phase-space structure of dark matter haloes**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 373, 1293

Steinmetz, M., Zwitter, T., Siebert, A., et al. (2006): **The Radial Velocity Experiment (RAVE): First Data Release**, *AJ* 132, 1645

Vogel, J., Schwobe, A. D., Gaensicke, B. T. (2007): **An in-depth study of the pre-polar candidate WX Leonis Minoris**, *Astronomy & Astrophysics* 464, 647

Warnick, K., Knebe, A. (2006): **The sense of rotation of subhaloes in cosmological dark matter haloes**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 369, 1253



Simulation of the Local Group with detail representing the Milky Way, M31 and M33.

# Kosmologie und großräumige Strukturen

## *Cosmology and Large-Scale Structure*



Team 06/07 (alphabet.): Aldo Dall'Aglio, Bastian Arnold, Yago Ascasibar, Luz Marina Cairós Barreto, Sander von Benda-Beckmann, Andrea Cattaneo, Nadya Draganova, Timur Doumler, Jaime Forero, Stefan Gottlöber, Tae-Sun Kim, Philipp Kählitz, Arman Khalatyan, Jochen Klar, Alexander Knebe, Steffen Knollmann, Jan Kohnert, Georg Lamer, Claudio Linares, Christian Maulbetsch, Mirko Meißner, Heike Meyer, Jan Peter Mückel, Volker Müller (head), Adrian Partl, Franziska Piontek, Axel Schwöpe, Matthias Steinmetz, Christian Wagner, Kristin Warnick, Lutz Wisotzki, Gabor Worseck

Die Forschung auf dem Gebiet „Kosmologie und großräumige Strukturen“ benutzt die Errungenschaften verschiedener Zweige der Astrophysik, um ein konsistentes Bild von unserem sich entwickelnden Universum und seinen großen Strukturen zu gewinnen. Die Fortschritte dabei stammen aus der Kombination von Beobachtungen und Theorie. Wir untersuchen die Grundlagen der Kosmologie, die Eigenschaften der dunklen Energie und die Verklumpung der dunklen Materie, die Entwicklung des baryonischen Gases, bevor es in Galaxien fällt und dort Sterne bildet, und den gemeinsamen Kollaps von dunkler Materie, Gas und Sternen zu Galaxien und Galaxienhaufen von unterschiedlicher Größe und Morphologie. Durch den Gravitationskollaps bildet sich ein großräumiges Netz von Strukturen, mit Filamenten, Knoten und Leerräumen, das in der großräumigen Materieverteilung deutlich sichtbar ist und in unseren umfangreichen Simulationsrechnungen auf lokalen und internationalen Supercomputern gut reproduziert werden kann. Die beobachteten Farben und Galaxienmorphologien unterscheiden sich in über-

*Research in “Cosmology and Large Scale Structure” combines knowledge of different branches in astrophysics to acquire a coherent view on our Universe and its evolving structures. Recent progress stems from a combined effort in observational and theoretical investigations. We study the general background of cosmology, the properties of dark energy and the clustering of dark matter, the evolution of the baryonic gas before it fell into galaxies and forms stars, and the assembly of dark matter, gas and stars to galaxies and galaxy clusters of different morphology and size. A cosmic network of structures forms by gravitational collapse of dark and baryonic matter with branches and knots that are well seen in the large scale distribution of galaxies and well represented by huge simulations performed at local and international supercomputer centres. The colors and morphologies of galaxies are different in overdense and low-density regions of the Universe, which is a challenge for cosmological theory. A testbed for our models is the near*

und unterdichten Gebieten des Universums, was eine Herausforderung an unsere kosmologischen Theorien darstellt. Ein Testfall der Kosmologie ist die nahe kosmische Umgebung, die lokale Gruppe von Galaxien und Galaxienbestandteilen, die wir erfolgreich detailliert modelliert haben.

## Große Strukturen und die Lokale Gruppe

Beobachtungen und theoretische Forschung der letzten Jahrzehnte haben zu einem räumlich flachen Weltmodell mit dominierender kalter Dunkler Materie geführt. Im Standardmodell der kosmologischen Strukturbildung wird die Expansionsrate des Kosmos und die Klumpung der kosmischen Materie nur durch wenige fundamentale Parameter beschrieben, die heute schon mit recht hoher Genauigkeit gemessen sind:

die Hubble-Konstante, die mittlere Massendichte, die kosmologische Konstante, die mittlere Baryondichte und die allgemeine Normierung des kosmologischen Inhomogenitätsspektrums. Die Strukturbildung sollte danach im Wesentlichen skalenunabhängig erfolgen, die gleichen Strukturen entstehen auf der Skala von Galaxienhaufen und der von Einzelgalaxien. Diese letzte Voraussage ist allerdings problematisch, da viel mehr Strukturen vorhergesagt als beobachtet werden. Deshalb ist eine detaillierte Untersuchung von galaktischen Strukturen im kosmologischen Maßstab eine wichtige Aufgabe, die wir in unseren umfangreichen Simulationsrechnungen parallel mit verschiedenen Massenskalen verfolgen.

Kosmologische Simulationsrechnungen umfassen einen großen dynamischen Bereich sowohl in der Masse als auch in der räumlichen Auflösung. Ein repräsentativer Teil des Universums muss mindestens das Ausmaß von einigen Milliarden Lichtjahren aufweisen, um massereiche Galaxienhaufen einzuschließen, während die innere Struktur von Galaxien auf Skalen von einigen 100 Lichtjahren aufgelöst werden muss. Die massereichsten Galaxienhaufen mit tausenden von Galaxien müssen gleichzeitig mit Zwerggalaxien reproduziert werden. Um diese

*cosmic environment, the local group of galaxies and subgalactic structures, that we succeeded to model in great detail and precision.*

### Large Structures and the Local Group

*Observational and theoretical research conducted over the past decades has culminated in the spatially-flat cold Dark Matter cosmological model. Within the standard model of structure formation, the expansion rate of the universe and the clustering properties are*

*described by only a few parameters which are measured at present already with quite high accuracy: the Hubble constant, the mean mass density, the value of the cosmological constant, the mean baryon abundance, and the overall normalization of the fluctuation spectrum. Structure formation is predicted to be essentially scale invariant, similar substructures occur on scales of galaxy clusters and on scales of*

*galaxies. The latter prediction is problematic because much more small scale structure is predicted than is observed. Therefore, a detailed study of the formation of galactic structures in a cosmological environment is a very important issue that can be carried out using our multi mass techniques for particle simulation.*

*Cosmological simulations cover a large dynamical range both in mass and force resolution. A representative volume of the universe should be at least of the size of several billion light years in order to contain massive galaxy clusters, whereas the inner structure of galaxies must be resolved on scales of a few 100 light-years. Most massive clusters containing thousands of galaxies should be resolved together with dwarf galaxies. This is far from present possibilities even on the largest supercomputers. To overcome this problem we use smaller simulation boxes specifically designed to represent the observed local universe. In this case the properties of the observed local dwarf galaxies can be directly compared with the properties of simulated dwarfs in the right environment. There, we can easily identify well known massive structures such as the nearby clusters (Coma, Virgo, Perseus Pices, Great*

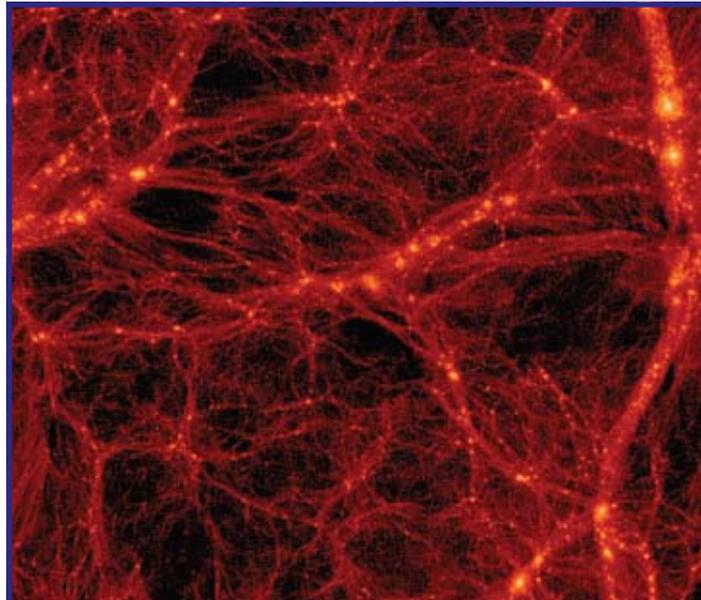


Fig. 1: Representation of the cosmic web of hierarchical clumps, filaments, walls and voids with cold dark matter in a high resolution simulation of the Universe.

Schwierigkeiten zu bewältigen, benutzen wir kleinere Simulationsvolumina, spezifizieren aber die Anfangsbedingungen auf die Verhältnisse des lokalen Universums. In diesem Fall können die beobachteten Zwerggalaxien direkt mit den simulierten Zwerggalaxien in der richtigen Umgebung verglichen werden. Dabei können wir die bekannten massereichen Galaxienhaufen, Coma, Virgo, Perseus-Pisces und den Großen Attraktor identifizieren, aber auch unsere lokale Gruppe in der richtigen Umgebung und mit dem beobachteten Einfall auf Virgo. In der lokalen Gruppe haben wir drei Galaxien gefunden, welche die Milchstraße, den Andromeda-Nebel (M31) und die Galaxie M33 repräsentieren. In unseren Simulationen wird die lokale Gruppe durch einige Millionen Teilchen wiedergegeben. Ein Ausschnitt der lokalen Gruppe ist auf Seite 58 gezeigt.

Im Rahmen des Leibniz-Wettbewerbs des Paktes für Forschung gefördert:

## Baryonische Oszillationen als kosmologischer Test

Neue Entwicklungen der theoretischen Physik legen es nahe, dass das physikalische Vakuum gravitative Effekte hat, die mit tiefen und sich über weite Himmelsbereiche erstreckenden Galaxienbeobachtungen vermessen werden können. Wir haben untersucht, mit welcher Genauigkeit solche Experimente die Parameter einer dynamischen Vakuum- oder dunklen Energie vermessen können. Baryonische Oszillationen im Leistungsspektrum der Verteilung von Galaxien und Galaxienhaufen können als Standard-Maßstab im tiefen Universum genutzt werden. Durch die Messung ihrer scheinbaren Wellenlänge kann die Expansionsgeschichte des Universums rekonstruiert und damit Eigenschaften der kosmischen Bestandteile des Kosmos abgeleitet werden.

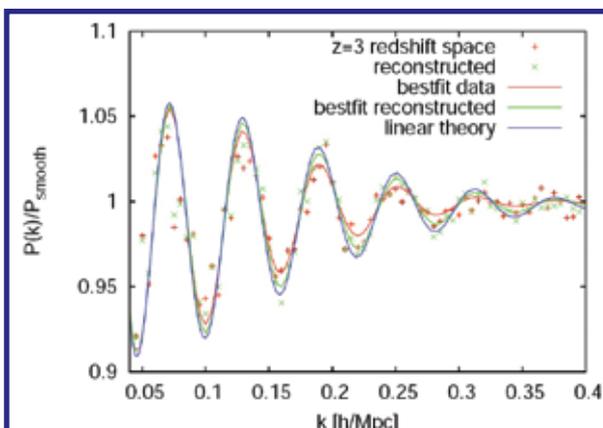


Fig. 2: The baryon oscillations become significant as ratio of the measure and the smoothed power spectrum and a reconstruction of the true density field that almost reproduces the input theoretical power spectrum.

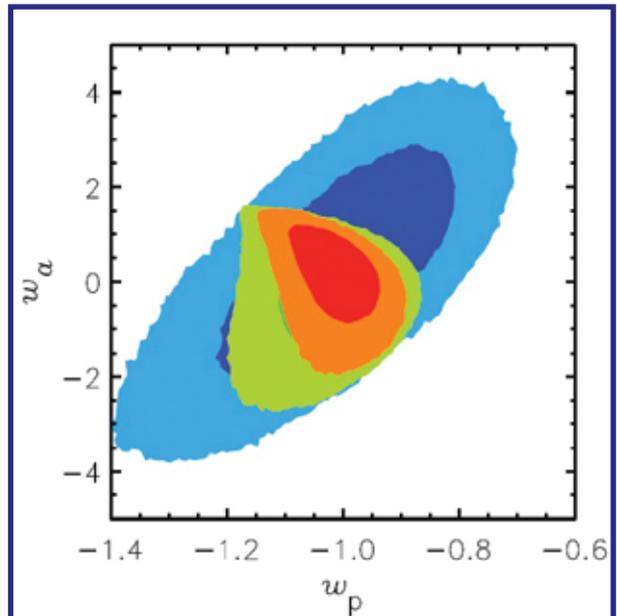


Fig. 3: Estimated confidence level for parameters of a dynamical dark energy from Supernovae measurements (the blue range), further adding expected constraints from the Planck-satellite (green), and both combined with baryonic acoustic oscillations (red).

Attraktor), but also the local group in the right environment and infalling towards Virgo. Within the simulated local group candidate we found three galaxies which represent Milky Way, Andromeda (M31) and M33. In our simulation we have resolved the local group with several million particles. A part of these structures is shown in the figure on page 58.

### Baryonic Oscillations as cosmological Test

New developments in theoretical physics suggest that the physical vacuum has gravitational effects that can be measured with deep and wide angle galaxy surveys. We investigated the precision with which such experiments can measure the parameters of a dynamical vacuum or dark energy. Baryonic oscillations in the power spectrum of the spatial distribution of galaxies and galaxy clusters can be used as standard ruler in the deep universe. In measuring their apparent wavelength we can reconstruct the evolution history of the Universe, and we can derive the properties of the basic cosmic constituents.

At the Hobby-Eberly-telescope in Texas we plan to observe about one million galaxies for the study of Dark Energy (american-german HETDEX-project) with VIRUS – Visible Integral-field Replicable Unit Spectrograph – between redshifts  $z = 2$  and  $z = 4$ . Test observations with a prototype built in Potsdam were successful. With the collaboration on BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey) we will measure the galaxy distribution to  $z = 0.8$  and quasars between  $z = 2$  and  $z = 2.5$  over a quarter of the sky. The planned space mission eROSITA (extended Roentgen Survey

Am Hobby-Eberly-Teleskop in Texas wollen wir zum Studium der dunklen Energie (amerikanisch-deutsches Experiment HETDEX) mit dem VIRUS-Spektrographen – Visible Integral-field Replicable Unit Spectrograph – die Galaxienverteilung zwischen  $z = 2$  und  $z = 4$  beobachten. Tests mit dem in Potsdam gebauten Prototyp waren erfolgreich. Mit der Beteiligung am Experiment BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey) werden wir die Galaxienverteilung bis  $z = 0.8$  und Quasare von  $z = 2$  bis  $z = 2,5$  über ein Viertel des gesamten Himmels vermessen. Das geplante Weltraumteleskop eROSITA (extended Roentgen Survey with an Imaging Telescope Array) wird einige tausend Galaxienhaufen bis  $z = 1,5$  identifizieren. Mit Hilfe von Simulationsrechnungen in sehr großen Ausschnitten des Kosmos von etwa 4 Milliarden Lichtjahren können wir Prognosen für diese Experimente machen. Wir vergleichen die erwartete Genauigkeit von Beobachtungen der dunklen Energie mit Supernovae, von Anisotropiemessungen der kosmologischen Hintergrundstrahlung mit der bevorstehenden Planck-Satellitenmission, und von Baryonenoszillationen. Der Entwicklungsparameter einer dynamischen dunklen Energie ist signifikant eingeschränkt, wenn wir die Analyse der Verteilung entlang der Sichtlinie und der auf die Himmelskugel projizierten Verteilung vergleichen. Eine effektiv konstante Zustandsgleichung wird nach unseren Simulationen mit 6 % Genauigkeit vermessen.

## Die Ionisation des intergalaktischen Mediums

Der im Universum verteilte neutrale Wasserstoff absorbiert die Strahlung weit entfernter Quasare, was in den Spektren dieser Quasare als „Wald“ von Absorptionslinien beobachtbar wird. Untersuchungen der Verteilung dieser intergalaktischen Materie erlauben Rückschlüsse über die Art und Weise, wie sich die großräumigen Strukturen im Kosmos gebildet haben. Über die Identifikation von Absorptionslinien schwererer Elemente in Quasarspektren lässt sich die Anreicherung des intergalaktischen Gases mit den Produkten der Nukleosynthese in Sternen untersuchen. Wir haben eine große Stichprobe von hochaufgelösten Quasarspektren des ESO-VLT analysiert und für eine Vielzahl von kosmologischen Anwendungen ausgewertet.

*with an Imaging Telescope Array) will identify some thousands of galaxy clusters up to  $z = 1.5$ . Using very large simulation boxes of about 4 billion light years we simulate the galaxy distribution at these redshifts and derive baryonic oscillations in the model galaxy distribution. We compare the expected accuracy of dark energy surveys using Supernovae surveys, anisotropy measurements of the cosmic microwave background with the forthcoming Planck satellite, and of the baryon oscillations. The evolution parameter of the dynamical dark energy is significantly restricted if we combine the analysis of the spatial distribution along the line of sight and on the plane of the sky. According to our simulations, an effective constant equation of state of dark energy is measured with 6 % accuracy.*

### Ionization of the intergalactic medium

*Neutral hydrogen is widely distributed over the cosmos, absorbing the radiation of distant quasars. This manifests itself as “forest” of absorption lines in the spectra of these quasars. Studying the distribution of this intergalactic matter allows us to constrain the formation of large-scale structures*

*in the universe. The identification of heavy element absorption lines in quasar spectra provides us with insights into the enrichment of intergalactic gas with the products of stellar nucleosynthesis. We have analyzed a large sample of high resolution quasar spectra obtained with the ESO-VLT and applied these data for a multitude of cosmological applications.*

*In the immediate vicinity of luminous quasars, the absorption spectra experience a remarkable change. Hard UV radiation from the quasars ionizes the remaining neutral hydrogen and reduces the absorption. Thus, the intergalactic medium in the vicinity of quasars becomes more transparent: This is the so-called “Proximity Effect”. We have searched for this phenomenon in a large sample of VLT quasar spectra, and for the first time we could significantly detect the Proximity Effect in all individual quasar spectra. This permitted us to determine the mean intensity of the metagalactic UV radiation field.*

*If a foreground quasar lies apparently close to the line of sight of another background quasar, a “transverse” Proximity Effect might be expected under*

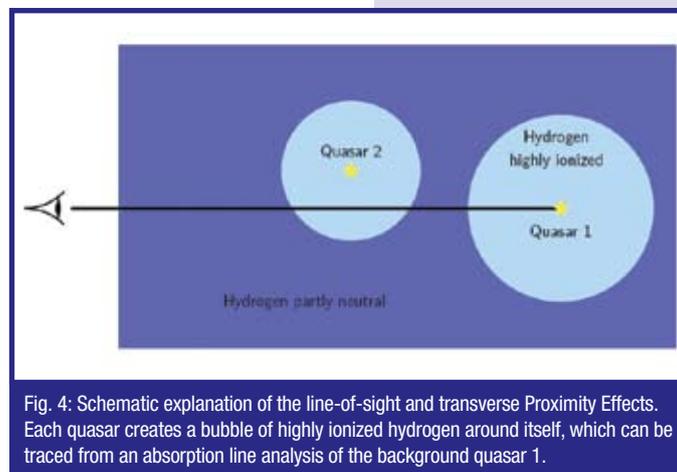


Fig. 4: Schematic explanation of the line-of-sight and transverse Proximity Effects. Each quasar creates a bubble of highly ionized hydrogen around itself, which can be traced from an absorption line analysis of the background quasar 1.

In der unmittelbaren Nähe leuchtkräftiger Quasare verändern sich die Absorptionslinienspektren. Durch die harte UV-Strahlung der Quasare wird neutraler Wasserstoff ionisiert, und die Absorption reduziert sich entsprechend. Das intergalaktische Medium in der Nähe von Quasaren wird dadurch transparenter; dies ist der sogenannte „Proximity-Effekt“. Wir haben nach diesem Phänomen in VLT-Spektren einer großen Stichprobe von Quasaren gesucht und den Effekt zum ersten Mal in allen Einzelspektren signifikant nachgewiesen. Aus unserer Analyse konnten wir die mittlere Intensität des metagalaktischen UV-Strahlungsfelds bestimmen.

Beobachtet man zwei scheinbar nahe beieinander liegende Quasare, so sollte man unter gewissen Umständen auch einen „transversalen“ Proximity-Effekt erwarten. Allerdings war dieses Phänomen bislang nicht beobachtet worden. Wir haben Spektren der optischen und

*certain circumstances (however, this effect was not observed until now). We have combined optical and ultraviolet spectra to estimate the “spectral hardness” of the ionizing UV radiation field as a function of redshift. We found that this hardness is particularly high close to each of the considered foreground quasars. This is the first detection of the “transverse Proximity Effect in spectral hardness”, stating that the hard UV radiation of individual quasars is detectable even over cosmological distances.*

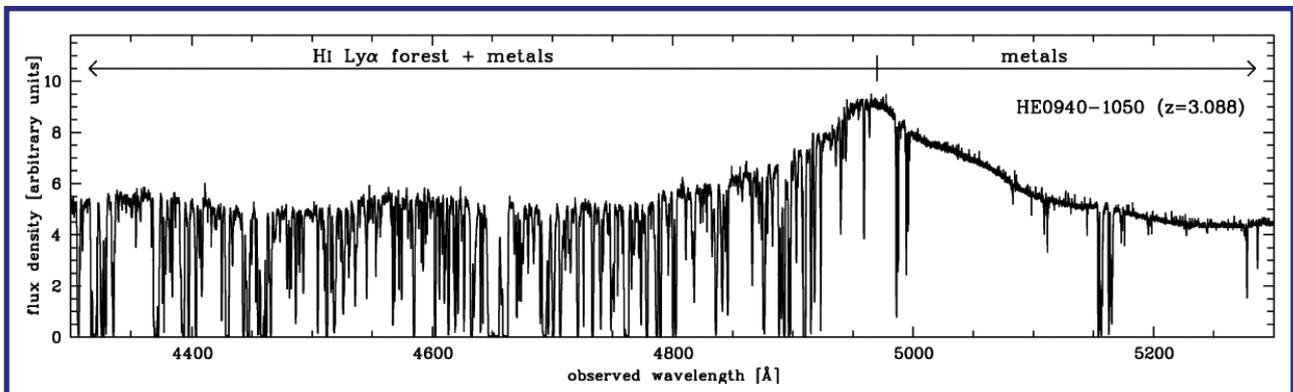


Fig. 5: High-resolution spectrum of the quasar HE 0940-1050, obtained with the UVES spectrograph at the ESO-VLT. The range of the hydrogen Lyman forest lines is indicated. Other absorption lines are due to heavier elements (“metals”).

ultravioleten Spektralbereiche kombiniert und daraus die spektrale Härte der ionisierenden UV-Strahlung als Funktion der Rotverschiebung ermittelt. Es zeigte sich, dass in der Nähe eines jeden Vordergrundquasars die spektrale Härte besonders ausgeprägt ist. Dies stellt den ersten Nachweis des „transversalen Proximity-Effekts in spektraler Härte“ dar. Daraus folgt, dass die harte UV-Strahlung von Quasaren selbst über große kosmologische Distanzen reicht.

## Alternativen zur kalten Dunklen Materie

Obwohl das derzeit anerkannte Model der Strukturbildung im Universum, welches auf der Existenz von kalter Dunkler Materie basiert, auf großen Skalen uneingeschränkt Erfolg verbucht, so weist es doch diverse Diskrepanzen auf Skalen auf, die der Größe von Galaxien entsprechen. Darüber hinaus wurde bisher noch keines der dafür notwendigen (kalten) Dunklen Materieteilchen experimentell nachgewiesen. Modifizierte Newton'sche Dynamik (MOND) ist eine Abwandlung zu Newtons Be-

### Alternatives to cold Dark Matter

*Despite the generally accepted success of the Cold Dark Matter for cosmology on large scales, the model still inhibits a number of serious deviations from observations on galactic scales. Moreover, none of the putative dark matter particle candidates have yet been detected. Modified Newtonian dynamics (MOND) is a modification to Newton's second law of motion capable of explaining most of the observations without the need for Dark Matter. Another possibility to bring theory predictions into better agreement with observations is to fine-tune the mass of the dark matter particle and to “heat” it up resulting in Warm Dark Matter, respectively.*

wegungsgesetz, die in der Lage ist, viele galaktische Beobachtungen ohne die Notwendigkeit für Dunkle Materie zu erklären. Eine andere Variante, Beobachtungen mit theoretischen Vorhersagen verbessert in Einklang zu bringen, stellt die Masse des Dunkle-Materie-Teilchens dar. Wenn es von seiner Entstehung her eine höhere Temperatur hat, spricht man von „warmer Dunkler Materie“. Dieses Modell zeigt ebenfalls Resultate, die näher an den Beobachtungen liegen.

## Der Einfluss der Kernaktivität auf die Bildung elliptischer Galaxien

Kosmologische Simulationen, die Gasdynamik und Sternentstehungsprozesse einbeziehen, um einen direkten Vergleich mit den beobachteten Eigenschaften der Galaxien zu ermöglichen, stoßen trotz großer Erfolge noch auf erhebliche Schwierigkeiten. Ein zentrales Problem bisheriger Untersuchungen war, dass die simulierten elliptischen Galaxien blauer sind, d.h. zu viele junge Sterne enthalten als die beobachteten. Vermutlich reicht die Rückheizung des Gases durch die Explosion massereicher Sterne nach dem Erschöpfen ihrer Energiequellen nicht aus. Eine leistungsfähige Energiequelle bilden Aktive Galaktische Kerne, bei denen Gas auf ein zentrales massereiches Schwarzes Loch fällt und dabei extrem aufgeheizt wird. Wir zeigen, dass durch einen selbstregulierten Prozess in großen Galaxien die Sternentstehung schnell abgebrochen werden kann. Mit den ersten Simulationen dieser Art überhaupt untersuchen wir den Einfluss der Kernaktivität auf eine sich bildende elliptischen Galaxie. Ohne Schwarzes Loch ist die Form zwar mit einer beobachteten elliptischen Galaxie vergleichbar, doch das Zentralgebiet bleibt blau und hell. Erst die Berücksichtigung der AGN kann realistische Modelle liefern. Es ergeben sich Prognosen für die Anreicherung des intergalaktischen Mediums mit Metallen.

### The Influence of nuclear activity on the formation of elliptical galaxies

Cosmological simulations including gas dynamics and star formation processes, necessary for any comparison of theory with observed properties of galaxies, are despite of large progress still a challenging task. A central point of previous investigations was related to the too blue color of simulated elliptical galaxies,

i.e., they contain too many young stars. Probably the reheating of the cold gas by the explosion of massive stars after exhausting their energy resources is insufficient. Powerful energy sources are Active Galactic Nuclei, where cold gas is accreted by a massive central Black Hole, which becomes an effective energy source. We show that this process is a self-regulating process in massive galaxies and that it can switch off star formation quite fast and effectively. With the first simulations of this kind in a cosmological environment we study the influence of the nuclear activity on a forming elliptical galaxy.

The simulated morphology is comparable with an observed elliptical galaxy even without a black hole, but the central regions remains blue and bright. Only by taking into account an AGN we get a realistic model. Furthermore, we discuss predictions for the enrichment of the intergalactic medium with metals.

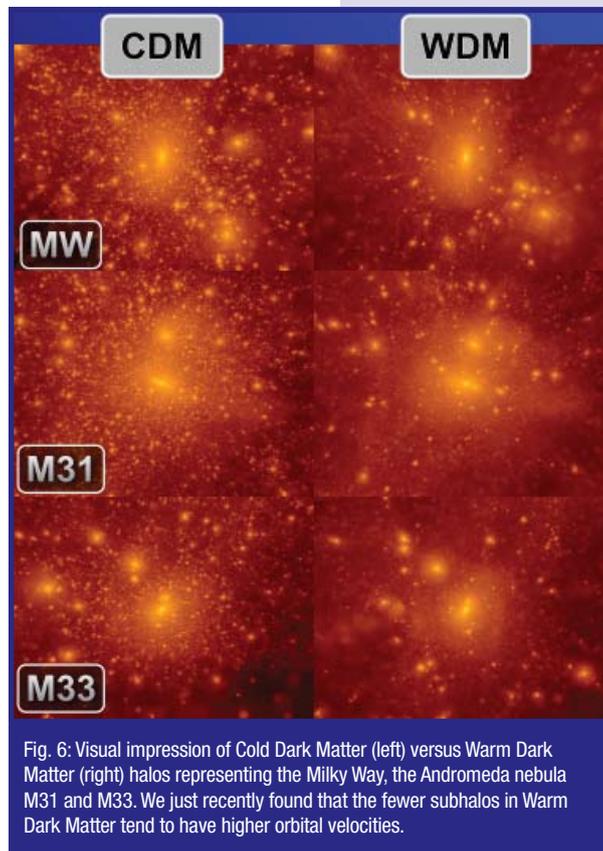


Fig. 6: Visual impression of Cold Dark Matter (left) versus Warm Dark Matter (right) halos representing the Milky Way, the Andromeda nebula M31 and M33. We just recently found that the fewer subhalos in Warm Dark Matter tend to have higher orbital velocities.

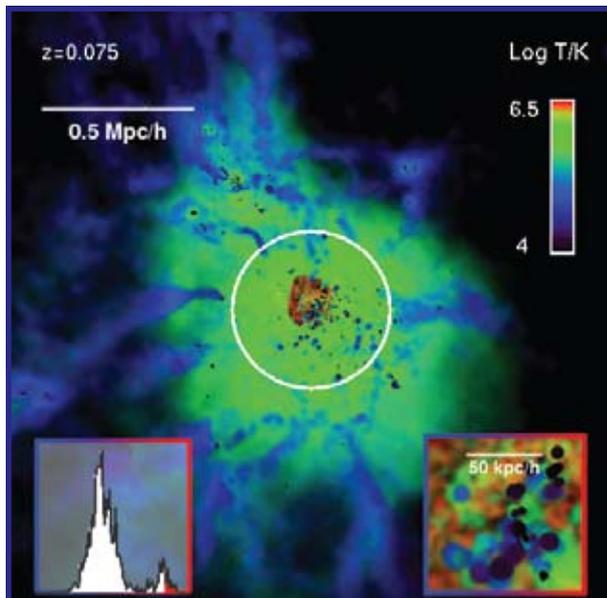


Fig. 7: Gas around a forming elliptical galaxy. The temperature is shown by color, the density by intensity. The inserted histogram shows the gas density distribution with maxima for the hot diluted and the cold dense phase. The red part of the last one denotes the star formation region. The evolution snapshot from about one billion years ago shows dramatic gas-dynamical processes connected with matter infall.

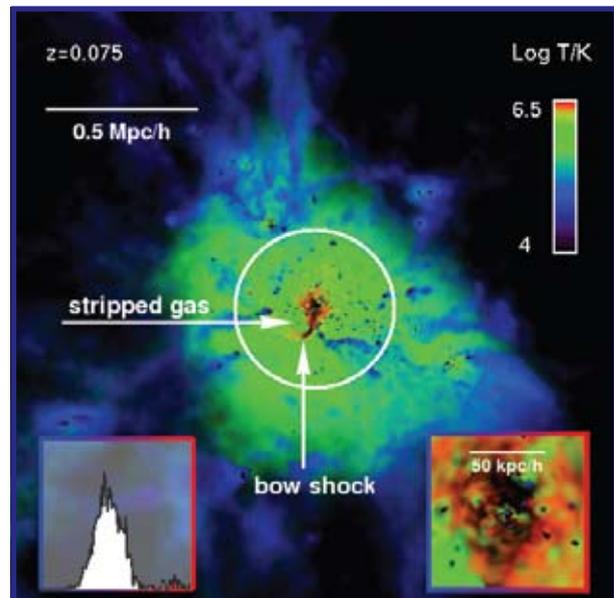


Fig. 8: A forming elliptical galaxy with quasar feedback that strongly heats up the central red part of the gas distribution.

#### Ausgewählte Publikationen *Selected Publications*

Ascasibar, Y. (2006): **Effect of dark matter annihilation on gas cooling and star formation**, *Astronomy & Astrophysics* 462, 65

Ascasibar, Y., Sevilla, R., Yepes, G., Müller, V., Gottlöber, S. (2006): **Adiabatic scaling relations of galaxy clusters**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 371, 193

Atrio-Barandela, F., Mücke, J. P. (2006): **The Contribution of the Intergalactic Medium to Cosmic Microwave Background Anisotropies**, *Astrophysical Journal* 463, 1

Einasto, M., Saar, E., Liivamägi, L. J., Einasto, J., Tago, E., Martínez, V. J., Starck, J.-L., Müller, V., Heinämäki, P., Nurmi, P., Gramann, M., Hütsi, G. (2007): **The richest superclusters. I. Morphology**, *Astronomy & Astrophysics* 476, 697

Faltenbacher, A., Hoffman, Y., Gottlöber, S., Yepes, G. (2007): **Entropy of gas and dark matter in galaxy clusters**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 376, 132

Gottlöber, S., Yepes, G. (2007): **Shape, Spin, and Baryon Fraction of Clusters in the MareNostrum Universe**, *Astrophysical Journal* 664, 117

Hoefl, M., Yepes, G., Gottlöber, S., Springel, V. (2006): **Dwarf galaxies in voids: suppressing star formation with photoheating**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 371, 401

Kim, T.-S., Bolton, J. S., Viel, M., Haehnelt, M. G., Carswell, R. F. (2007): **An improved measurement of the flux distribution of the Ly $\alpha$  forest in QSO absorption spectra: the effect of continuum fitting, metal contamination and noise properties**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 382, 1657

Maulbetsch, C., Avila-Reese, V., Colín, P., Gottlöber, S., Khalatyan, A., Steinmetz, M. (2007): **The Dependence of the Mass Assembly History of Cold Dark Matter Halos on Environment**, *Astrophysical Journal* 654, 53

Worseck, G., Wisotzki, L. (2007): **Quasars near the line of sight towards Q 0302-003 and the transverse proximity effect**, *Astronomy & Astrophysics* 450, 495

Yepes, G., Sevilla, R., Gottlöber, S., Silk, J. (2007): **Is WMAP3 Normalization Compatible with the X-Ray Cluster Abundance?** *Astrophysical Journal* 666, 61



**1**

LBT – Arizona, USA



**2**

APTs – Arizona, USA

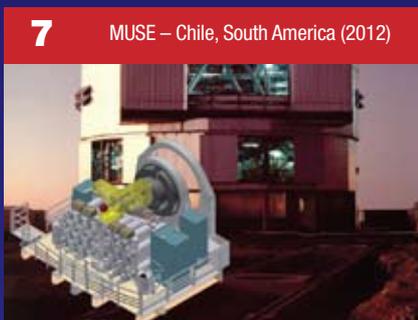
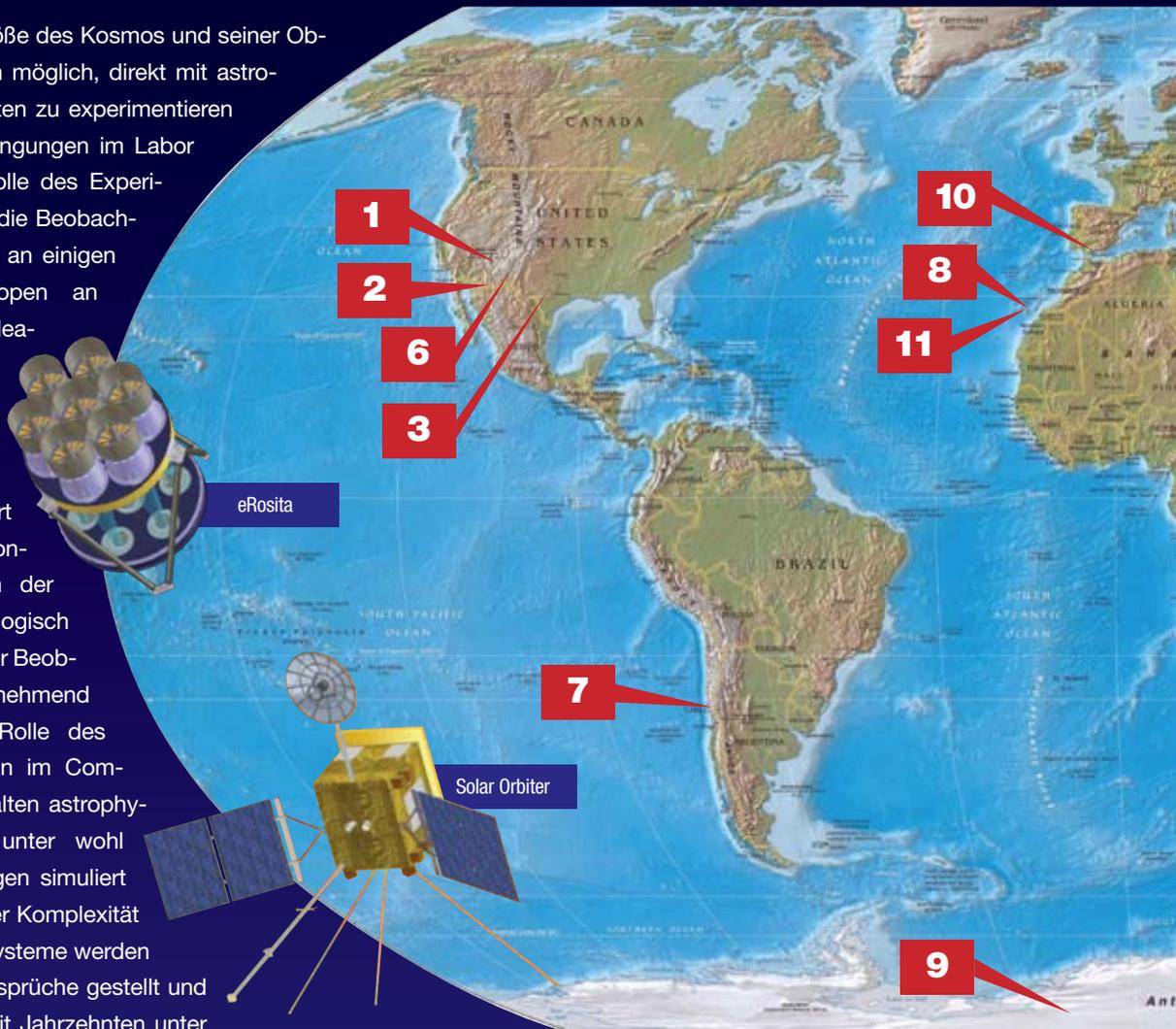


**3**

VIRUS / HET – Texas, USA (2013)

## Entwicklung von Forschungsinfrastruktur und -technologie

Bedingt durch die Größe des Kosmos und seiner Objekte ist es nur selten möglich, direkt mit astrophysikalischen Objekten zu experimentieren oder kosmische Bedingungen im Labor nachzustellen. Die Rolle des Experiments übernimmt so die Beobachtung, die zunehmend an einigen wenigen Großteleskopen an Orten mit möglichst idealen atmosphärischen Bedingungen (Arizona, Chile, Antarktis) bzw. im Weltall stattfindet. Somit fordert die Astrophysik kontinuierlich Geräte an der Grenze zum technologisch Machbaren. Neben der Beobachtung nimmt zunehmend der Computer die Rolle des Experiments an, denn im Computer kann das Verhalten astrophysikalischer Objekte unter wohl definierten Bedingungen simuliert werden. Auf Grund der Komplexität astrophysikalischer Systeme werden auch hier höchste Ansprüche gestellt und Astrophysiker sind seit Jahrzehnten unter den anspruchvollsten Nutzern nationaler und internationaler Höchstleistungsrechner. Die Wissenschaftler am AIP haben zur Umsetzung ihres Forschungsprogramms in vier zentralen Technologiegebieten, nämlich „Teleskopsteuerung und Robotik“, „Hochauflösende Spektroskopie und Polarimetrie“, „3D-Spektroskopie“ und „Supercomputing und E-Science“ Know-how erarbeitet und sind national wie international gefragte Partner. Die genannten Thematiken bilden den technologisch orientierten Entwicklungsschwerpunkt des Instituts.



**7**

MUSE – Chile, South America (2012)



**8**

GREGOR – Tenerife, Spain (2009)



**9**

ICE-T – Dome-C, Antarctica (2014)



**4** LOFAR – Bornim, Germany (2009)



**5** Solar Radio Observatory – Tretsdorf, GER



**6** SDSS – New Mexico, USA

## Development of Research Technology and Infrastructure



**4**

**5**

GAIA

XMM-Newton

**12**

Owing to the size of the cosmos and the objects within, it is rarely possible to emulate cosmic conditions in terrestrial labs, not to speak of actual physical experiments with astrophysical objects. Instead of experiments, astrophysicists observe the sky, to a larger and larger extent using a small sample of very large telescopes on sites with nearly optimum atmospheric conditions, like in Arizona, Chile or the Antarctica, or in space. Astrophysics continually pushes the limits of what is technologically feasible. In addition to observations, computer simulations are taking over the role of experiments as it is possible to simulate the behavior of astrophysical objects under varying well defined conditions. Owing to the complexity of astrophysical systems, the demands on the available hardware and software are extreme, and astrophysicists have routinely been amongst the power users of national and international supercomputer centers. The scientists at the AIP have developed considerable expertise in the areas of “Telescope Control and Robotics”, “High-Resolution Spectroscopy and Polarimetry”, “3D Spectroscopy” and “Supercomputing and E-science”, respectively, and are internationally well established partners. The before mentioned topics constitute the development area of the institute.

**10** PMAS – Calar Alto, Spain



**11** STELLA – Tenerife, Spain



**12** RAVE – Siding Springs, Australia





De-icing the STELLA weather station on Tenerife.

# Teleskopsteuerung und Robotik

## Telescope Control and Robotics



Team 06/07 (alphabet.): Michael Andersen, Janos Bartus, Svend-Marian Bauer, Wilbert Bittner, Frank Breitling, Frank Dionies, Daniel Döscher, Thomas Fechner, Daniel Fügner, Christian Fuhrmann, Thomas Granzer (head), Thomas Hahn, Ilya Ilyin, Arto Järvinen, Felix Krämer, Sergei Pankratow, Jens Paschke, Volker Plank, Emil Popow, Jesper Storm, Igor di Varano, Michael Weber, Manfred Woche, Klaus Strassmeier

### Die Robotische Sternwarte STELLA

Das STELLA-Projekt begann 1998 und wird heute vom AIP in Kooperation mit dem Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) in Izaña, einem Nachbargipfel des Pico del Teide auf einer Seehöhe von 2400 m auf Teneriffa betrieben (Abb. 1). Das Ziel von STELLA erschließt sich bereits aus der Abkürzung: STELLar Activity. Als robotisches Doppelteleskop kann STELLA einerseits mit extrem kurzer Reaktionszeit „punkten“, die bei Sternausbrüchen wichtig ist, andererseits ist es auch das ideale Instrument zur Beobachtung stellarer Aktivität über lange Zeiträume hinweg, also Zeiträume die in klassischen Observatorien nicht oder nur sehr schwer erreicht werden können. Um die Objektauswahl zu optimieren, wurde am AIP ein auf künstlicher Intelligenz beruhender Algorithmus entwickelt, der so erfolgreich ist, dass er inzwischen auch von anderen Instituten (z.B. dem Institut für Astronomie der Universität von Hawaii im Rahmen des VYSOS Projekts) verwendet wird. Wann immer möglich, laufen Steuerungsschritte parallel ab, so wird z.B., während die

### **The Robotic STELLA Observatory**

*The STELLA (Fig. 1) project began in 1998 and is now a joint-venture of the AIP and the Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Located at an elevation of 2400 m on summit Izaña it neighbors mighty Pico del Teide, Spains highest mountain. As the acronym already tells: STELLA's (from STELLar Activity) main goal is the observation of stellar activity phenomena. As a robotic telescope, STELLA is able to quickly react to unforeseen events – essential for stellar eruptions – but may also be used for tedious, long-term observations not possible on classically scheduled telescopes. For optimal use of the available night-time, the AIP developed a scheduling algorithm based on a dispatch scheme, which proved so successful that already some other institutes (like the IoA of the University of Hawaii for the VYSOS-project) are using it. Subtasks run in parallel, whenever possible, e.g., telescope slewing starts when the image is still transferred to hard disc. Identification and classification of objects has been tuned such that centering on a single star even in crowded fields poses no problem.*



Fig. 1: STELLA-I in front, STELLA-II in the back during inauguration in May 2006.

letzte Aufnahme gespeichert wird, das Teleskop auf das nächste Objekt ausgerichtet. Wertvolle Zeit wird dadurch gespart. Auch die Identifizierung des Objekts erfolgt automatisch, so dass selbst in dichten Sternhaufen immer auf das ausgewählte Objekt zentriert wird.

STELLA-I ist ein 1,2 m f/8 Cassegrain System in Alt/Az Montierung, beide Nasmyth foci können mit Instrumenten bestückt werden. STELLA-II, ebenfalls mit 1,2 m, f/10 wird nur im F1, dem Newton Fokus betrieben, erlaubt aber auf Grund des fehlenden Sekundärspiegels die volle Ausnutzung der Spiegelfläche. Beide Teleskope wurden von Halfmann Teleskoptechnik in Neusäß nahe Augsburg gefertigt. STELLA-I hatte „first-light“ am Firmengelände am 3.11.2004 und wurde noch im selben Monat nach Teneriffa geliefert. Obwohl für CCD imaging und Photometrie optimiert, betreibt STELLA-I vorerst den STELLA Échelle Spektographen (SES, siehe auch Programmbereich „Hochauflösende Spektroskopie“). Am 9. 9. 2005 wurde das erste Sternenlichtspektrum von  $\alpha$  Tauri, einem K5 III Riesen, aufgenommen. Der volle robotische Betrieb von STELLA-I begann im April 2006.

*STELLA-I is a 1.2m f/8 Cassegrain system, mounted in Alt/Az. Both Nasmyth foci are accessible. STELLA-II, 1.2 m f/10 on the other hand can only operate in the Newton focus F1, which spares any obscuration from a secondary mirror. Both telescopes have been built by “Halfmann Teleskoptechnik” in Neusäß/Augsburg. STELLA-I saw first light on 3 Nov 2004, and was readily shipped to Tenerife. Though optimized for imaging, it currently feeds the STELLA Échelle spectrograph (SES, see programme area “High Resolution Spectroscopy” for details). On 9 Sept 2005, first star light of the K5III giant  $\alpha$  Tau was recorded, full robotic observation started in April 2006. STELLA-II was delivered to Tenerife in the same year around Dec 12<sup>th</sup>, and is since then used as a test-bed for a new, two-phased guiding system including information from a piggy-back refracting telescope. With the finalization of the Wide-field STELLA Imaging Photometer (WiFSIP, Fig. 2) in spring 2008, the feeding fiber of the SES will be transferred to STELLA-II. WiFSIP itself contains 24 different filters, amongst others the full Johnson/*

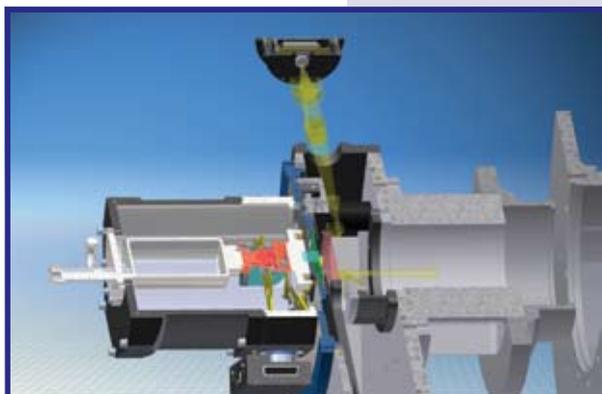


Fig. 2: Design drawing for the Wide-Field STELLA Imaging Photometer (WiFSIP).

STELLA-II wurde am 12.12.2005 nach Teneriffa gebracht und durchläuft dort seither eine aufwändige Testphase. Unter anderem werden ein neuartiges, zweiphasiges, automatisches Nachführungssystem, das auch zusätzliche Informationen eines Leitfernrohres verwendet, getestet. Mit der Fertigstellung des Wide-Field STELLA Imaging Photometers (WiFSIP, Abb. 2) im Frühjahr 2008 wird die Einkoppelung des SES auf STELLA-II überführt. WiFSIP wird über 24 verschiedene Farbfilter verfügen, unter anderem wird der gesamte Johnson/Cousins, Strömgren und Sloan Filtersatz verwendet. Das Gesichtsfeld, das sich über 22 Bogenminuten erstreckt (zum Vergleich: der Vollmond hat einen Durchmesser von ca. 30 Bogenminuten), wird von einer hochauflösenden CCD mit  $4k \times 4k$  Punkten abgebildet. Innerhalb von 10 Sekunden werden damit Sterne bis zu einer Helligkeit von  $R = 20$  m erreicht.

Am 18.5.2006 wurde STELLA in einer feierlichen Zeremonie seiner wissenschaftlichen Bestimmung übergeben. Beeindruckend ist die Anzahl der seit diesem Zeitpunkt gewonnenen Daten: 9838 Spektren von 198 verschiedenen Sternen wurden aufgenommen, die totale Belichtungszeit summiert sich auf mehr als 10 Mio. Sekunden (Stand: Ende 2007). Im gleichen Zeitraum beträgt die theoretisch nutzbare Nachtzeit 16,5 Mio. Sekunden, in der aber noch Zeiten hoher Bewölkung enthalten sind. Noch deutlicher wird die Überlegenheit robotischer Beobachtung, wenn man die totale Belichtungszeit einerseits mit der totalen Beobachtungszeit (die das Zentrieren auf ein Objekt und den Instrumentenwechsel einschließt), andererseits vergleicht. Hier kommt man auf ein Verhältnis von 90,8%, eine Effizienz, die nur durch den robotischen Betrieb von STELLA ermöglicht wird.

## Das Schulteleskop RoboTel

RoboTel ist in vieler Hinsicht der kleine Bruder von STELLA. Vom Prinzip her baugleich, ist nur der Hauptspiegel mit einem Durchmesser von 80 cm etwas geringer. RoboTel befindet sich am Institutsgelände in Potsdam-Babelsberg. Wie bei STELLA-I können beide Nasmyth Foci verwendet werden. 2008 wird für RoboTel ein Photometer gebaut, das identisch mit dem WiFSIP Instrument für STELLA ist. Einerseits wird es die wissenschaftliche Beobachtung mit dem 70 cm-Teleskop ergänzen, zu 50% aber auch lokalen Gymnasien als Schülerteleskop zur Verfügung stehen. Vor allem im Internationalen Jahr der Astronomie 2009 hoffen wir auf rege Beteiligung der Schulen.

In den vergangenen Jahren wurden die baulichen Voraussetzungen für den vollautomatischen Betrieb geschaffen, die Kuppel wurde modernisiert und robotisiert. Eine Wetterstation versorgt den Zentralrechner mit meteorologischen Daten, an Hand derer über das Öffnen der Kuppel entschieden wird.



Fig. 3: The antarctic research station Concordia on DomeC.



Fig. 4: The proposed first field of ICE-T at galactic longitude  $l = 292^\circ$ , latitude  $b = -5^\circ$ . Stars from USNO-B1.0 down to  $R = 16$  m are shown.

*Cousins set, the Strömgren set, and the Sloan set. The field-of-view covers 22 arc minutes (compare to the full moon with its roughly 30 arc minutes) and will be recorded by a  $4k \times 4k$  CCD. We expect to reach  $R = 20$  m within 10 sec.*

*On 18 May 2006 STELLA was inaugurated. Since then, 9838 spectra of 198 different stars have been recorded (as of Dec 2007). Shutter-open time sums up to more than 10 Mio. sec., compared to a usable night-time of 16.5 Mio. sec. If you relate the shutter-open time to the total observing time, this means including acquisition and instrument change, the rate is 90.8% – an efficiency hardly to reach for non-robotic observatories.*

### The RoboTel School Telescope

*In many means RoboTel is the little brother of STELLA, except for the smaller main mirror of 80 cm. RoboTel is located at the institute's campus in Potsdam-Babelsberg. Similar to STELLA-I, both Nasmyth foci are accessible. A copy of WiFSIP for STELLA is envisioned for 2008. RoboTel should support observations of the institute's 70 cm telescope and will also provide a 50% time-share to local schools. Especially in the Interna-*

## Das Medien und Kommunikationszentrum MCC

Hier laufen alle Fäden von STELLA, RoboTel und in Zukunft auch von PEPSI und ICE-T zusammen. Fäden, das bedeutet auch Daten: Im Keller werden ankommende Beobachtungen auf einem Großrechner archiviert und analysiert. Im Robotiklabor werden die Steuerdaten der robotischen Teleskope in für Menschen verträglicher Form dargestellt, gleichzeitig kann auch von hier aus die Kontrolle über die Teleskope übernommen werden. Remote observing als „kleiner Bruder“ des robotischen Beobachtens ist von hier aus möglich.

## Das ICE-T Projekt

Lange Zeit war schon vermutet worden, dass die Beobachtungsbedingungen am Dome-C, einer 3250 m hohen Kuppe im antarktischen Plateau, mehr als 1500 km vom Südpol entfernt, ideal für astronomische Nachtbeobachtungen sind. Messungen aus den letzten antarktischen Nächten bestätigen diese Vermutungen: Nirgendwo sonst auf der Erde ist das atmosphärische Rauschen („seeing“) so niedrig, nirgendwo sonst sind die Luftunruhe („Szintillation“) und die Luftfeuchtigkeit so gering. Die Bedingungen sind so ideal, dass selbst das Erreichen der Auflösung des Hubble Space-Teleskopes – bei gleichem Spiegeldurchmesser – möglich erscheint. Ungleich niedriger sind die geschätzten Errichtungskosten: Ein Teleskop vergleichbarer Größe zu Hubble würde nur 10% der Kosten verursachen.

Mit der Öffnung der französisch-italienischen geophysikalischen Forschungsstation Concordia, ideal auf dem höchsten Punkt von Dome-C gelegen, ergeben sich ungeahnte Möglichkeiten für die europäische Nachtastronomie, auch und insbesondere für das AIP (Abb. 3). Dank unserer Expertise in stellarer Photometrie gelang es dem AIP, gemeinsam mit dem Alfred-Wegener Institut in Bremerhaven ein kombiniertes Atmosphären-/Astrophysik Forschungsprojekt in die Wege zu leiten: Ein Sternphotometer ab 2008 bzw. das International Concordia Explorer Teleskop (ICE-T) in seiner finalen Ausbaustufe ab 2012. ICE-T wird dabei als Doppeltubus Wynne-Schmidt Teleskop ausgeführt, mit je 81 cm Hauptspiegeldurchmesser und einer Korrektorplatte mit 60 cm (Abb. 5). Das mechanische Design soll so simpel wie

*tional Year of Astronomy in 2009, we expect increased interest.*

*The last years saw the completion of the necessary adaptations of the RoboTel building. The dome has been renovated and robotized. A weather station feeds its data to the control computer, which decides on opening.*

### **The Media and Communication Centre MCC**

*The MCC is the heart of the operation of STELLA and RoboTel. In the near future, PEPSI and ICE-T will also be steered from there. The MCC also houses the main data archive and processing unit. In the robotics lab, the control data is transformed and visualized in a more human-friendly way. Direct interaction with the telescopes in a remote-observing mode is possible.*

### **The ICE-T Project**

*It was suspected for quite some time, that the observing conditions on Dome-C, an Antarctic summit at elevation 3250 m, are outstanding. Measuring campaigns in the last Antarctic nights confirm the fabulous seeing, scintillation, and precipitable water vapor conditions. The conditions appear to be so ideal, that even a “Hubble-on-ground“ seems possible – at only 10% of the costs.*

*With the opening of the French/Italian geophysics research station Concordia for night-time astronomy, a whole new area of ground-based research is at dawn (Fig. 3). Due to AIP’s well-known expertise in stellar photometry, it was possible for us to launch a combined astrophysics/atmosphere physics project together with the Alfred-Wegener Institute, Bremerhaven. Starting in 2008, a small star photometer will be deployed on Dome-C, to be replaced by the International Concordia Explorer Telescope, ICE-T in 2012. It will be a twin-tube*

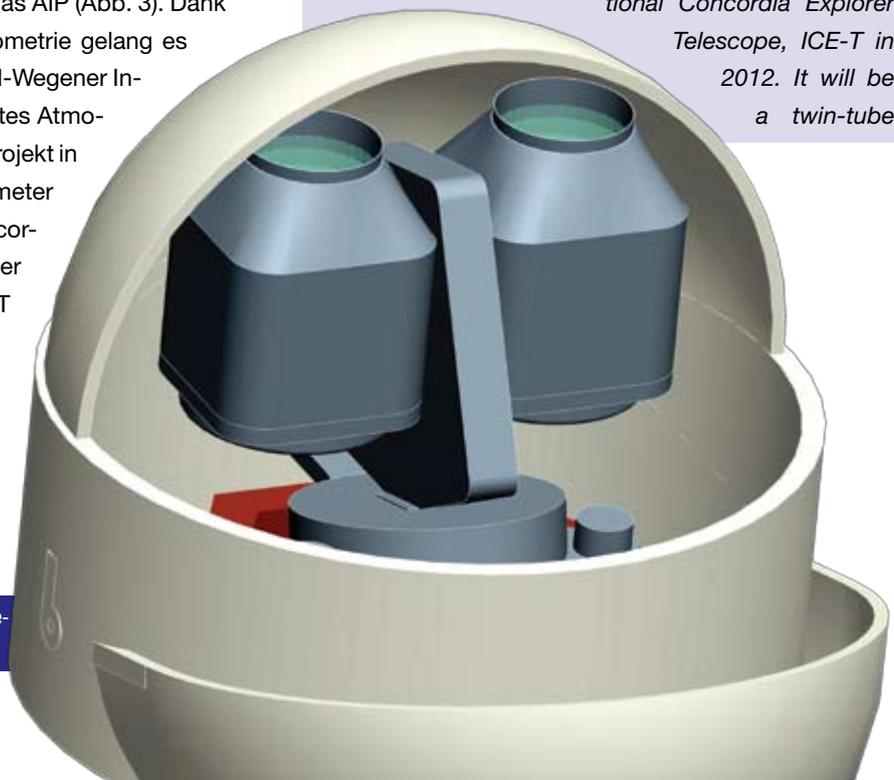
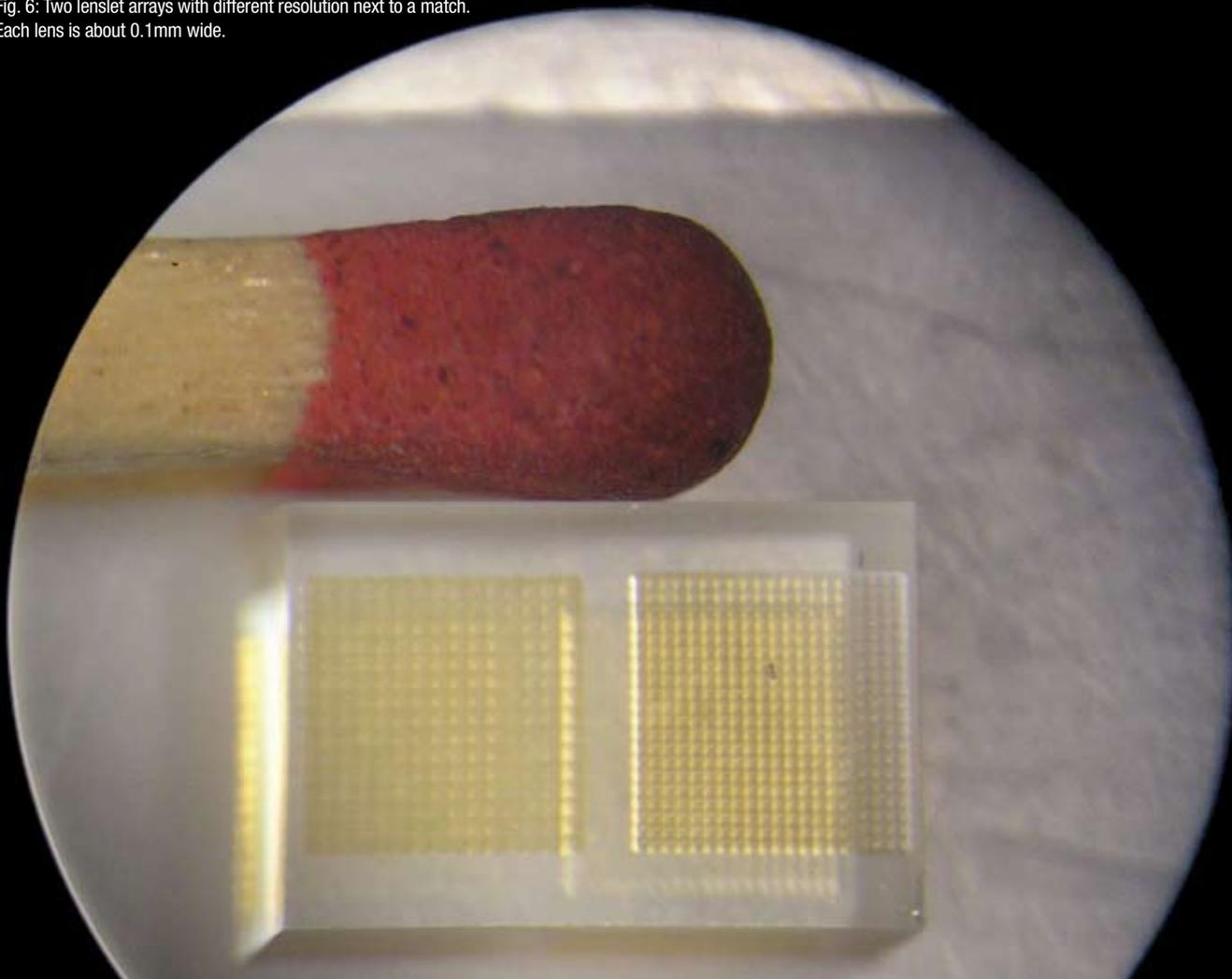


Fig. 5: Design drawing of ICE-T. Note the double-tube structure and the slightly tilted RA axis.

Fig. 6: Two lenslet arrays with different resolution next to a match. Each lens is about 0.1mm wide.



nur irgend möglich gehalten sein: Während der gesamten Beobachtungsperiode von einer arktischen Nacht wird nur ein einzelnes Himmelsfeld aufgenommen (Abb. 4). Kurze Belichtungszeiten erlauben uns, ICE-T ohne aktive kontrollierte Nachführung zu betreiben, die Aufhängung wird ähnlich einer parallaktischen Montierung nur eine nachführende Achse benötigen. Das nutzbare Gesichtsfeld von  $8,1^\circ \times 8,1^\circ$  (ca.  $12^\circ$  Durchmesser) erlaubt die Beobachtung von mehr als 100.000 Sternen, simultan in zwei Bandpässen durch die doppelte Teleskopform. Das außergewöhnlich große Gesichtsfeld verlangt auch nach außergewöhnlich großen CCDs:  $10k \times 10k$  pixel werden alle 10sec eine Aufnahme erlauben. Die anfallenden Datenmengen sind enorm: knapp 75 GB/h (nicht komprimiert), kontinuierlich während der mehrere Monate dauernden antarktischen Nacht kumulieren sich zu mehr als 10 TB. Durch die entsprechend niedrige Internet Anbindungsrate ist online Datentransfer auszuschließen, selbst eine Datenreduktion vor Ort am gesamten Datensatz erscheint unrealistisch. Zur Qualitätskontrolle sollen nur wenige ausgewählte Aufnahmen vor Ort ausgewertet werden und zum AIP transferiert werden, die eigentlichen Daten sollen in traditioneller Weise zum Institut gebracht werden: Durch Ausbau bzw. Austausch der Festplatten während des antarktischen Sommers. Aber der Aufwand

*Wynne-Schmidt telescope, main mirror size 81 cm, corrector plate 60 cm diameter (Fig. 5). The mechanical design targets at highest simplicity possible.*

*During an entire observing season, a single science field will be observed (Fig. 4). Short integration times make active guiding unnecessary. Tracking can be achieved on a single axis; the mount will be parallactic. The field-of-view will be as large as  $8.1^\circ \times 8.1^\circ$  (roughly  $12^\circ$  circular), and simultaneous observation of more than 100,000 stars in two filters is possible. The extremely large field-of-view demands extremely large detectors: We will use two  $10k \times 10k$  CCDs. At an exposure time of 10sec, combined with a read-out time of the same duration, this will amount to a data rate of almost 75 GB/h (uncompressed), or to more than 10 TB during an Antarctic night. Online transfer of the data is impossible, therefore only selected frames will be processed on-site and transferred back for data quality monitoring. The main data will be transferred in old-fashioned style by exchanging the hard disc array during Antarctic summer. But it will pay off: Several thousands of "hot Jupiters" are expected to be detected, as well as maybe a few "Earths". The rather unique capability of having two band-passes at hand (similar missions like the Kepler satellite mission will observe*

sollte sich bezahlt machen: Mehrere tausend „heiße Jupiter“ und möglicherweise einige „Erden“ werden mit ICE-T zu entdecken sein. Durch die zusätzliche Kombination zweier Bandpässe (vergleichbare Projekte wie z.B. die Kepler Mission beobachten meist im integralen Licht) kann zwischen verschiedensten Klassen der Veränderlichkeit unterschieden werden: so lassen sich Lichtwechsel durch Sternflecke von Planetentransits trennen, die Zuordnung der Phänomene mittels automatisierter Algorithmen wird zuverlässiger. Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt soll deshalb auch den Zusammenhang zwischen Aktivität des Muttersterns und Einflüsse durch ihm nahe Planeten erforschen.

## Acquisition, Guiding & Wavefront Sensing Einheiten

Als Partner im Large Binocular Telescope Consortium (LBTC) steuert das AIP den Entwurf und den Bau der sogenannten Acquisition, Guiding, and Wavefront-sensing (AGW, grob übersetzt: Zentrieren, Nachführen und Wellenfrontanalyse) Einheiten bei. Jede dieser Einheiten ist ein integraler Bestandteil des Teleskops und unterstützt mehrere der wissenschaftlichen Instrumente. Am AIP werden insgesamt vier dieser Einheiten gebaut. Jede Einheit besteht aus zwei, frei in der Fokalebene verstellbaren Kameras, die „Guiding“-Kamera für die Nachführung und die „Wavefront-Sensing“-Kamera für die Wellenfrontanalyse. Die freie Bewegbarkeit ist notwendig, um einen beliebigen (hellen) Referenzstern am Rande des Gesichtsfeld des Hauptinstrumentes auszuwählen. Mit der Guiding-Kamera wird jede noch so kleine, durch Nachführschwankungen des Teleskops verursachte, Bewegung des Referenzsterns gemessen und ein Signal zur Kompensation der Abweichung an die Steuerung des Teleskops gesendet. Auf diese Weise wird das eigentliche Objekt im Zentrum des wissenschaftlichen Hauptinstrumentes gehalten. Das langwellige Licht des Referenzsterns wird von der zweiten

*only in integral light) will allow to easily disentangle stellar activity phenomena from transit events, making the applicability of automated algorithms more reliable. A key investigation should therefore study the link between stellar activity and the proximity of orbiting planets.*

### Acquisition, Guiding & Wavefront Sensing Units

*As partner of the LBT consortium (LBTC) the AIP is contributing to the construction of the telescope by building the so called Acquisition, Guiding, and Wavefront Sensing Units (AGW units), including optics, mechanics, electronics and control software.*

*The AGW units are an integral part of the telescope and will support several of its science instruments. The AIP is building four of these units which each consists of a guide camera and a wavefront sensing camera which can be moved around in the focal plane of the telescope to find a suitable reference or “guide” star. The guiding camera will observe the guide star close to the field observed by the science instrument. If this star moves ever so slightly on the detector due to inaccuracies in the tracking system, signals will immediately be sent to the telescope to compensate the movement. In this way the celestial target on the science instrument will be kept at the proper position with a very high degree of accuracy.*

*The wavefront sensor on the other hand will use the red part of the light from the guide star to analyze the shape and alignment of the main mirrors of the telescope. Any deviations from the best possible alignment and shape will immediately be corrected thus ensuring the sharpest possible images.*

*The wavefront sensor uses a tiny lenslet array to split the light from different parts of the main mirror into separate images. The lenslet array is shown in Fig. 6. Each of the lenses is only a tenth of a mm wide and has been produced by the company SMOS micro-optics using a special ion-exchange process.*

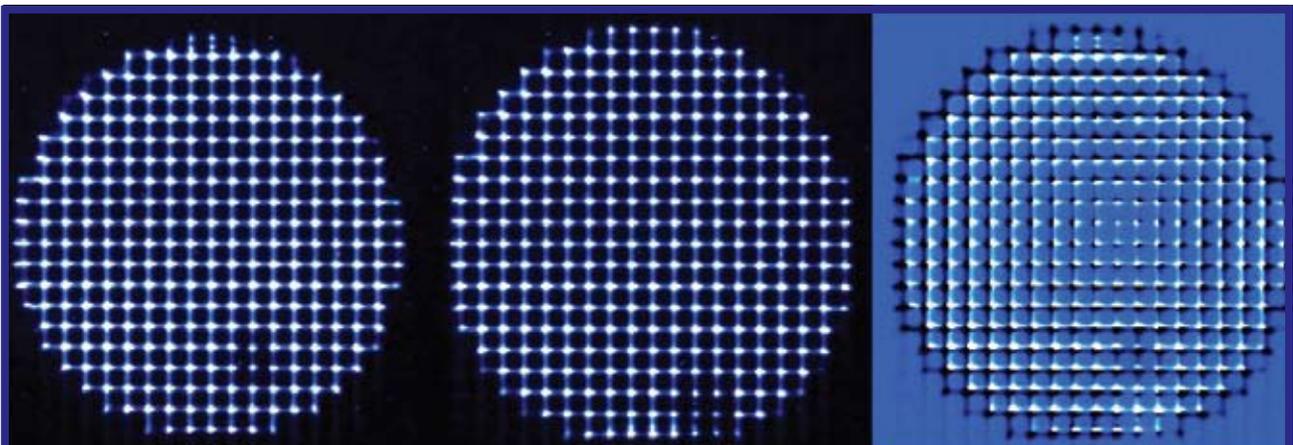


Fig. 7: Three images from the wavefront sensor. To the left is a reference image. The middle picture is obtained with the camera slightly out of focus and the right image shows the difference between the two illustrating the sensitivity to focus changes.

Kamera benutzt, um die Durchbiegung des Hauptspiegels zu überwachen: Abweichungen von der idealen Form werden sofort zur Korrektur an das Stellsystem des Hauptspiegels weitergeleitet, die Bildschärfe wird gewahrt.

Die Wellenfrontanalysekamera spaltet das Licht des Referenzsterns an einem winzigen Netz von nur 0,1 mm großen Linsen auf (siehe Abb. 6). Die Fertigung dieser Linsen ist äußerst komplex und wurde von der Firma SMOS Micro-Optics mit Hilfe eines speziellen Ionenaustauschprozesses durchgeführt. Dieses Linsennetz produziert ein multiples Bild des Referenzsterns, wie in Abb. 7 gezeigt. Jedes dieser einzelnen Bilder entspricht einer Position des Hauptspiegels. Veränderungen in der Form können durch Verschiebungen der Bilder untereinander festgestellt werden. Aus dieser Verschiebung wird dann rechnerisch ermittelt, welche der 158 Aktuatoren an der Rückseite des Hauptspiegels um welchen Betrag verstellt werden müssen, um wieder ein ideales Bild zu erreichen.

2006 wurde die erste AGW Einheit nach ausführlichen Tests am AIP zu unseren Partnern nach Italien geliefert. 2007 erfolgte dann die Lieferung einer zweiten Einheit direkt an das LBT in Arizona (Abb. 8). Hier wird sie zunächst zur genauen optischen Einrichtung des Systems verwendet.

The lenslet array produces an array of images of the guide star as shown in Fig. 7. Each image corresponds to a certain position on the main mirror of the telescope and if the image has moved with respect to a calibration image, it means that the corresponding part of the mirror is no longer in the best possible configuration. The system will determine the corrections to the mirror shape which are necessary and then change the shape of the main mirror with 158 actuators on the back side of the main mirror.

In 2006, the first AGW unit was delivered to our partners in Italy after it had been thoroughly tested in the laboratory at the AIP. In 2007, a second unit was completed and installed directly at the Large Binocular Telescope in Arizona where it at first will be used for aligning the telescope (Fig. 8).



Fig. 8: The second AGW unit being mounted on the LBT in Oct. 2007.

#### Ausgewählte Publikationen Selected Publications

Tosti, C.G., Nucciarelli, G., Bagaglia, M., Mancini, A., Castellini, S., Straniero, O., Briguglio, R., Strassmeier, K.G., Stello, D. and The IRAIT Collaboration (2007): **Small IRAIT Telescope: photometry and asteroseismology at Dome**, *Communications in Asteroseismology*, 150, 315

Strassmeier, K.G., Agabi, K., Agnoletto, L., Allan, A., Andersen, M.I., Ansorge, W. et al (2007): **Telescope and instrument robotization at Dome C**, *Astronomische Nachrichten*, 328,451

Strassmeier, K.G. (2006): **STELLA: Two New Robotic Telescopes for Binary-Star Research**, *Astrophysics and Space Science*, 304, 397

Strassmeier, K.G., Herber, A., Vitale, V., Cutispoto, G., Ribasi, I., Korhonen, H., Andersen, M. and Granzer, T. (2006): **The International Concordia Explorer Telescope: a joint telescope for atmospheric and astrophysical applications at Dome C**, *Astronomy in Antarctica*, 26<sup>th</sup> meeting of the IAU, Special Session 7, 22-23 August, 2006 in Prague, Czech Republic, SPS7, 18, 7

Granzer, T. (2006): **STELLA and RoboTel – a prototype for a robotic network?** *Astronomische Nachrichten*, 327, 792

Tosti, G., Busso, M., Nucciarelli, G., Bagaglia, M., Roncella, F., Mancini, A., Castellini, S., Mariotti, M., Babucci, E., Chiocci, G., Straniero, O., Dolci, M., Valentini, G., di Varano, I., ... and Strassmeier K.G. (2006): **The International Robotic Antarctic Infrared Telescope (IRAIT), in Space Telescopes and Instrumentation II: Ultraviolet to Gamma Ray**. Edited by Turner, Martin J. L. and Hasinger, Günther. *Proceedings of the SPIE*, Volume 6267

Allan, A., Bischoff, K., Burgdorf, M., Cavanagh, B., Christian, D., Clay, N., Dickens, R., Economou, F., Fadavi, M., Frazer, S., Granzer et al. (2006): **Operating a heterogeneous telescope network, In Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy**. Edited by McLean, Ian S., Iye, Masanori. *Proceedings of the SPIE*, Volume 6270

Grundahl, F., Kjeldsen, H., Frandsen, S., Andersen, M., Bedding, T., Arentoft, T. and Christensen-Dalsgaard, J. (2006): **SONG: Stellar Oscillations Network Group . A global network of small telescopes for asteroseismology and planet searches**. *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 77, 458



First integration of the PEPSI main collimator corrector lens with its mechanical mount.

# Hochauflösende Spektroskopie und Polarimetrie

## *High-resolution Spectroscopy and Polarimetry*



Team 06/07 (alphabet.): Michael Andersen (head until 07/07), Janos Bartus, Svend-Marian Bauer, Wilbert Bittner, Frank Dionies, Thomas Fechner, Thomas Granzer, Thomas Hahn, Axel Hofmann, Ilya Ilyin, Christian Jänicke, Arto Järvinen, Felix Krämer, Ronald Materne, Jens Paschke, Klaus Strassmeier, Emil Popow, Michael Weber (head since 08/07), Manfred Woche, Dieter Wolter

Hochauflösende Spektroskopie ist ein fundamentales Werkzeug der modernen Astrophysik. Sie wird verwendet um die chemische Zusammensetzung und den physikalischen Zustand von Sternen zu bestimmen, um Rückschlüsse auf die Struktur des interstellaren Mediums zu ziehen und um die Frühzeit des Universums mit Hilfe von Quasaren zu untersuchen. Außerdem kann die zeitliche Entwicklung der „circumburst“ Materie bei Gamma-Ray Bursts untersucht und zeitabhängige Variationen der Linienprofile pulsierender Sterne beobachtet werden, um einige Beispiele zu nennen.

Um Beobachtungen wie die vorgenannten zu ermöglichen, entwickelt das AIP mehrere hochauflösende Spektrographen und einen Stokes-Polarimeter: den Stella Echelle Spektrographen (SES), der sich zur Zeit im wissenschaftlichen Probetrieb befindet, das Potsdam Echelle Polarimetric and Spectroscopic Instrument (PEPSI), das sich zur Zeit im Bau befindet, und den GREGOR Nachtspektrographen (Gregor@Night), der sich im Planungsstadium befindet.

*High resolution spectroscopy is a fundamental tool of modern day astrophysics. It is used to derive the chemical composition and the physical state of stars, to gain knowledge about the structure of the interstellar medium, or to probe the early universe using Quasars. It is also used to analyze the temporal evolution of the circumburst matter in gamma ray bursts, and to measure dynamic properties of objects like pulsating stars, to name a few applications.*

*To make observations like these possible, the AIP develops several high-resolution spectrographs and a Stokes-polarimeter: the Stella Echelle Spectrograph (SES), currently in science demonstration mode, the Potsdam Echelle Polarimetric and Spectroscopic Instrument (PEPSI), currently under construction, and the GREGOR night-time spectrograph (Gregor@Night), which is in the planning phase.*



Fig. 1: PEPSI support containers before shipping to Mt Graham.

## Der PEPSI Echelle Polarimeter und Spektrograph

PEPSI ist ein hochauflösender Echelle Spektrograph mit zwei Polarimetern für das LBT. Der Weißpupillen-Spektrograph befindet sich auf einem optischen Tisch innerhalb einer Temperatur- und Luftdruckstabilisierten Kammer, die sich am Boden des Teleskopfußes befinden wird. Der Spektralbereich beträgt 390 bis 1050 nm, ist auf einen roten und blauen Arm aufgeteilt, und wird mittels dreier Einzelbelichtungen erhalten. Zusätzlich kommen drei verschiedene Faser/Image-Slicer Kombinationen zum Einsatz, um die spektralen Auflösungen von 40.000, 120.000 und 300.000 zu erreichen. Diese Image-Slicers sind modernste Wellenleiter-Einheiten, die in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für Angewandte Optik in Jena entwickelt werden. Der erste 3-Slice Prototyp wurde erfolgreich am STELLA Spektrographen auf Teneriffa getestet.

Die Haltevorrichtungen für die „Permanent Fiber Focus Units“ (PFU) sind am 5. Nasmyth Fokus des LBT angebracht worden. Diese PFUs werden benötigt, um Licht in den Spektrographen zu füttern, falls die Polarimeter, die sich die Fokalstation mit dem Instrument MODS teilen, nicht am Teleskop verfügbar sind.

Die Druckkammer, in der sich der Spektrograph befindet, durchläuft zur Zeit die letzten Tests der Temperatur- und Druckregelung. Im Anschluss können die optischen Komponenten des Spektrographen nach und nach in die Kammer gebracht werden.

Die Grenzgröße die mit PEPSI beobachtet werden kann wird bei einer Auflösung von 120.000, einem S/N von 10, einer Stunde Belichtung bei einem Seeing von 0,7" in etwa  $V = 20$  mag betragen. Die hauptsächliche wissenschaftliche Zielsetzung wird die Magnetfeldbeobachtung auf Sternoberflächen sein. Durch das Studium dieser Magnetfelder erhoffen wir uns weitere Erkenntnisse über die eigene Sonne, wie sie entstanden ist und welche Rolle unser Planetensystem dabei spielte und noch spielen wird.

## PEPSI, the Potsdam Echelle Polarimetric and Spectroscopic Instrument

PEPSI is a high resolution Echelle spectrograph with two polarimeters for the LBT. The white-pupil spectrograph is bench-mounted in a temperature and pressure stabilized environment, which is located at the bottom of the telescope pier. The spectral coverage is from 390 nm to 1050 nm distributed over a red and a blue arm, and can be obtained in three exposures. In addition, three different fiber/image-slicer combinations can be chosen to achieve spectral resolutions of 40,000, 120,000 and 300,000. The image slicers are state-of-the-art waveguide devices, which are developed in cooperation with the Fraunhofer Institute for Applied Optics in Jena. The first three-slice prototype device has been tested successfully using the STELLA spectrograph on Tenerife.

The mounting brackets of the Permanent Fiber Focus Unit (PFU) have been fit to the 5<sup>th</sup> Nasmyth focus of the telescope. These PFUs will be used to feed light to the spectrograph, if the polarimeters, which share their focal position with the MODS instrument, are not mounted on the telescope.



Fig. 2: Measuring the PEPSI collimator mirror in the optics lab.

## Solar Disk Integrated Teleskop

Das „Solar Disk Integrated (SDI) Teleskop“ wird das Licht der räumlich unaufgelösten Sonnenscheibe mittels einer Glasfaser in den PEPSI Spektrographen füttern. Dessen Zweck ist einerseits eine externe Kalibrationsquelle für den höchsten Auflösungsmodus von PEPSI, andererseits werden kontinuierlich Spektren der Sonne aufgezeichnet um die Variationen von Spektrallinien-Bisektoren im Verlauf des Aktivitätszyklus zu erhalten.

## STELLA Echelle Spektrograph

Der STELLA Echelle Spektrograph (SES) ist ein moderner Weißpupillen-Spektrograph mit einer moderat hohen spektralen Auflösung von 55.000 und einem festen Wellenlängenbereich von 390 bis 900 nm, der mit einer einzigen Belichtung erhalten wird. Der Spektrograph ist auf einem optischen Tisch in einem temperaturstabilisierten Raum aufgebaut und mit dem Teleskop mittels einer 15 m langen Lichtleitfaser verbunden. Die Faser hat einen Kerndurchmesser von 50 µm mit einer Mikrolinse auf der Einkoppel-seite, welche eine freie Apertur am Himmel von 2,8“ ergibt.

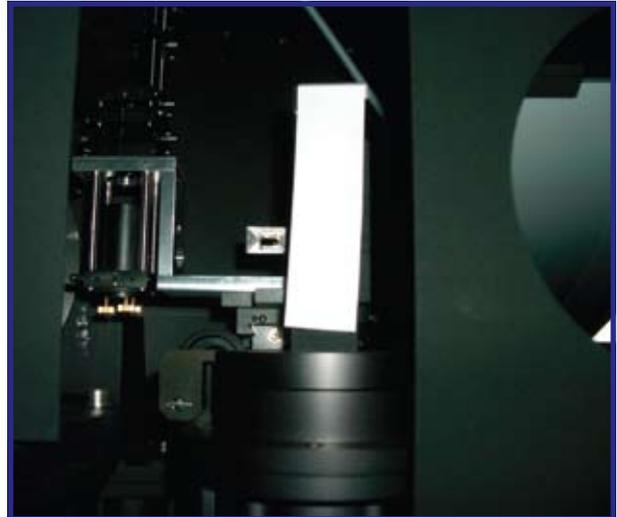
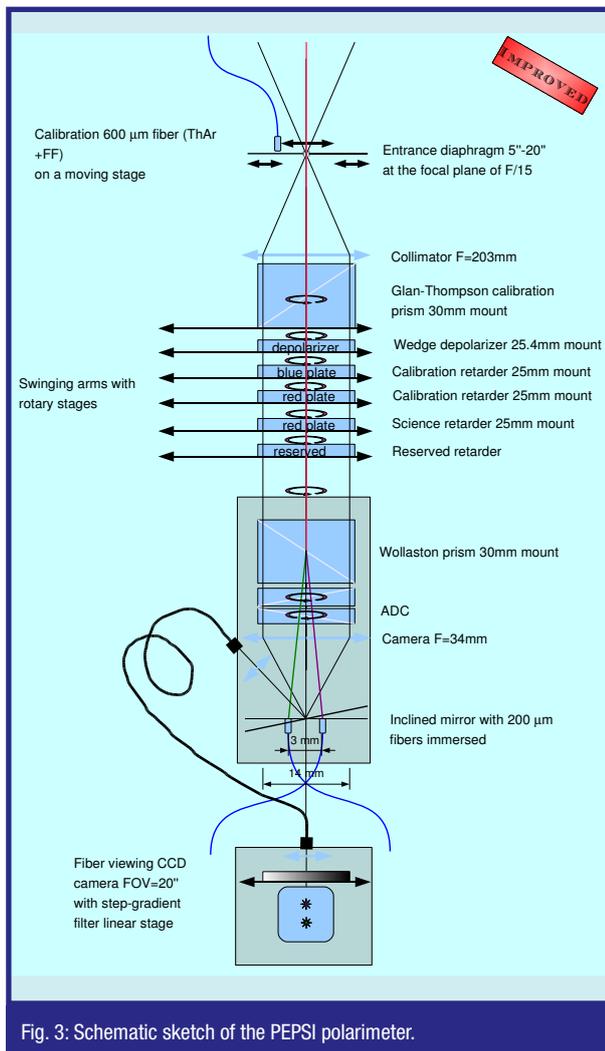


Fig. 4: The prototype of the PEPSI image slicer at work in the STELLA spectrograph.

*The pressure chamber, housing the spectrograph, is currently passing the final tests of the temperature and pressure stabilization loop, before the first optical components can be moved in.*

*The limiting magnitude of the spectrograph will be around  $V = 20$  mag in the 120,000 resolution mode with a S/N of 10:1 assuming one hour integration time at 0.7" seeing. The main scientific goal is to measure magnetic fields on the surfaces of stars like our Sun. In gaining knowledge about the magnetic fields on other stars, we hope to better understand our Sun, how it was formed and what role our planetary system played and will play.*

### Solar Disk Integrated Telescope

*The Solar Disk Integrated (SDI) Telescope will feed Disk-unresolved solar light to the spectrograph using a fiber connection via the PEPSI calibration unit. Its aim is to provide an external comparison source for the UHR mode of PEPSI and its long-term stability, and at the same time to monitor the Sun for measuring line-bisector variations over an entire activity cycle. The highest spectral resolution mode of 300,000 will be used for this task.*

### STELLA Echelle Spectrograph

*The STELLA Echelle Spectrograph (SES) is a modern white pupil spectrograph with a moderately high spectral resolution of 55,000 and a fixed wavelength format of 390 nm to 900 nm which is obtained in a single exposure. The spectrograph is bench mounted in a temperature stabilized environment, and connected to the telescope with a 15 m long optical fiber. This fiber has a core diameter of 50 µm with a microlens attached to the entrance side, which yields an entrance aperture of 2.8" on the sky. The detector in use is a 2k x 2k E2V CCD.*

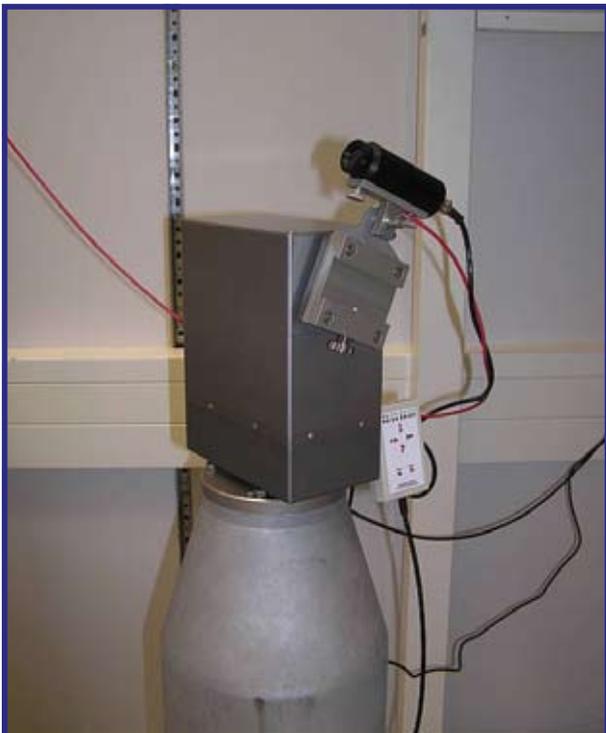


Fig. 5: The Solar Disk Integrated Telescope. The box contains all gears, the two stepper motors and two limit switches. The solar visor is seen in the upper right corner. It consists of a four quadrant detector with a total field of view of 8 degrees. The actual solar-feed telescope will be mounted below the visor.

Als Detektor findet ein 2k x 2k E2V CCD Verwendung. Im Sommer 2008 wird die Lichtleitfaser von der jetzigen Position am STELLA-I Teleskop, welches bald mit dem neuen WIFSIP Instrument ausgestattet wird, zum STELLA-II Teleskop gewechselt. Letzteres wird mit einem Newton-Korrektor ausgestattet, und das Licht wird im Primärfokus in die Lichtleitfaser eingekoppelt.

Im Herbst 2008 wird der Spektrograph umgebaut: eine neue optische Kamera soll die alte Traficos-Schmidt-kamera ersetzen und ein neues 4k x 4k CCD wird die Lücken zwischen den roten Ordnungen beseitigen.

Seit Sommer 2006 läuft ein Beobachtungsprogramm zum Test der Fähigkeiten des Spektrographen, des Teleskops und der Robotiksoftware. Ein Schwerpunkt des Programms ist die wiederholte Beobachtung von schlechter bekannten Objekten, um Orbitale und andere stellare Parameter zu erhalten. Der andere Schwerpunkt liegt im Sammeln von Datenblöcken einiger ausgewählter Sterne mit guter Phasenabdeckung, um mit Hilfe daraus tomographisch errechneter Oberflächenkarten eine Geschichte der Entwicklung der Sternoberfläche dieser Sterne zu erhalten.

*In summer 2008, the optical fiber feed will be moved from the STELLA-I telescope, which will soon be occupied by the new imaging instrument WIFSIP, to the STELLA-II telescope. That telescope will be equipped with a Newtonian corrector, and the light will be fed into the fiber in the prime focus of the system.*

*In fall 2008, the spectrograph will be upgraded: a new optical camera will replace the old Schmidt camera from Traficos for improved efficiency, and a new 4kx4k CCD camera will be used to eliminate the order gaps in the red part of the spectrum.*

*Since the summer of 2006, a commissioning and science demonstration program is in progress. One focus lies on the monitoring of poorly known stars to measure orbital and other stellar parameters. The other focus is to collect blocks of observations with good phase coverage of some especially interesting stars over the lifetime of the instruments. Each of these blocks can be used to derive a tomographic surface map of the stars, and one gets a history of the surface evolution of the star.*

#### **PEPSI Polarimeter**

*The PEPSI spectropolarimeters are designed to obtain the full Stokes vector of the radiation emerging from stellar photospheres in the presence of the magnetic field. Attached to the Gregorian focus of the LBT 2x8.4m telescopes, the polarimeter will provide a unique opportunity to study in detail the magnetic field of stars, their evolution, and their origin. Accurate reconstruction of magnetic field topology requires precise measurements of the Stokes parameters at every resolution element of the observed spectrum. Two linearly polarized components of the Stokes vector are obtained in two successive exposures made through a Wollaston prism. The two emerged polarized beams are subjected to the atmospheric disperser corrector followed by the camera lens, and enter the 200um fi-*



Fig. 6: Emil Popov mounts the brackets of the Permanent Fiber Focus Units to the telescope in 2007.

## PEPSI Polarimeter

Die PEPSI Spektropolarimeter wurden entwickelt, um den kompletten Stokes-Vektor aufzeichnen zu können. Das Licht von Sternoberflächen wird durch vorhandene Magnetfelder polarisiert, und der Polarisationsgrad wird durch die Stokes-Vektoren beschrieben. Die Polarimeter werden direkt an den Gregorianischen Foki des LBT angebracht, und eröffnen die einzigartige Möglichkeit die Magnetfelder auf Sternen, ihre Entwicklung und ihre Ursprünge im Detail zu studieren. Eine Zuverlässige Re-

konstruktion der Magnetfeld-Topologie setzt präzise Messungen der Stokes-Parameter in jedem Auflösungselement des Sternspektrums voraus. Zwei linear polarisierte Komponenten des Stokes-Vektors werden durch zwei aufeinanderfolgende Belichtungen durch ein Wollaston-Prisma erhalten. Die beiden polarisierten Strahlen passieren zuerst den atmosphärischen Dispersion-korrektor und eine Kameralinse, und werden dann in jeweils einer 200 um Lichtleitfaser zum Spektrographen geführt. Die in Summe vier polarisierten Strahlen von den beiden Polarimetern werden mit einer spektralen Auflösung von 120.000 gleichzeitig als einzelnes Echelle-Spektrum aufgezeichnet. Die zirkuläre Komponente des Stokes-Vektors wird mit Hilfe einer super-achroma-

tischen Quarter-Wave Platte aufgezeichnet, die vor dem Wollaston-Prisma eingesetzt wird. Mindestens zwei Aufnahmen bei verschiedenen Winkeln sind nötig, um den Effekt der linearen instrumentellen Polarisation zu entfernen. Instrumentelle Effekte zweiter Ordnung werden durch die Analyse-Software an Hand von Aufnahmen mit der Kalibrationseinheit, die vor dem Polarimeter angebracht ist, ausgeglichen. Die polarimetrische Kalibration verfeinert auch die Position der optischen Achse und deren Wellenlängenabhängigkeit für jede Polarisationskomponente. Präzises Positionieren des polarisierten Strahls auf die Lichtleitfaser wird mit Hilfe einer CCD-Kamera durchgeführt, die das reflektierte Licht von einem Spiegel um die Fasereingänge mittels eines Faserbündels erhält. Die Kalibrationsgenauigkeit und das Signal-zu-Rausch Verhältnis der Stokes-Spektren ist mit der Genauigkeit von solarer Spektropolarimetrie vergleichbar.

bers to the spectrograph. At the resolving power of 120,000, the four polarized beams from two identical polarimeters are recorded simultaneously on the same CCD image of the Echelle spectrum. The circular component of the Stokes vector is obtained with the superachromatic 450-1100 nm quarter-wave plate inserted in front of the Wollaston prism: at least two exposures at two different angles of the retarder are necessary to eliminate the linear components of the instrumental polarization. Second-order polarization effects are corrected during pipeline data reduction of the Stokes

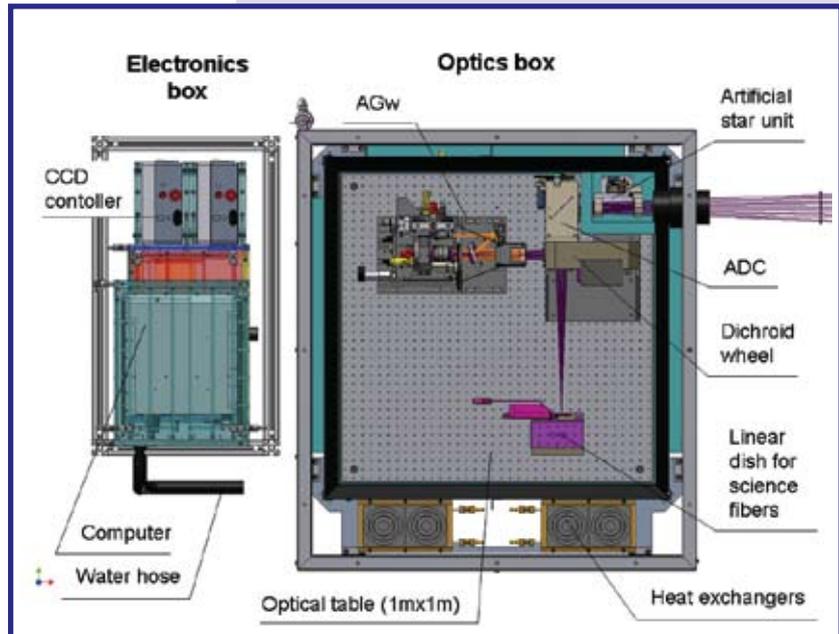


Fig. 7: Mechanical design of the Permanent Fiber Focus Units.

spectrum with the use of calibration parameters obtained with the auxiliary polarization optics installed in the parallel beam in front of the polarimeter. Polarimetric calibration refines the position and its wavelength dependence of the optical axis for each polarization component. Accurate positioning of the polarized beams on the fibers is achieved with the acquisition CCD camera stationary mounted below the polarimeter with the light reflected from the inclined mirror, where the entrance fibers are being immersed, is rendered to the camera via a single-mode fiber bundle. Accurate calibration and high signal-to-noise of the Stokes spectra will be comparable with the accuracy attained in solar spectropolarimetry.

## Gregor@Night

Gregor@Night ist das Konzept eines Doppelfaser-Echelle-Spektrographen für den Nachtbetrieb von GREGOR, das weltgrößte Sonnenteleskop. Die beiden Weißpupillen-Spektrographen sind für Wellenlängenbereiche von 360 bis 490 nm und 510 bis 870 nm ausgelegt, und erreichen eine spektrale Auflösung von 100.000

bei einer Eingangsapertur von 3" am Himmel.

Dies wird mit durch die Verwendung einer 120µm Lichtleitfaser und von 3-fach Image-Slicern ermöglicht. Die Einheit zur Zentrierung und Nachführung basiert auf der STELLA AG-Einheit: ein grauer Strahlteiler wirft 3% des Lichtes auf eine Hochgeschwindigkeits-

CCD Kamera, eine verspiegelte Glasplatte definiert die Faser-Eintrittsapertur. Das Licht wird im GREGOR F2 Fokus bei f/6 in die Lichtleitfaser eingekoppelt.

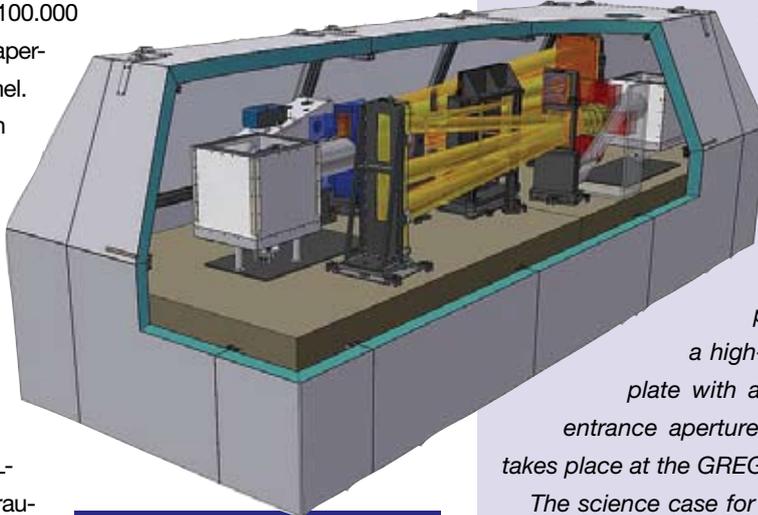


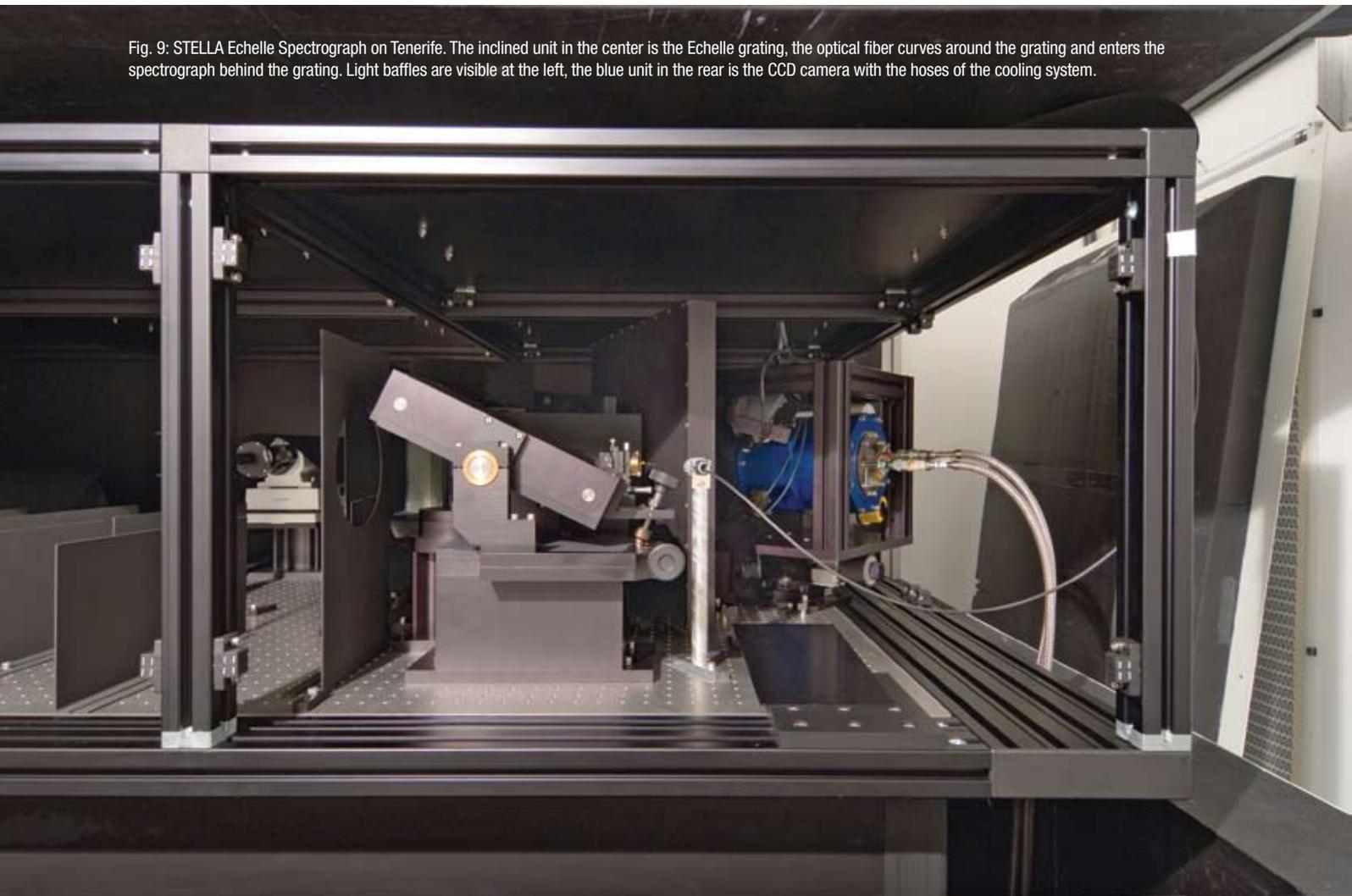
Fig. 8: Model of the PEPSI spectrograph with all components in its inner enclosure.

### Gregor@Night

*Gregor@Night is the concept for a fiber-fed double Echelle spectrograph for the night-time use of GREGOR, the world's largest solar telescope. The white pupil spectrographs are designed for spectral ranges of 360-490 nm and 510-870 nm, respectively, and achieve a spectral resolution of 100,000 for an entrance aperture of 3" on the sky, using a 120µm optical fiber with a 3-slice optical slicer. Acquisition and guiding is based on the STELLA unit, a grey beam splitter diverts approximately 3% of the light to a high-speed CCD camera, a glass plate with an aperture stop defines the entrance aperture of the fiber. Light injection takes place at the GREGOR F2 focus at f/6.*

*The science case for this instrument is the search for solar twins, which are evidently much rarer than simple extrapolation from counts in the solar neighborhood would suggest. Are stars with solar parameters really as rare as it seems, or have they not been looked for hard enough. And if they really are so few, what can we learn from that?*

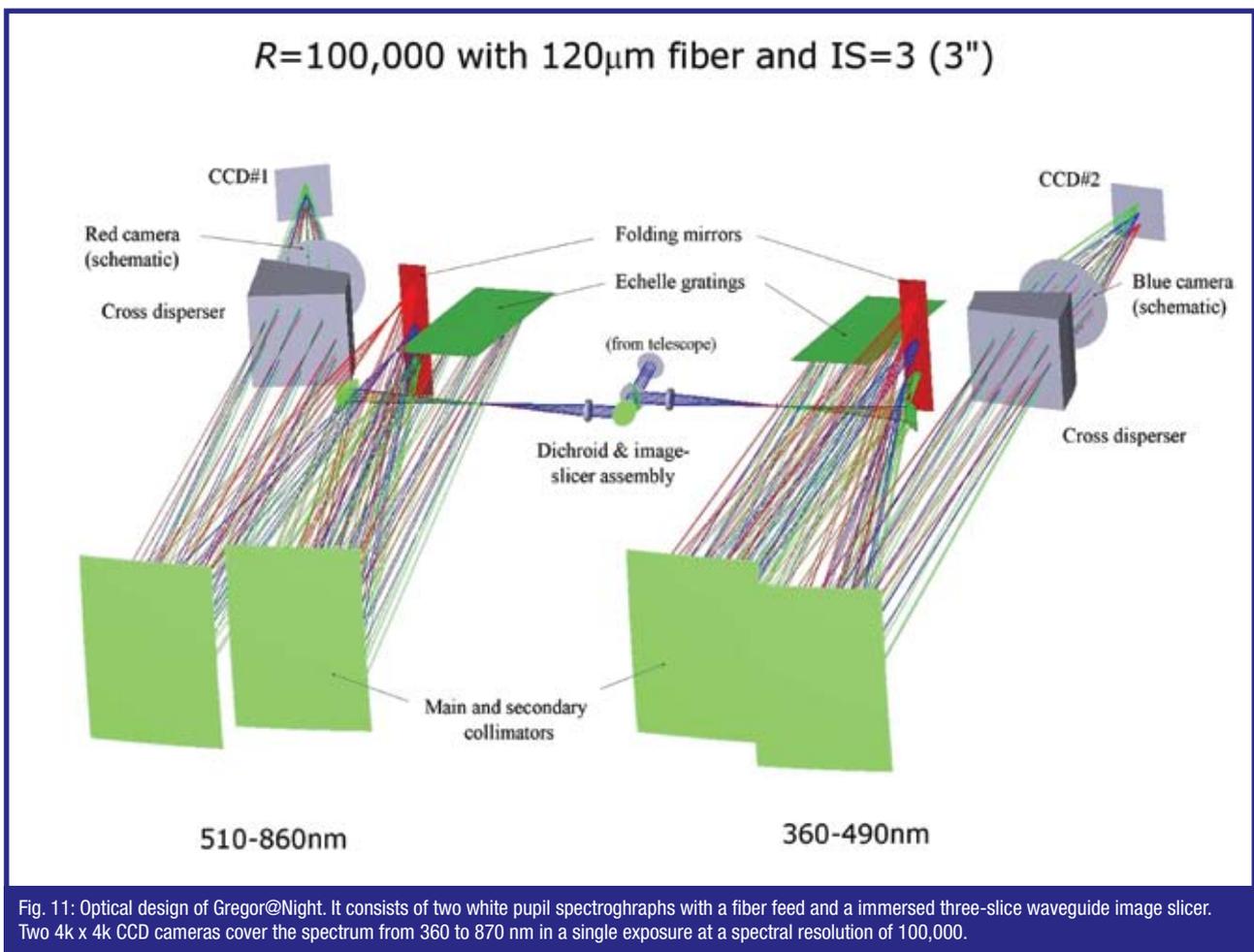
Fig. 9: STELLA Echelle Spectrograph on Tenerife. The inclined unit in the center is the Echelle grating, the optical fiber curves around the grating and enters the spectrograph behind the grating. Light baffles are visible at the left, the blue unit in the rear is the CCD camera with the hoses of the cooling system.



Die primäre wissenschaftliche Zielsetzung ist die Suche nach Sonnen-Zwillingen. Alles deutet darauf hin dass solche Sterne viel seltener sind als man durch Extrapolation von Zählungen in der Sonnenumgebung annehmen würde. Sind diese Sterne wirklich so selten, oder hat man nicht genug nach ihnen gesucht? Und wenn es wirklich so wenige gibt, was können wir daraus lernen?



Fig. 10: Inspection of the red transfer collimator in the AIP clean room.



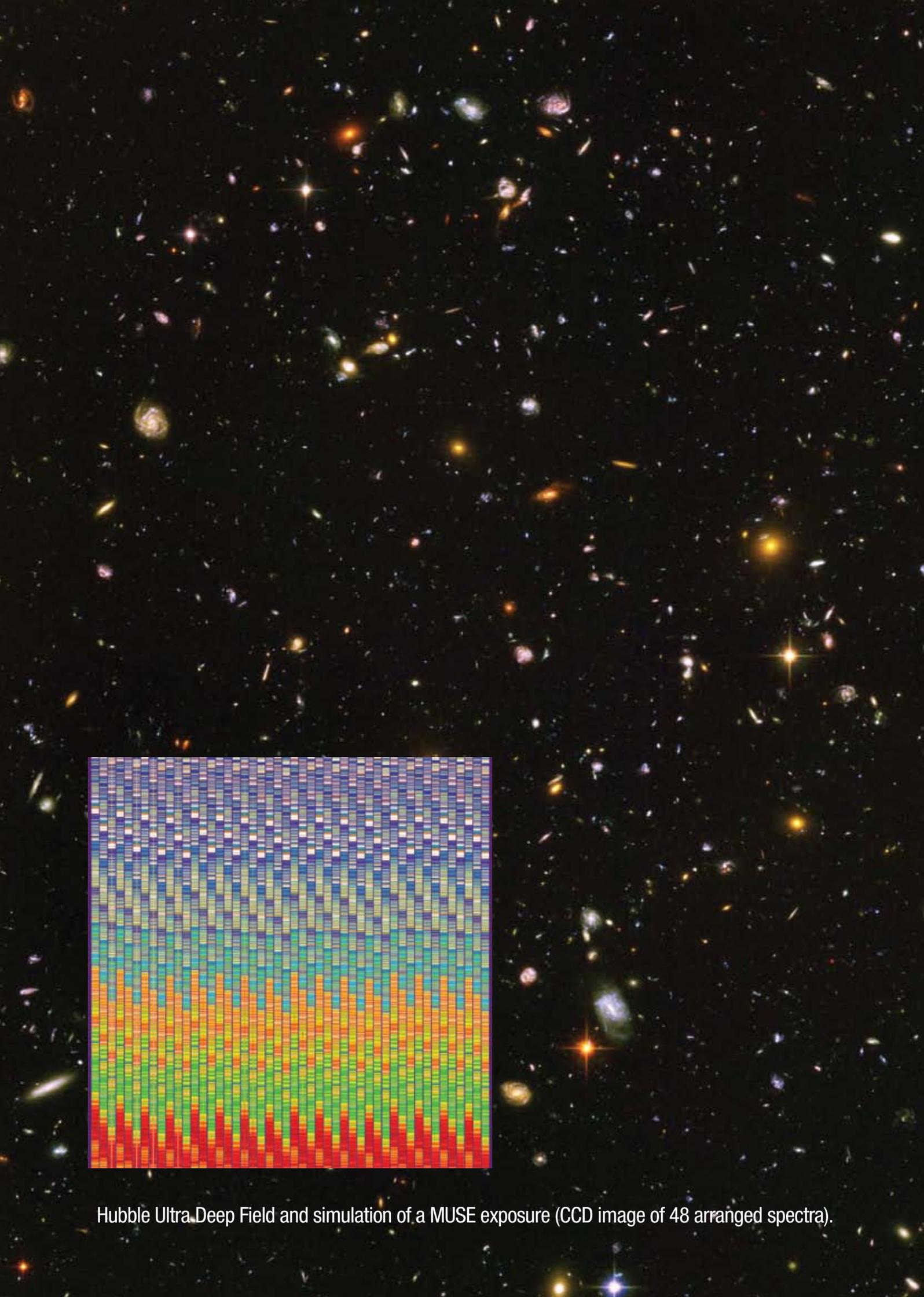
#### Ausgewählte Publikationen *Selected Publications*

Strassmeier, K.G., Woche, M., Andersen, M. and Ilyin, I. (2007): **PEPSI: The Potsdam Echelle Polarimetric and Spectroscopic Instrument for the Large Binocular Telescope**, *Astronomische Nachrichten*, 328, 627

Strassmeier, K.G., Woche, M., Granzer, T., Andersen, M.I., Schmidt, W. and Koubsky, P. (2007): **Gregor@Night, in Modern solar facilities** (editors F. Kneer, K. G. Puschmann, and A. D. Wittmann), 51

Strassmeier, K.G. (2007): **Future facilities for solar and stellar activity research**, *Highlights of Astronomy*, 14, 297

Spanò, P., Zerbi, F. M., Norrie, C. J., Cunningham, C. R., Strassmeier, K.G. et al. (2006): **Challenges in optics for Extremely Large Telescope instrumentation**, *Astronomische Nachrichten*, 327, 649



Hubble Ultra-Deep Field and simulation of a MUSE exposure (CCD image of 48 arranged spectra).

# 3D-Spektroskopie 3D Spectroscopy



Team 06/07 (alphabet.): Petra Böhm, Luzma Cairòs-Barreto, Joris Gerssen, Thomas Hahn, Katja Janssen, Ingo Kapp, Andreas Kelz, Ulrike Lemke, Emil Popow, Martin Roth (head), Peter Weilbacher

3D-Spektroskopie ist eine verhältnismäßig junge Beobachtungstechnik. Nach einer lang andauernden Phase erster Prototypenentwicklungen hat sich die Technik inzwischen fest etabliert. Seit 1996 hat das AIP an dieser Entwicklung aktiv teilgenommen, etwa durch die Entwicklung von PMAS, dem „Potsdamer Multiapertur Spektrophotometer“ (am Calar Alto 3,5 m-Teleskop im Einsatz seit 2001), oder durch die Koordinierung des EU-Netzwerks „Euro3D: Promoting 3D Spectroscopy in Europe“ (2002-2005). Nicht zuletzt durch den Erfolg dieser Aktivitäten wurde das AIP zur Mitwirkung bei der Entwicklung des 2<sup>nd</sup> Generation VLT Instruments MUSE und des VIRUS-Instruments, einem großen 3D-Spektrographen für das McDonald Observatory Hobby-Eberly Teleskop (HET), eingeladen. Beide Vorhaben werden unten ausführlicher beschrieben. Infolge der wachsenden Nachfrage aus dem Kreis wissenschaftlicher Nutzer wird Forschung zu und mit 3D-Spektroskopie inzwischen im Rang eines AIP Programmbereichs betrieben.

*3D spectroscopy is a relatively new observing technique. After a long period of prototyping it has only recently reached maturity. From 1996, the AIP has actively participated in this transition mainly through the development of PMAS, the Potsdam Multiaperture Spectrophotometer (in operation at the Calar Alto 3.5 m telescope since 2001), and as coordinator of the EC-funded network “Euro3D: Promoting 3D Spectroscopy in Europe” (2002-2005). Thanks to the success of these activities, AIP was subsequently invited to participate in the development of MUSE, a 2<sup>nd</sup> generation instrument for the ESO-VLT, and VIRUS, a large 3D spectrograph for the Hobby-Eberly Telescope (HET) at McDonald Observatory, Texas. Both projects are described in more detail below. Further requests for support from and a growing demand for the technique within the user community has prompted 3D Spectroscopy to become a research programme area at AIP.*

Hauptaktivitäten des Programmbereichs 3D-Spektroskopie:

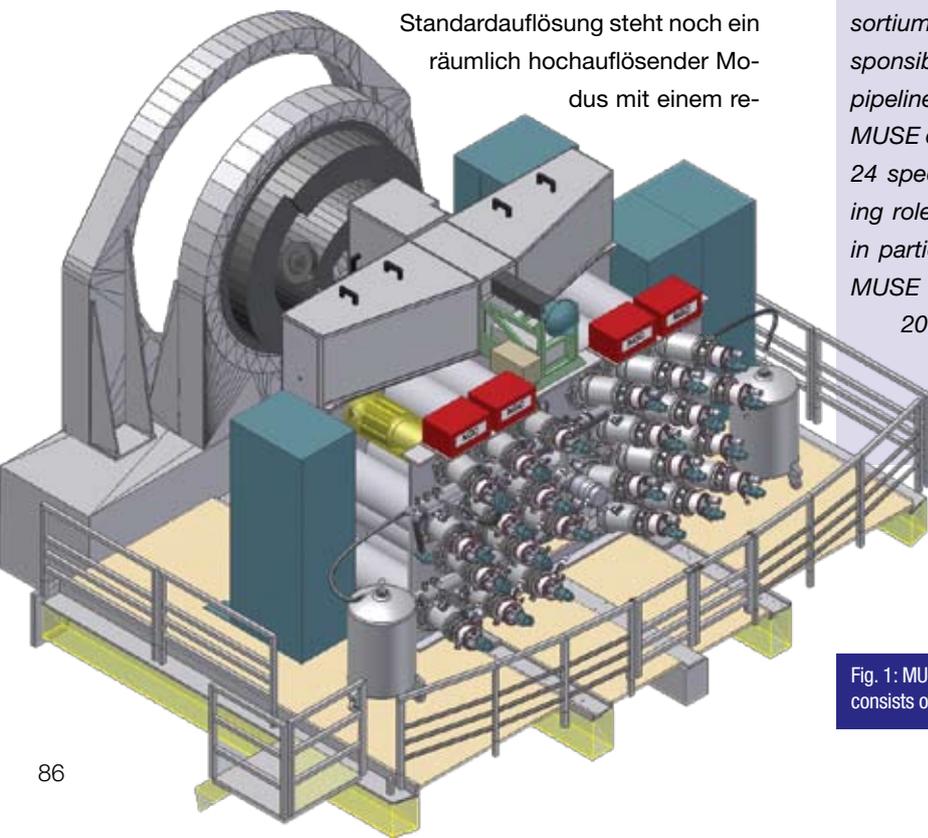
- Entwicklung von MUSE
- Entwicklung von VIRUS
- Unterstützung, Wartung und Neuerungen für PMAS
- Neuartige photonische Techniken
- Community Service zu Datenreduktions- und Analysesoftware für 3D-Spektroskopie

## MUSE

MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) ist ein Weitfeld-3D-Spektrograph für das VLT mit Unterstützung durch adaptive Optik. Das Gesichtsfeld beträgt 1 Quadratbogenminute bei einer räumlichen Auflösung von 0,2 Bogensekunden. Der freie Wellenlängenbereich beträgt 465-930 nm, die spektrale Auflösung liegt bei etwa 0,26 nm.

MUSE ist so ausgelegt, dass die schwächsten je beobachteten Galaxien nachgewiesen werden können: es werden Galaxien mit aktiver Sternentstehung mit einer unerreichten niedrigen Grenzhelligkeit von  $4 \times 10^{-19}$  erg/cm<sup>2</sup>/s bei einer Gesamtbelichtungszeit von 80 Std. gefunden. Um diese extreme Empfindlichkeit realisieren zu können, wird MUSE eine hohe instrumentelle Effizienz aufweisen (bis zu 44%) und eine hohe opto-mechanische Stabilität besitzen. Die große Zahl räumlicher und spektraler Auflösungselemente stellt eine besondere Herausforderung hinsichtlich der Komplexität des Instruments dar. Diesem Problem wird durch eine konsequente Modularisierung begegnet: z.B. werden insgesamt 24 parallel geschaltete Spektrographensysteme (IFUs: Integral Field Units) existieren, von denen jede Einheit einen Slicer enthält, einen Spektrographen sowie ein Detektorsystem.

Als zweite Option neben dem Modus in Standardauflösung steht noch ein räumlich hochauflösender Modus mit einem re-



Major activities of the 3D Spectroscopy Programme include:

- Development of MUSE
- Development of VIRUS
- Support and improvements of PMAS
- Novel photonic techniques
- Community service concerning data reduction and data analysis software for 3D spectroscopy

## MUSE

MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) is an adaptive optics assisted wide-field 3D spectrograph for the VLT, covering a 1 arcmin square field-of-view with a spatial sampling of 0.2 arcsec (standard mode), a one-octave wavelength coverage of 465-930 nm, and a spectral resolution of roughly 0.26 nm.

MUSE is designed to discover galaxies that are fainter than ever observed: the Lyman- $\alpha$  emission line from galaxies with active star formation will be detected at an unprecedented limiting flux level of  $4 \times 10^{-19}$  erg/cm<sup>2</sup>/s for a total exposure time of 80 hours. In order to reach this level of sensitivity, MUSE must exhibit high instrumental throughput (up to 44%) and very high opto-mechanical stability. The large number of spatial and spectral resolution elements presents a special challenge in terms of complexity. This challenge is met through a modular layout of the instrument, featuring a total of 24 identical integral field unit (IFU) subsystems, each consisting of an image slicer, a spectrograph, and a detector system. In addition to the standard wide-field mode, a special narrow-field mode allows for AO-assisted high spatial resolution observations.

MUSE is designed and built by a European consortium of 7 partners, led by CRAL (Lyon). AIP's responsibility is the development of the data reduction pipeline, the design, manufacture, and assembly of the MUSE calibration unit, and the acceptance tests of the 24 spectrograph subsystems. AIP also takes a leading role in the future scientific use of the instrument, in particular since Lutz Wisotzki (AIP) was appointed MUSE Instrument Scientist in 2007. By the end of 2007, the MUSE project has passed successfully the Preliminary Design Review at ESO. The instrument is scheduled for commissioning at the ESO-VLT observatory in 2012.

Fig. 1: MUSE on the Nasmyth platform of the ESO VLT. The instrument consists of 24 identical 3D spectrograph modules.

duzierten Gesichtsfeld und AO-Unterstützung zur Verfügung.

MUSE wird von einem Konsortium von insgesamt 7 Partnern unter Federführung von CRAL (Lyon) entworfen und gebaut. Das AIP ist verantwortlich für die Entwicklung der Datenreduktions-Pipeline, Entwurf, Bau und Integration der Kalibrations-einheit sowie Abnahmetests für die 24 Spektrographen-Systeme. Das AIP nimmt auch eine führende Rolle in der zukünftigen wissenschaftlichen Nutzung des Instruments ein, insbesondere auch mit der Berufung von Lutz Wisotzki (AIP) zum MUSE Instrument Scientist. Ende 2007 hat das Projekt erfolgreich den Preliminary Design Review bei ESO absolviert. Die Inbetriebnahme am ESO-VLT ist für 2012 vorgesehen.

## VIRUS

VIRUS (Visible Integral-field Replicable Unit Spectrograph) ist das Instrument, mit dem eine spektroskopische Durchmusterung von 1 Mio Galaxien für HETDEX, das Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment, durchgeführt werden soll.

Im Unterschied zu herkömmlichen Durchmusterungen, bei denen in einem ersten Schritt die Identifikation der Quellen durch direkte Bildaufnahme erfolgen muss, wird HETDEX eine „blinde“ spektroskopische Suche nach Objekten durchführen, die so schwach und über unbekannte Rotverschiebungsbereiche verteilt sind, dass eine Detektion durch andere Verfahren nicht vorstellbar ist. Die Durchmusterung wird sich über insgesamt 400 Quadratgrad und über den Rotverschiebungsbereich  $1,9 < z < 3,8$  erstrecken – das entspricht einem Volumen von  $\sim 8 \text{ Gpc}^3$ . Die Form der baryonischen Oszillationen, die sich aus der so gemessenen 3-dimensionalen Galaxienverteilung ergeben, erlaubt eine auf wenige Prozent präzise Einschränkung von Eigenschaften der Dunklen Energie. VIRUS wird daher so ausgelegt, dass mit einem fasergekoppelten 3D Spektrographen ein möglichst großes Feld im 18 Bogenminuten Gesichtsfeld der neuen HET-Korrektoroptyk überdeckt wird. Ähnlich wie bei MUSE baut das technische Konzept sehr stark auf Modularität. Da mit vertretbarem Aufwand kein einzelner Spektrograph vorstellbar ist, der mehr als 40.000 Fasern

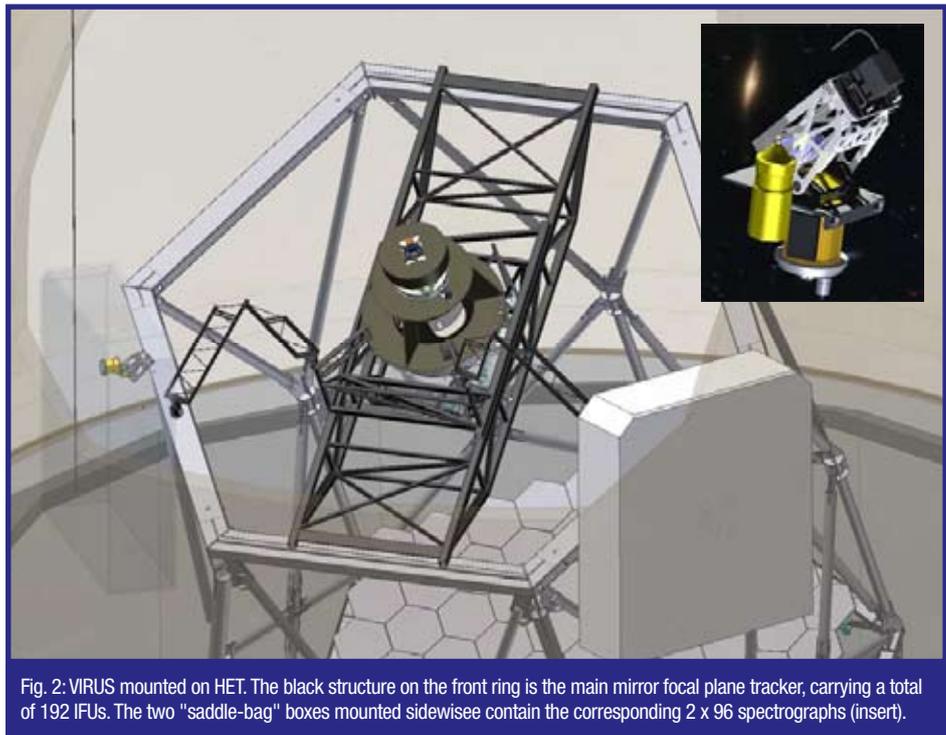


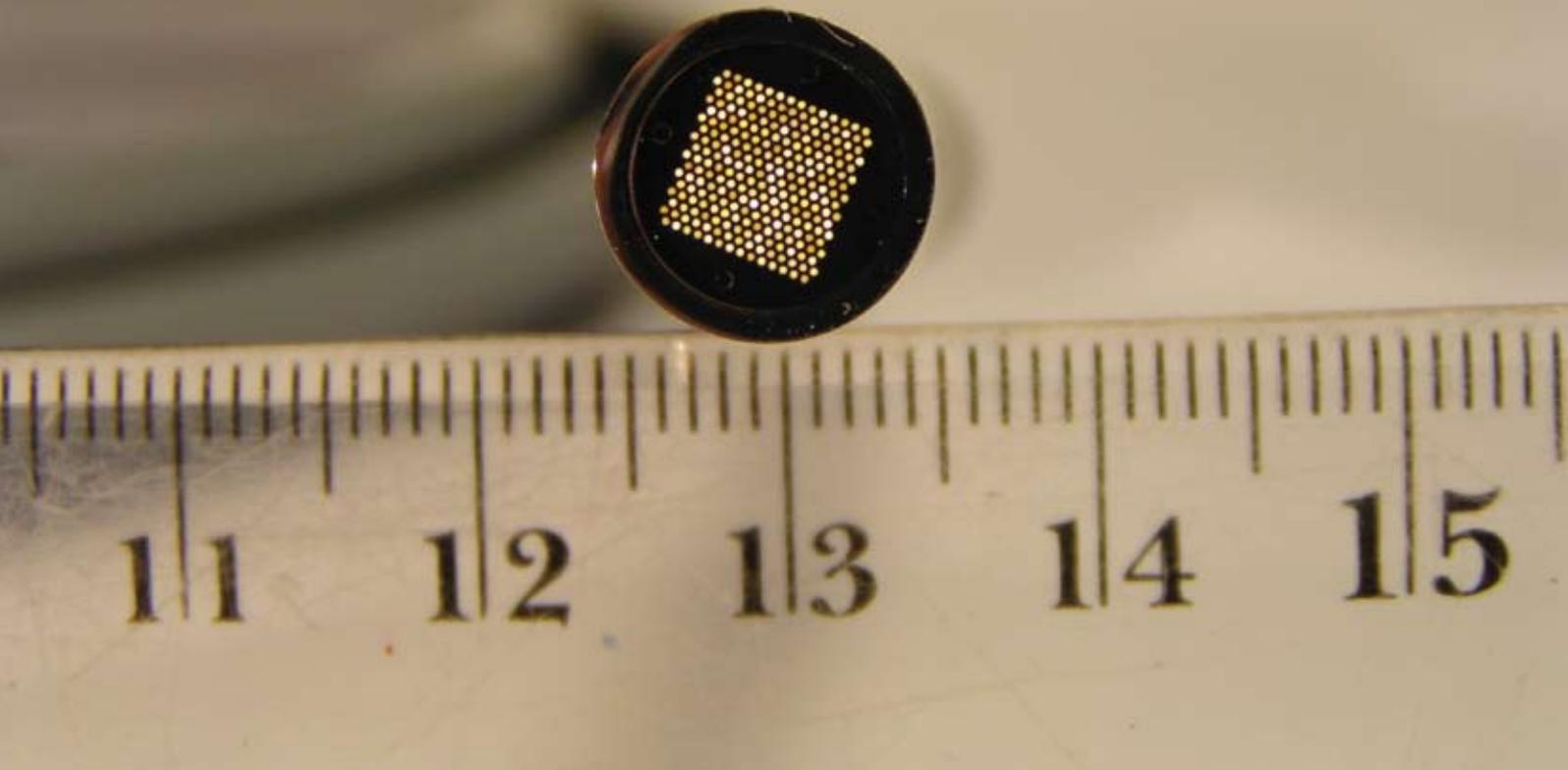
Fig. 2: VIRUS mounted on HET. The black structure on the front ring is the main mirror focal plane tracker, carrying a total of 192 IFUs. The two "saddle-bag" boxes mounted sidewise contain the corresponding 2 x 96 spectrographs (insert).

### VIRUS

*VIRUS (Visible Integral-field Replicable Unit Spectrograph) is the instrument foreseen to conduct the spectroscopic survey of 1 million galaxies for HETDEX, the Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment.*

*Unlike conventional spectroscopic surveys which rely on pre-imaging to identify targets in advance, HETDEX will be a blind spectroscopy search for objects that are so faint and distributed over unknown redshifts that they cannot be discovered with any other reasonable means. The survey area of 400 square degrees over the redshift range of  $1.9 < z < 3.8$  corresponds to a volume of  $\sim 8 \text{ Gpc}^3$ , which will allow to constrain Dark Energy from the measured shape of baryonic oscillations of the 3-dimensional galaxy distribution. VIRUS will therefore be optimized to cover a large area on the sky, utilizing the 18 arcmin field-of-view of the upgraded HET corrector with a wide area fiber-optical integral field spectrograph. Similar to the complexity issue for MUSE, the VIRUS design relies on modularity. As it is not possibly conceivable to build a monolithic spectrograph for a total of more than 40,000 fibers, the final configuration layout is broken down into 192 identical spectrographs, each of which has its own fiber-optical IFU, made of 226 fibers. Manufacture, testing, and integration of such a large number of subsystems prompts serious questions of feasibility. AIP collaborates with local fiber optics manufacturers and provides technology transfer to enable a commercial serial production of future VIRUS bundles in quantities. AIP contributions to the design and manufacture of prototype fiber bundles are crucial to demonstrate feasibility and to develop strate-*

Fig. 3: VIRUS prototype fiber bundle with 246 fibers.



abbilden könnte, liegt ein parallelisiertes Konzept nahe. Die finale Konfiguration soll 192 identische Spektrographen enthalten, von denen jeder eine faseroptische Integral Field Unit (IFU) enthalten soll, die aus 226 Fasern besteht.

Herstellung, Test und Integration einer derart großen Anzahl von Subsystemen wirft einige kritische Fragen zur Machbarkeit auf. Das AIP arbeitet mit kommerziellen Faseroptikherstellern der Region zusammen und sucht nach Möglichkeiten für Technologietransfer, mit denen sich die Konzepte aus der Grundlagenforschung in anwendungsnahe Bereiche übertragen lassen.

Die geplanten Beiträge des AIP zu Entwurf und Herstellung von Faserbündeln sind wichtig für den Nachweis der Machbarkeit, aufgrund derer die zeitnahe Realisierung und die Inbetriebnahme des Instruments plausibel gemacht werden kann. Ein erstes Prototypen-Bündel mit 246 Fasern, das wiederum am AIP hergestellte wurde, ist inzwischen erfolgreich am 2,7 m Teleskop am McDonald Observatorium in Einsatz. Als Vergütung für die Entwicklung erhält das AIP befristet eine Zugangsberechtigung zu den Teleskopen am McDonald Observatorium.

Da die Serie von 192 Spektrographen-Systemen in der Industrie beauftragt werden müssen, kommt der Ve-

*gies which guarantee the timely completion and commissioning of the instrument. A first prototype bundle with 246 fibers, built in-house at AIP, is successfully in operation at the McDonald Observatory 2.7 m telescope since October 2006. As a compensation for the development effort, AIP receives access to telescopes at the McDonald Observatory. As the full series of 192 IFUs must be procured from industry, the verification of procedures and performance of commercial companies is an important aspect. Therefore, the procurement of a second prototype bundle was issued in the fall of 2007 with the goal of commissioning at HET in the spring of 2008 (Fig. 4).*

rifikation von Prozeduren und kommerziellen Firmen eine besondere Bedeutung zu. Daher wurde im Jahr 2007 die Beschaffung eines zweiten Prototypen-Bündels veranlasst mit dem Ziel, dieses im Frühjahr 2008 an das HET zu bringen (Abb. 4).

## PMAS

PMAS, das Potsdam Multi-Apertur Spektrophotometer am Calar Alto 3,5 m Teleskop ist das Arbeitspferd des AIP für 3D-Spektroskopie – sowohl für wissenschaftliche Aufgabenstellungen, als auch für die Instrumentenentwicklung. Als Gegenleistung für das Instrument und die technische Unterstützung erhält das AIP garantierte Beobachtungszeit, die generell für riskante Beobachtungen und Technologieentwicklung eingesetzt wird. PMAS arbeitet seit 2001 störungsfrei als eines der populärsten und am stärksten nachgefragten Instrumente am 3,5 m Teleskop. Seit der Inbetriebnahme sind diverse technische Erweiterungen realisiert worden. Die jüngsten Verbesserungen umfassen (a) einen weltweit einzigartigen experimentellen Aufbau zur Durchführung von 3D Spektropolarimetrie und (b) die Beschaffung eines neuen CCD Detektors (4K x 4K, 15  $\mu\text{m}$  Pixel), der die Effizienz des Instrument je nach Anwendung bis um einen Faktor 6 steigern wird (Wellenlängenbereich, Quantenausbeute, Ausleserauschen). Die Installation des neuen Detektors ist für 2009 vorgesehen.

PMAS dient auch der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Lise Christensen, die im Jahr 2005 am AIP in Kollaboration mit der Universität Potsdam promovierte, hat mit PMAS außerordentlich erfolgreiche Forschung an gedämpften Lyman- $\alpha$  Absorptionssystemen mit einem signifikanten Fortschritt gegenüber dem Stand der Wissenschaft durchgeführt. In Anerkennung dieser Leistung wurde sie mit dem Nachwuchspreis 2007 der Leibniz-Gemeinschaft ausgezeichnet.

## Neuartige Photonische Technologien

Photonische Komponenten werden mit zunehmender Tendenz in der Telekommunikation, in der Unterhaltungselektronik und anderen kommerziellen Bereichen eingesetzt. Solche Komponenten besitzen ein vielversprechendes Potenzial für zukünftige innovative Instrumentierungen in der Astronomie, speziell mit Blick auf miniaturisierte Spektrographen, z.B. Arrayed Waveguide Gratings, Photonische Kristallfasern (PCF), oder Faser Bragg Gitter. Solche Konzepte sind insbesondere interessant für die 3D-Spektroskopie. Das AIP hat sich daher der Astropho-

### PMAS

*PMAS, the Potsdam Multi-Apertur Spectrophotometer at the Calar Alto 3.5 m telescope is AIP's work horse for 3D spectroscopy, both in terms of scientific research and instrumentation. In return to providing the instrument and technical support, AIP receives guaranteed observing time which is generally used for high-risk observing programmes and technological development. PMAS has been operated reliably since 2001 as one of the most popular instruments at the 3.5 m telescope, under high demand from the user community. Over the years, various improvements and upgrades have been installed. The latest amendments are (a) an experimental setup for 3D spectro-polarimetry, a unique novel application, and (b) the procurement of a new CCD detector (4K x 4K, 15  $\mu\text{m}$  pixel size) which will boost the overall efficiency, depending on the application, by a factor of up to 6 (wavelength coverage, quantum efficiency, read noise). Commissioning of the CCD is planned for 2009.*

*PMAS is also used for the training of young researchers. Lise Christensen, who obtained her PhD degree at AIP in collaboration with the University of Potsdam in 2005, performed very successful research on damped Lyman- $\alpha$  absorption systems using PMAS, which resulted in a significant advance in the field. In recognition of her achievement, she won the young researchers' award of the Leibniz-Society in 2007.*

### Novel Photonic Techniques

*Photonic devices are finding increasing usage in telecommunication technologies, consumer electronics, and other commercial areas. They also offer promising avenues for future instrumentation in astronomy, particularly with regard to miniaturized spectrographs, e.g., arrayed waveguide gratings, photonic crystal fibers, or fiber bragg gratings. Such concepts are con-*



Fig. 4: Microscopic view of a section of the 2<sup>nd</sup> fiber bundle for the Hobby-Eberly Telescope.

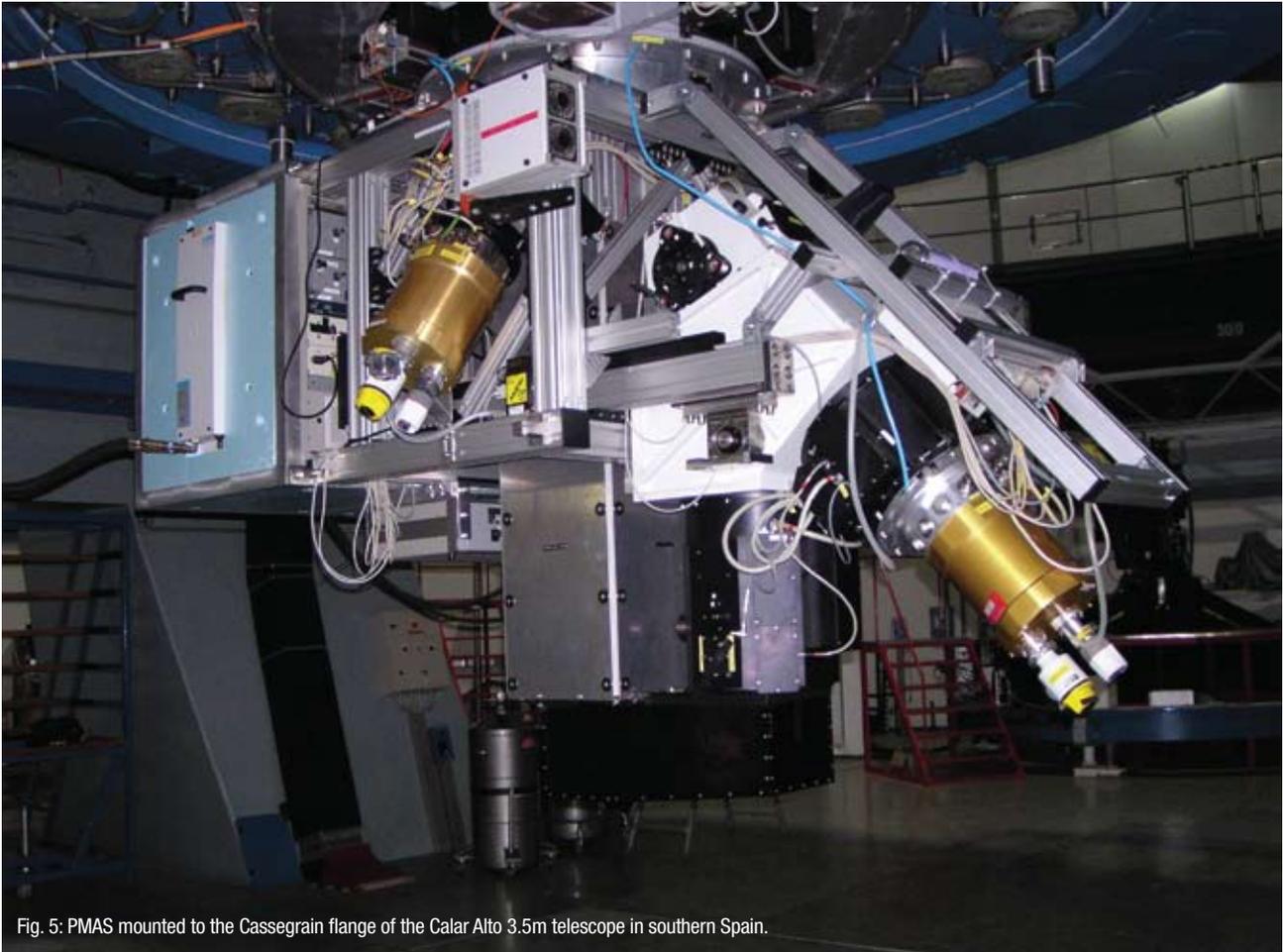


Fig. 5: PMAS mounted to the Cassegrain flange of the Calar Alto 3.5m telescope in southern Spain.

tonica Europa Initiative angeschlossen, die ein Netzwerk von Instituten in Europa und Australien mit Interesse an diesem Feld etabliert hat, und hat die Federführung in einem Arbeitspaket zum Thema PCF übernommen.

Darüber hinaus hat das 3D Team am AIP in Zusammenarbeit mit der Universität Potsdam (Physikalische Chemie) eine BMBF-Förderung zur Durchführung einer einjährigen Strategiestudie für ein künftig einzurichtendes Zentrum für Innovationskompetenz gewonnen.

Dieses Vorhaben „innoFSPEC-Potsdam“ zielt auf Grundlagenforschung für innovative Faserspektroskopie und Sensorik (siehe auch „Forschungscampus Potsdam-Babelsberg“). Die Ergebnisse der Studie wurden in einem Strategiekonzept zur Vorlage beim Projektträger Jülich und zur Begutachtung durch eine Jury in 2008 niedergelegt.

## Andere Aktivitäten

Über die oben beschriebenen Kernaktivitäten des Programmbereichs hinaus, stellt das Team speziell konfektionierte Faseroptiken für den Multifaser-Spektrographen 6dF am AAO her, welche für die Messung von 1 Million Sternen der Milchstraße im Rahmen des RAVE Projekts zum Einsatz kommen werden.

Im Rahmen des ARENA Netzwerks werden u.a. Möglichkeiten studiert, fasergekoppelte Instrumente unter den extremen Bedingungen in der Antarktis zu betreiben.

*ceptually interesting for 3D spectroscopy. Therefore, the AIP team has joined the Astrophotonica Europa initiative, which has established a network of institutes in Europe and Australia with an interest in the field. AIP takes a leading role as coordinator of a work package concerning photonic crystal fibers.*

*Moreover, the 3D team at AIP in collaboration with the University of Potsdam (Physical Chemistry) has won a BMBF grant for phase-1 of a future interdisciplinary innovation center (“Zentrum für Innovationskompetenz” innoFSPEC-Potsdam), targeting fiber optical spectroscopy and sensing (also see “Potsdam-Babelsberg Research Campus”). The study of concept resulted in a strategy paper for submission to BMBF/PTJ and defense in early 2008.*

### Other Activities

*Beyond the core activities as explained above, the team provides custom-made fiber configurations for the multi-object fiber spectrograph 6dF at the AAO, which is used to measure up to 1 million stars of the Milky Way (RAVE Project).*

*As part of the ARENA network, ideas are being investigated to deploy fiber-coupled instruments to Antarctica.*

*Another project is the contribution of a software package for the ground-based acceptance tests of*

Ein weiteres Projekt ist die Entwicklung von Datenanalyse-Software für die bodengebundenen Abnahmetests des NIRSpec-Instruments für das James-Webb-Space Telescope im Auftrag von Astrium (Ottobrunn).

Das AIP ist ferner Koordinator des deutschen Kompetenznetzwerks für optische 3D-Spektroskopie „D3D-net“, das von der Verbundforschung des BMBF finanziert wird und sowohl Strategieentwicklung als auch die Ausbildung von Nachwuchswissenschaftlern für die künftige wissenschaftliche Nutzung von MUSE betreibt.

Neben den Instrumentierungsprojekten betreiben die wissenschaftlichen Mitarbeiter des Programmbereichs Forschungsprojekte mit modernen 3D-Spektrographen wie VIMOS (VLT), VIRUS-P (McDonald Obs.), PMAS (Calar Alto), und anderen.

### Ausgewählte Publikationen *Selected Publications*

Cannon R., Drinkwater M., Edge A.,..., Weibacher P. M., et al. (2006): **The 2dF-SDSS LRG and QSO (2SLAQ) Luminous Red Galaxy Survey**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 372, 425

Christensen, L., Jahnke, K., Wisotzki, L., Sanchez, S. F. (2006): **Extended Lyman-alpha emission around bright quasars**, *Astronomy & Astrophysics* 459, 717

Christensen, L., Jahnke, K., Wisotzki, L., Sanchez, S. F., Exter, K., Roth, M. M. (2006): **A jetcloud interaction in the 3C 196 environment**, *Astronomy & Astrophysics*, 452, 869

Hill, G.J., MacQueen, P.J., Palunas, P., Kelz, A., Roth, M.M., Gebhardt, K., Grupp, F. (2006): **VIRUS: A hugely replicated integral field spectrograph for HETDEX**, *New Astronomy Review* 50, 378

Kelz, A., Verheijen, M.A.W., Roth, M.M., Bauer, S.M., Becker, T., Paschke, J., Popow, E., Sanchez, S.F., Laux, U. (2006): **PMAS: The Potsdam Multi-Aperture Spectrophotometer. II. The Wide Integral Field Unit PPak**, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 118, 129

Kelz, A., Bauer, S. M., Roth, M. (2006): **Calibration concepts for MUSE**, *New Astronomy Review*, 50, 385

Kelz, A., Roth, M. (2006): **Experiences with the PMAS-IFUs**, *New Astronomy Review* 50, 355

Roseboom, I. G., Pimblet, K. A., Drinkwater, M. J., ..., Weibacher P. M. (2006): **The 2dF-SDSS LRG and QSO Survey: The Star Formation Histories of Luminous Red Galaxies**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 373, 349

*JWST-NIRSpec (Astrium Ottobrunn).*

*AIP is also coordinator of the German network "D3Dnet" with funding from BMBF, which is expected to develop strategies and train young researchers for the future scientific use of MUSE.*

*Apart from instrumentation projects, 3D team members pursue actively research projects using state-of-the-art 3D spectrographs, such as VIMOS (VLT), VIRUS-P (McDonald Obs.), and PMAS (Calar Alto), and others.*

Roth, M. (2006): **The Euro3D research training network**, *New Astronomy Reviews* 50, 252

Roth, M. (2006): **PSF-fitting techniques for crowded field 3D spectroscopy**, *New Astronomy Reviews* 49, 573

Gerssen, J., Allington-Smith, J., Miller, B. W., Turner, J. E. H., Walker, A. (2006): **GMOS IFU observations of the stellar and gaseous kinematics in the centre of NGC 1068**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 365, 29

Weibacher, P. M., Roth, M. M., Pecontal-Rousset, A., Bacon, R. (2006): **The MUSE Data Reduction Pipeline.**, *New Astron. Rev.* 50, 405

Christensen, L., Wisotzki, L., Roth, M. M., Sánchez, S. F., Kelz, A., Jahnke, K. (2007): **An integral field spectroscopic survey for high redshift damped Lyman- $\alpha$  galaxies**, *Astronomy & Astrophysics* 468, 587

Gerssen, J., Debattista, V.P. (2007): **The effect of dust on Tremaine-Weinberg measurements**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical society* 378, 189

Hill, Gary J., MacQueen, P. J., Adams, J., Tufts, J., Blanc, G., Smith, M. P., Roth, M. M., Kelz, A., Segura, P., Gebhardt, K. (2007): **VIRUS-P: A Powerful Integral Field Spectrograph, Designed For Replication**, *AAS*, 211, 112

Kelz, A. (2007): **Prospects of Integral-Field Spectroscopy for Antarctica**, *EAS Publication Series, Vol. 25*, 251



Compute- and storage nodes of AIP's "luisse" cluster.

# Supercomputing und E-Science

## Supercomputing and E-Science



Team 06/07 (alphabet.): Michael Braun, Stephan Braune, Karl-Heinz Böning, Frank Breitling, Mario Dionies, Detlef Elstner (head), Harry Enke, Michael Fiebiger, Thomas Granzer, Alexander Knebe, Iliya Nickelt-Czycykowski, Andre Saar, Manfred Schultz, Matthias Steinmetz, Robert Tucker, Stevan White, Udo Ziegler

Unter dem Begriff E-Science wird jede Form der computergestützten, kooperativen Forschung verstanden. Am AIP liegen die Schwerpunkte bei der Softwareentwicklung für die Steuerung von robotischen Teleskopen, der kooperativen Verarbeitung astronomischer Daten und der Entwicklung komplexer numerischer Simulationsprogramme. Das AIP betreibt Hochleistungsrechner mit über 300 CPUs und Datenserver mit 240 TB Speichervolumen. Numerische Simulationen kosmischer Prozesse mit modernen Supercomputern sind heute ein wesentlicher Bestandteil astrophysikalischer Forschung. Am AIP werden Simulationsprogramme entwickelt, die effizient auf massiv parallelen Supercomputern ausgeführt werden. So ist NIRVANA ein Code mit adaptiver Gitterverfeinerung zur Simulation magnetischer Prozesse. Auf einem ähnlichen numerischen Ansatz beruht AMIGA, der für kosmologische Modellrechnungen entwickelt wird. Gemeinsam mit anderen Instituten werden weitere Programmprojekte entwickelt, wie zum Beispiel CO<sup>5</sup>BOLD für die Modellierung von Sternen oder ART zur Simulationen groß-

*The idea of e-science is any form of computer aided cooperative research. The main focus is on software development for controlling robotic telescopes, cooperative processing of astronomical data and the development of complex numerical simulation codes. The AIP hosts supercomputers with more than 300 CPUs and data server with 240 TB disk space. Numerical simulations of cosmic processes with modern supercomputers are a fundamental part of astrophysical research. Simulation codes are developed at AIP, which run efficiently on massive parallel supercomputers. For example NIRVANA is a code with adaptive mesh refinement in order to simulate magnetic processes. With a similar numerical ansatz the code AMIGA is developed for model calculations in cosmology. Together with scientists at other institutes further code projects are in progress. For example CO<sup>5</sup>BOLD is applied for stellar convection. With ART, simulations of the large-scale structure in the universe are performed. Simulations are the experiments in astrophysics producing huge amounts of data.*

räumiger Strukturen im Universum. Die Simulationen sind die Experimente in der Astrophysik, die große Datenmengen erzeugen. Deren Auswertung erfordert eine komplexe IT-Infrastruktur, die es ermöglicht diese Daten zu verwalten und Wissenschaftlern an unterschiedlichen Orten zugänglich zu machen. Ähnliche Anforderungen stellt das Datenaufkommen der modernen Großteleskope. Insbesondere LOFAR stößt an die Grenzen des technologisch Machbaren. Hierzu nutzen wir unter anderem Softwaretechnologie aus der GRID-Entwicklung.

Ein Schwerpunkt ist der Aufbau des AstroGrid-D, das vom AIP koordiniert wird. In diesem Rahmen sollen nicht nur Datenarchive und Rechner kooperativ genutzt werden. Auch robotische Teleskope sollen zukünftig im Verbund betrieben werden.

Mit der Beteiligung an GAVO unterstützen wir die weltweiten Bemühungen, funktionsfähige Verknüpfungen der astronomischen Datenarchive herzustellen.

## Robotische Teleskope als GRID Ressourcen

Abstrahiert man die Idee eines GRID als Netzwerk verbundener Hochleistungsrechner etwas weiter in Richtung einer Verbindung von datenerzeugenden Knoten, kommt man auf eine mögliche Realisierung so eines GRIDs als Verbund astronomischer Teleskope. Ähnlich wie bei Computerressourcen können auch von Teleskopen „jobs“ erledigt werden, jobs, die nun keine Rechenoperationen sondern Beobachtungen von astronomischen Objekten beschreiben. Praktischerweise wird man hier von einem Netzwerk robotischer Teleskope sprechen, auch wenn prinzipiell auch „klassische“ Teleskope eingebunden werden können. Das AIP betreibt sehr erfolgreich bereits die robotischen Teleskope STELLA-I & II in Teneriffa sowie das kleinere RoboTel auf dem Institutsgelände. Wir können also direkt beginnen, ein kleines GRID aufzubauen.

Was wollen wir mit einem Netzwerk von Teleskopen erreichen? Im einfachsten Fall wollen wir eine bestimmte astronomische Beobachtung eines Objekts mit einem ausgewählten Instrumentarium jetzt durchführen. Zuerst muss ein Teleskop gefunden werden, dass diese Beobachtung durchführen kann, es muss über die entspre-

*The analysis demands a complex IT infrastructure, which allows the administration of the data and gives scientists from different locations the possibility to access the data. Similar demands come from data emergence of modern telescopes. Especially LOFAR reaches the edge of the technologically feasible. Here we use, amongst others, software technology from the GRID development.*

*An important item is the organization of the AstroGrid-D, which is coordinated by the AIP. In this framework not only data archives and computer should be cooperatively used. Also a network of robotic telescopes will operate in the future.*

*The AIP supports the world-wide efforts to create interoperability of astronomical data archives with its participation in the German Astrophysical Virtual Observatory (GAVO).*

### Robotic Telescopes as GRID Ressources

*If you drive the idea of a GRID as a network of connected computer nodes a little bit further, you can define a GRID of resources as a connection of data-producing nodes. If you now replace data-producing nodes with telescopes, you arrive at a GRID of telescopes. Similar to computer resources, telescopes can conduct jobs, i.e. observe astronomical targets. In principle one does not have to specialize telescopes further, but in practice, a telescope network will consist of robotic telescopes. At the AIP, we already have several robotic telescopes, STELLA-I & II in Tenerife, and RoboTel at the campus. We can readily combine these individual telescopes to form a little GRID.*

*What is the aim of a telescope network?*

*In the most simple case, one will conduct an instantaneous astronomical observation of a target using specific instrumentation. Then one has to, first, identify telescopes that can produce the requested observation: They must have the appropriate instruments, it has to be night time at the telescope now, and the target has to be*

*above the horizon. Second, the telescopes in question have to be asked if they are willing to do this observation now. Ideally, the response will not be simply yes or now, but provide some more information like a probability or a cost estimate. From these replies, the most apt telescope can be chosen and the observation readily initiated (see Fig. 1)*

*To use GRID technology, one must comply with GRID procedures. First, a telescope has to be visible*

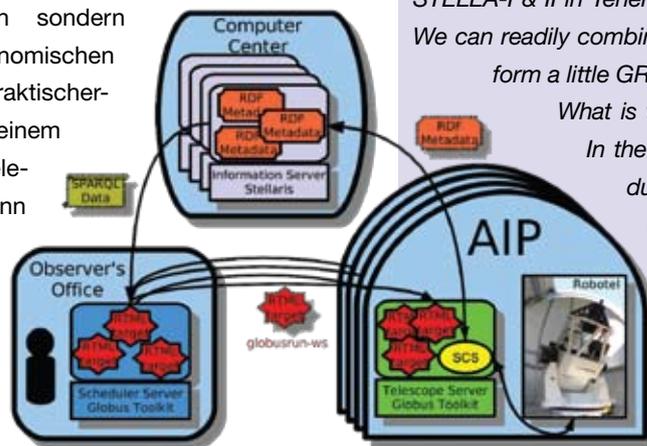


Fig 1: Schematics of the Robotic Telescopes Network.

chende Instrumentierung verfügen, es muss momentan gerade Nacht sein und das Objekt muss über dem Horizont stehen. Im nächsten Schritt muss bei den verbleibenden Teleskopen angefragt werden, ob sie die entsprechende Beobachtung durchführen können/wollen. Idealerweise wird das Teleskop nicht nur ja/nein antworten, sondern auch eine Wahrscheinlichkeit/einen Preis für die Beobachtung benennen. Aus diesen Antworten wird dann das beste Teleskop ausgewählt und die Beobachtung weitergeleitet (siehe Abb. 1).

Um GRID Technologie zu verwenden, muss man sich der GRID Mechanismen bedienen. Als erster Schritt muss die Ressource „Teleskop“ im GRID sichtbar werden. Dazu fassen wir die Eckdaten des Teleskops in einer XML Beschreibung zusammen. Zusammen mit einem Information Provider wie STELLARIS können nun z.B. die Teleskope geortet werden (siehe Abb. 2). In einem nächsten Schritt kann man aktuelle Wetterdaten einbinden, um die Vorausswahl zu vereinfachen. Sinnvoll ist es auch, Information zu den gerade laufenden Beobachtungen („jobs“) zu hinterlegen. Mit Hilfe dieser Information kann nun schon ein entsprechendes Teleskop ausgewählt werden.

Im Rahmen des Heterogeneous Telescope Networks (HTN), haben sich mehrere internationale Partner verpflichtet, ihre Teleskope zu einem Netzwerk zusammenzuschalten. Die zweite Phase, die „Verhandlung“ mit dem Teleskop, und Phase drei, die Beauftragung wird kompatibel zu diesen HTN-weiten Protokollen erfolgen. In einem ersten Schritt können interne STELLA-Beobachtungsbeschreibungen bereits in die Sprache des HTN übersetzt werden. Im Frühjahr 2009 soll es zu einer ersten konzentrierten Beobachtung eines globalen Teleskopnetzes führen.

as a resource in the GRID. We compiled the relevant data of our telescopes in small XML-files and uploaded them to an Information Provider like STELLARIS. This information can be retrieved as a world map, see Fig. 2. In a next step, we included current weather data and information on currently running targets, to make it easy for the resource broker to find an appropriate telescope for its task. Resource discovery is now already possible.

The Heterogeneous Telescope Network (HTN) aim on providing the infrastructure for an international telescope network. The negotiation phase and the actual assignment phase should stay compatible to the requirements of the HTN. We are already able to translate any STELLA observation to the internal HTN language. A first try of a networked observation should take place early 2009.

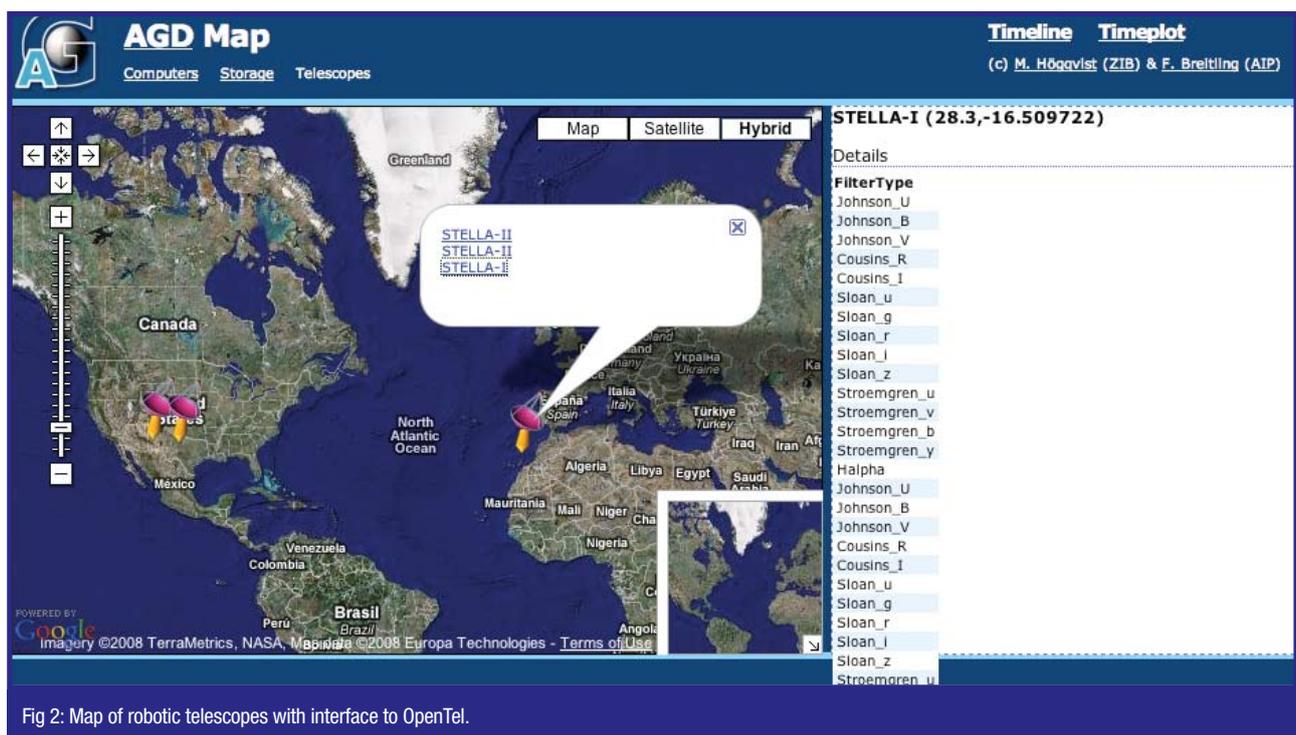


Fig 2: Map of robotic telescopes with interface to OpenTel.

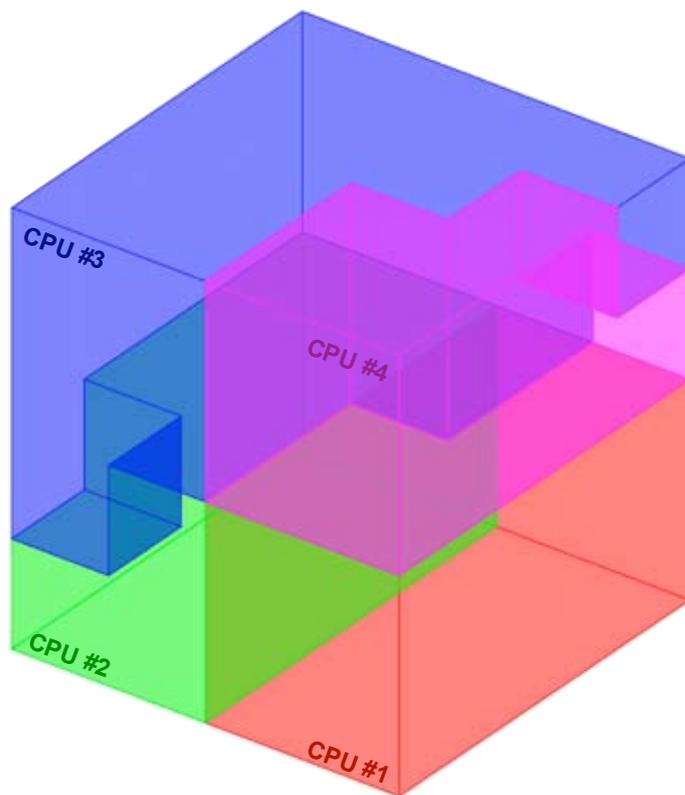
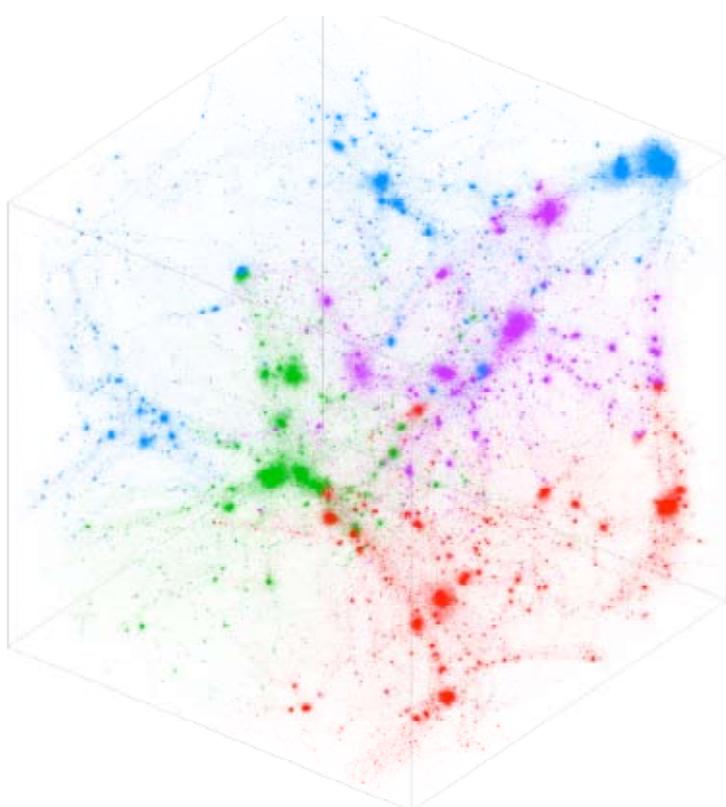
## Aufspüren von Dunkle-Materie-Halos in Kosmologischen Simulationen

Während der letzten 30 Jahre hat das Gebiet der Numerischen Simulationen in der Kosmologie einen dramatischen Aufschwung erfahren. Allerdings ist das Durchführen einer solchen Simulation nur der erste Schritt, wenn es um das Verständnis des „Universums im Computer“ geht. Die derzeit Milliarden von Teilchen, die zur Repräsentation der Dunklen Materie verwendet werden, müssen am Ende mit Beobachtungsdaten in Verbindung gebracht werden. Hierbei bedient man sich sog. „Halo Finder“, die auf Grund der Phasenraumeigenschaften der Dunklen-Materie-Teilchen gravitativ gebundenen Objekte in den Simulationen aufspüren. Um die Datenmengen einer modernen kosmologischen Simulation (bis zu 64 GB pro File) verarbeiten zu können, ist es notwendig, nicht nur die Simulationen sondern auch die Objektsuche parallel durchzuführen. Dazu haben wir den existierenden „Halo Finder“ MHF mit Hilfe der MPI-2 Bibliothek parallelisiert, so dass er auf Großrechnern wie dem Supercluster Sanssouci am AIP laufen kann. Er fand umgehend eine Anwendung für die Analyse der momentan höchstauflösten Simulation des lokalen Universums.

### *Finding Dark Matter Halos in Cosmological Simulations*

*Over the last 30 years great progress has been made in the development of N-body codes that model the distribution of dissipationless dark matter. However, producing the data is only one step in the process; the ensembles of billions of (dissipationless) dark matter particles generated still require interpreting and then comparison to the real Universe. This necessitates access to analysis tools to map the phase-space which is being sampled by the particles onto real objects in the Universe; traditionally this has been accomplished through the use of halo finders. Halo finders mine N-body data to find locally over-dense gravitationally bound systems, which are then attributed to the dark halos we currently believe to surround galaxies. We extended the existing, essentially parameter-free halo finder MHF to run fully parallel on distributed memory machines such as the in-house supercomputer Sanssouci by utilizing the MPI-2 standard. The code has been applied to the latest constrained simulation of the Local Universe consisting of more than one billion particles. As one of the simulation snapshots is 64 GB large it is impossible to analyze the data in serial mode.*

Fig 3: Schematic visualisation of the domain decomposition. Each CPU obtains a certain share of the total particles. It is further important for the CPU to communicate the results at the „CPU boundaries“ not to mistreat objects that happen to cross these boundaries.



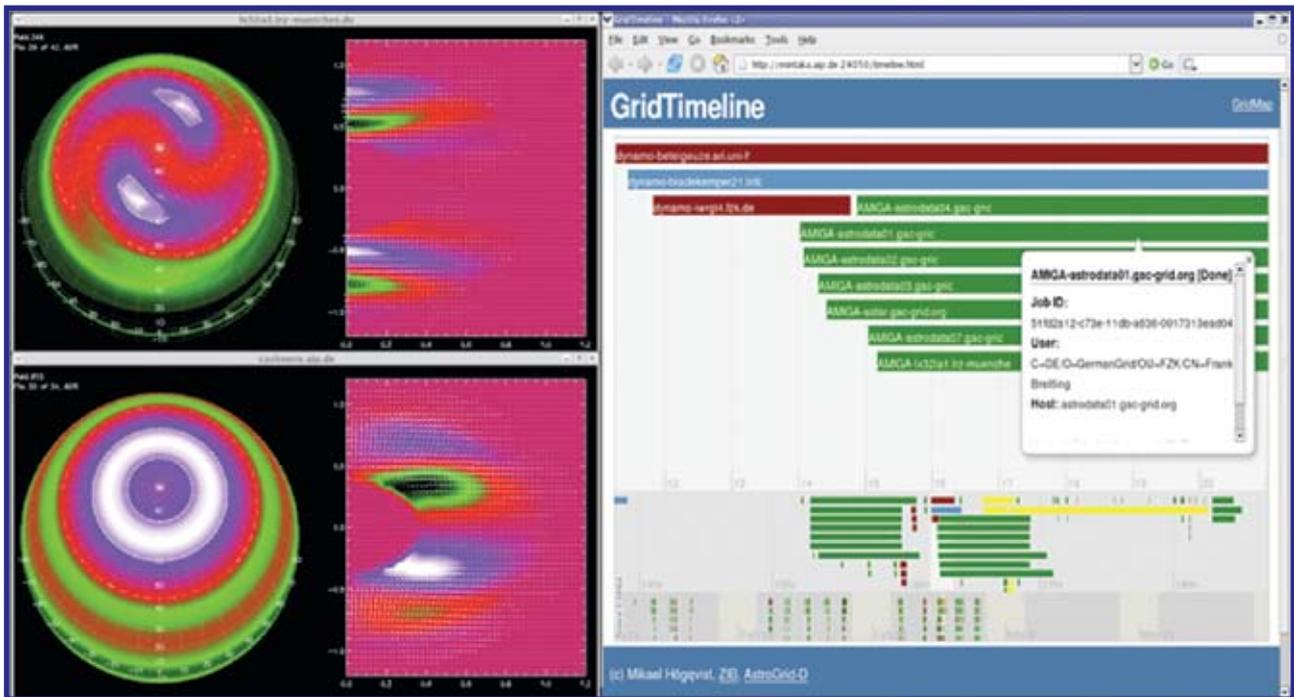


Fig. 4: Dynamo Grid-Application and Job Monitoring.

## AstroGrid-D: Ressourcenintegration und Unterstützung Virtueller Organisationen

Ziel des GRID-Computing ist die institutsübergreifende Nutzung von Ressourcen für wissenschaftliches Arbeiten. „Ressourcen“ bezeichnen dabei alle Formen an informationstechnischer Infrastruktur, also Cluster, Workstations, Speicherserver und robotische Teleskope. Größere wissenschaftliche Projekte sind heutzutage praktisch immer institutsübergreifend, oft sogar international. Diese Kollaborationen sollen durch die GRID-Technologie unterstützt werden, insbesondere bei neuen Großinstrumenten wie z. B. LOFAR mit hohen Datenvolumen im Terabyte-Bereich.

Das AIP hat sich im Rahmen des AstroGrid-D zunächst auf die standardisierte Einbindung von Hardware-Ressourcen konzentriert, die von den astronomischen Instituten in Deutschland eingebracht wurden. Die verwendete GRID-Software (auch „Middleware“ genannt) wurde dazu um ein umfangreiches Skript-Paket und Hilfen erweitert, um eine projektweite Standard-Installation umzusetzen.

Alle Teilnehmer eines Grids, ob Rechner oder menschliche Nutzer, benötigen Zertifikate, also die Ausweise für ihre Identifizierung. Auf Zertifikaten basiert die gesamte Sicherheit der GRID-Software: Der Nutzer kann mit ihrer Hilfe auf GRID-Ressourcen zugreifen, ohne jeweils erneut seine Identität überprüfen lassen zu müssen. So ist auch die Bildung und Unterstützung von Virtuellen Organisationen (VO) möglich, eine der Kernfähigkeiten eines Grids. Durch VOs können Kollaborationen und Ressourcen schnell

### **Astrogrid-D: Resource integration and support for Virtual Organizations**

*The main goal of the GRID is sharing resources across traditional boundaries to support scientific work. Resources are all kind of IT related infrastructure as workstations, clusters, storage servers or instruments like robotic telescopes. Almost all scientific projects are nowadays collaborative endeavours of many institutions in different countries. These collaborations need new infrastructures as provided by the grid technology, especially with instruments as LOFAR, providing a daily data volume in the Terabyte range.*

*The AIP group of AstroGrid-D started with focus on standardizing the integration of hardware resources from the partner institutes. The GRID software (aka middleware) was enhanced by a scripting package and a user guide for a standardized installation.*

*All resources and all users of a grid need a certificate, identifying them to each other and the middleware security layer. GRID security totally relies on certificates. They are used as the universal passports of the GRID. Supporting and managing Virtual Organizations (VOs) is one of the core concepts of the grid, building on certificates, since with VOs, resources and their users are easily connected. The AIP has designed and implemented a VO-Management system building on available software. Meanwhile this VO management system is used by the whole D-Grid.*

*The compute and storage resources, which are integrated into the grid, are employed by several sci-*

aufeinander abgestimmt werden, wozu ein so genanntes „VO-Management“-System dient. Das AIP hat dieses System für das AstroGrid-D angepasst und weiterentwickelt. Mittlerweile wird das Produkt sogar im gesamten deutschen GRID-Projekt („D-Grid“) eingesetzt.

Die Rechenressourcen des AstroGrid-D und des D-Grid, integriert durch die GRID-Middleware, werden von verschiedenen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen des AIP genutzt. Der Zugang und die Anwendung werden in Workshops erlernt, die sowohl im AIP selbst als auch für das AstroGrid-D durchgeführt werden. Insbesondere die vom AIP angebotene GRID-Speicherressource (mit einer Kapazität von 100 TB) wird von Wissenschaftlern des AIP, des AEI und der Uni Potsdam genutzt.

Ein weiteres Arbeitsgebiet der E-Science-Gruppe des AIP ist das Erheben von Informationen über die Nutzung des GRID, das so genannte Job-Monitoring. Ein Resultat dieser Arbeiten ist die „Timeline“, die den Benutzern hilft, seine Jobs im GRID zu beobachten.

## GAVO: Surveys and Archive

Eng vernetzt mit dem Astrogrid-D arbeitet die E-Science-Arbeitsgruppe des AIP an GAVO, dem „German Astrophysical Virtual Observatory“. Hier wurde das RAVE-Survey gemäß den Standards der International Virtual Observatory Alliance publiziert. Weitere Projekte sind unter anderem ein Mirror des WPDFB-Plattenarchivs für astronomische Photoplaten, der in Zusammenarbeit mit dem bulgarischen Virtuellen Observatorium am AIP eingerichtet wurde, sowie HALO-Tracer, eine Software, die Materieansammlungen bei kosmologischen Simulationen verfolgt. Ein weiterer Teil der Aufgaben umfasst die Entwicklung von Software-Bibliotheken zur Nutzung des weltweiten Virtuellen Observatoriums und die Schulung in der Nutzung der bestehenden Programme. Das AIP administriert auch die Webseiten des deutschlandweiten GAVO-Projektes.

### Ausgewählte Publikationen *Selected Publications*

*Enke, H., Steinmetz, M., Radke, T., Reiser, A., Röblitz, T., Höggqvist, M. (2007): AstroGrid-D: Enhancing Astrophysical Science with GRID Technology, Proceedings of the German e-science Conference, May 2-5, 2007, Baden-Baden, Germany*

*Granzer, T., Breitling, F., Braun, M., Enke, H., Röblitz, T. (2007): Providing Remote Access to Robotic Telescopes by Adopting GRID Technology, Proceedings of the German e-Science Conference, May 2-5, 2007, Baden-Baden, Germany*

*entific groups of AIP. With Hands-On-workshops we introduced the new environment to the scientists. Especially the GRID storage resource at AIP is much in demand by scientists from AIP, AEI and University of Potsdam.*

*Another area, where the AIP group contributed to the development of the grid software is the job monitoring, where information is collected about the usage of the grid. One of the results of this is the “Timeline” (see Fig. 4), enabling a user to get information about the grid jobs he is running.*

### **GAVO: Surveys and Archives**

*In close cooperation with AstroGrid-D the e-science group of AIP works for the German Virtual Observatory (GAVO). The RAVE survey was published according to the standards of IVOA. Furthermore a mirror of the WPDFB archive of photometric plates at AIP in collaboration with the Bulgarian Virtual Observatory was set up. Then, a web based HALO-tracer software for tracing halos in cosmological simulations is hosted at AIP. Further tasks are the development of software libraries for enabling scientists to make use of the standards of the international Virtual Observatory and introducing them to the existing software. The AIP is maintaining the website of GAVO.*

*Nickelt, I., Enke, H. (2007): GAVO-II and the RAVE survey spectral database, ESAC conference proceedings, March 2007 (in print)*

<http://nirvana-code.aip.de/>

<http://www.aip.de/People/AKnebe/AMIGA/>

<http://www.gac-grid.de/>

<http://www.g-vo.org/>

# Standorte und Infrastruktur

*Sites and Infrastructure*

## Forschungscampus Potsdam-Babelsberg und Außenstellen

### *The Potsdam-Babelsberg Research Campus and associated facilities*



Die Forschungsaktivitäten des AIP verteilen sich geografisch auf verschiedene Standorte in und um Potsdam, in den USA und auf Teneriffa, wobei kein Personal des AIP dauerhaft an den Außenstellen angesiedelt ist. Hauptstandort ist der Campus Babelsberg auf dem rund 140 Mitarbeiter des AIP untergebracht sind.

#### **Ein Rundgang über den Campus:**

##### **Gebäude und Teleskope heute**

Auf dem Potsdamer Babelsberg gelegen schließt das Gelände, einst als Geschenk durch Kaiser Wilhelm II. den Astronomen zum Erbau einer Sternwarte übergeben, direkt an den Park Babelsberg an. Heute ist das gesamte historische Ensemble der Sternwarte Babelsberg Teil des UNESCO-Welterbes in Potsdam.

Das 1913 am Rande des Park Babelsberg errichtete Hauptgebäude der historischen Babelsberger Sternwarte bietet heute Platz für Forschergruppen des Forschungsschwerpunkts "Kosmische Magnetfelder" und die Administration. In der großen Kuppel befindet sich der historische Refraktor. Die 50 cm- und 70 cm-Spiegelteleskope in den kleineren Seitenkuppeln werden auch heute noch wissenschaftlich genutzt.

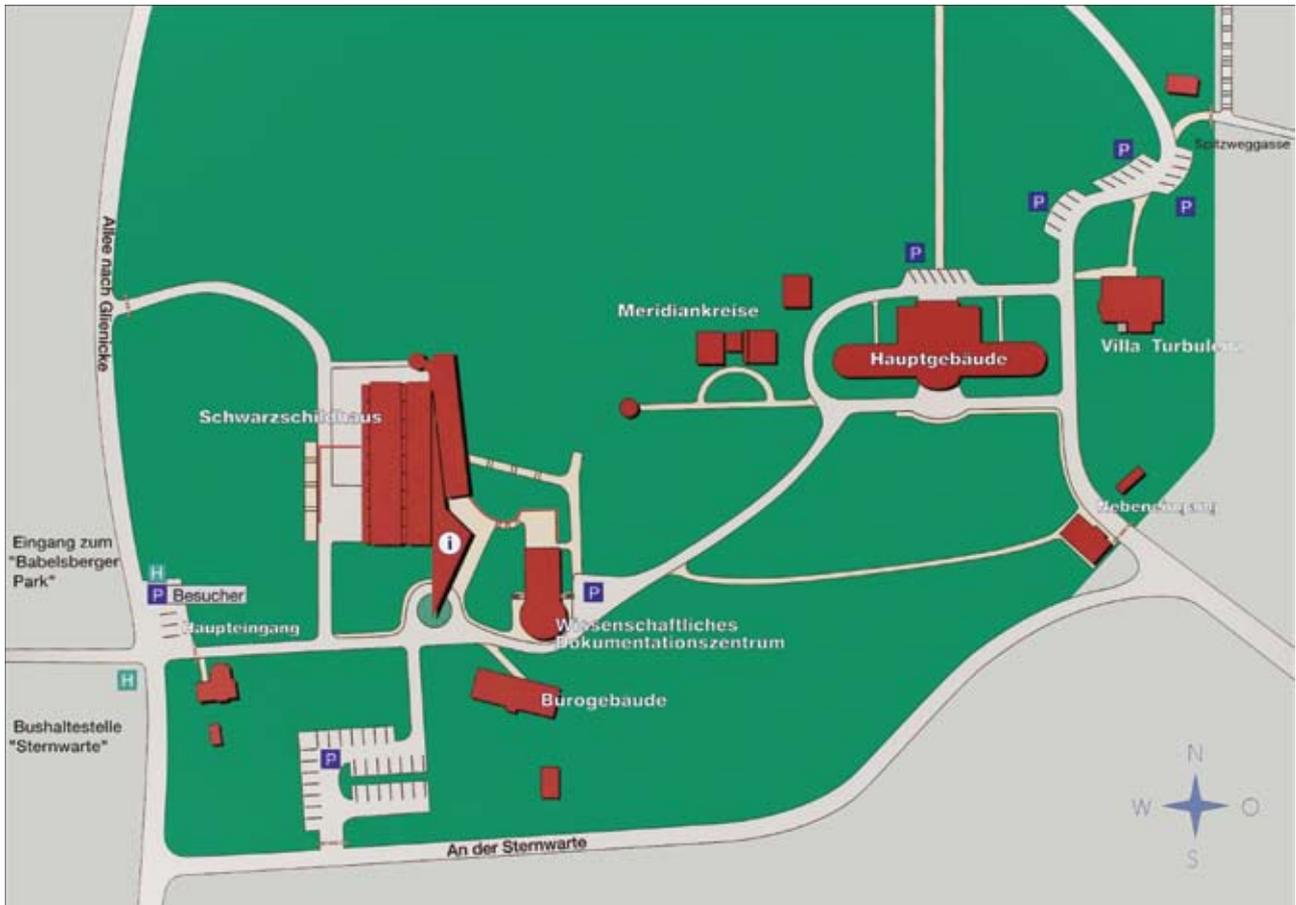


*The research activities of the AIP are geographically spread over different locations in and around Potsdam, in the US and on Tenerife, however, with no permanent personnel at the associated facilities. The Potsdam-Babelsberg Research Campus constitutes the main location which accommodates about 140 people.*

#### ***A campus tour: Buildings and telescopes today***

*Located on the "Babelsberg" hill, the area, once given to the astronomers by Kaiser Wilhelm II for the construction of an observatory, directly connects to the park of Babelsberg. The whole historic ensemble of the Babelsberg Observatory forms part of the UNESCO world heritage in Potsdam.*

*The historic main observatory building from 1913 today accommodates research groups belonging to the research focus area "Cosmic Magnetic Fields" and the administration. Its large central dome holds the historic Babelsberg refractor. A 50 cm and a 70 cm mirror telescope which are placed in the smaller domes at both sides are used for scientific purposes to this day.*



Das Schwarzschildhaus beherbergt die Forschergruppen des Forschungsschwerpunkts „Extragalaktische Astrophysik“. Seit seiner Einweihung im Jahre 2000 dient es dem AIP gleichzeitig als Technologiegebäude und bietet die notwendigen Labore und Werkstätten für die Entwicklung von Forschungsinfrastruktur und -technologie. In der auf das Schwarzschildhaus aufgesetzten 4 m-Kuppel ist seit 2005 das Schulteleskop Robotel untergebracht.

Bis 1945 beherbergte auch die Kuppel des heutigen Bibliotheksgebäudes ein 122 cm Spiegelteleskop. Das denkmalgerecht restaurierte Gebäude wurde 2002 als Bibliothek dem AIP zur Nutzung übergeben. Das Bürogebäude neben der Bibliothek wird von den Arbeitsgruppen Solare Radioastronomie, Kosmologie und e-Science genutzt. Es wird 2010 durch einen Forschungsneubau ersetzt werden. Zwischen Hauptgebäude, Bibliothek und Schwarzschild-

*In the “Schwarzschildhaus”, research groups belonging to the research focus “Extragalactic Astrophysics” are located. Inaugurated in 2000, this modern building also serves as technology building, hosting the necessary laboratories and workshops for the development focus “Development of Research Infrastructure and Technology”. The small 4m dome on the Schwarzschildhaus since 2005 holds the school telescope “Robotel”.*

*Until 1945, the dome of today’s library building also held a 122 cm mirror telescope. The dome was renovated as part of an heritageprotected ensemble, and given to the AIP for the usage as a library in 2002. A mobile container next to the library is used by the research groups Solar Radio Astronomy, Cosmology and E-Science. It will be replaced by a new modern research building in 2010.*





haus befindet sich in den restaurierten ehemaligen Meridianhäusern das Medien- und Kommunikationszentrum (MCC), in denen heute Datenströme der robotischen Teleskope und ferngesteuerten Instrumente zusammenlaufen und in dem Besucher 3D-Simulationen der Galaxienentstehung bestaunen können.

Kleinere Gebäude aus Zeiten der historischen Sternwarte sind das Direktorenhaus „Villa Turbulenz“, das „Persiushaus“ und der Merzrefraktor. Die heutige „Villa Turbulenz“ wurde für den Direktor der Sternwarte Babelsberg, Hermann Struve, errichtet. Heute beherbergt das Haus Büros für die Wissenschaftler, die auf dem Gebiet der stellaren Physik und der Magnetohydrodynamik arbeiten. Das „Persiushaus“ wird dem Architekten Reinhold Ernst Ludwig Persius (1835-1912) zugeschrieben. Momentan wird das Gebäude saniert und zu einer Cafeteria für die Mitarbeiter des Instituts ausgebaut. Die Kuppel des ehemaligen Merz-Refraktors beherbergte ein 50-cm-Schmidt-Teleskop, ist jedoch heute nicht mehr in Betrieb.

Zusätzlich zu den Einrichtungen in Babelsberg, betreibt das AIP südlich von Potsdam, bei Tremisdorf „ein solares Observatorium für Radioastronomie. Dieses überwacht mit Antennen für verschiedene Frequenzbereiche automatisch die Radiostrahlung aus der Sonnenkorona. In Zukunft wird die Radioastronomie in Potsdam mit dem LOFAR-Projekt, einem neuartigen Radioteleskop aus geografisch verteilten Stationen, mit einer Station in Potsdam-Bornim (auf dem Gelände des Leibniz Instituts für Agrartechnik Bornim) neue Bedeutung gewinnen.

#### **Technische Infrastruktur und Technologietransfer**

Zusammen mit den anderen astrophysikalisch orientierten Forschungseinrichtungen in der Region, hier sind insbesondere die Universität Potsdam und das Albert-Einstein-Institut zu nennen (aber auch DESY-Zeuthen und AWI, GFZ und PIK auf dem Telegrafenberg), bildet Astrophysik einen Forschungsschwerpunkt in der Region mit umfassender Aktivität im FuE-Bereich. Wie das Zentrum für Innovationskompetenz „innoFSPEC“ exemplarisch belegt, bieten sich damit auch zahlreiche Kooperationsmöglichkeiten mit Industriepartnern in der Region.

*In between the main building, the library and the Schwarzschildhaus, one finds the Media and Communication Centre (MCC) in the renovated former meridian buildings. Today data streams from robotic telescopes and remotely controlled instruments are collected here, and visitors can watch simulations from galaxy formations in 3D projection.*

*The director's residence "Villa Turbulence", the "Persiushaus" and the "Merz Refractor" are smaller buildings from historic observatory times. The "Villa Turbulence" was originally built for the director of the Babelsberg Observatory, Hermann Struve. Today it accommodates offices for scientists working in the field of Stellar Physics and Magnetohydrodynamics. The Persiushaus is accredited to the architect Reinhold Ernst Ludwig Persius (1835-1912). At present, the building is being renovated and remodelled as a cafeteria for the institute staff.*

*The dome of the former Merz Refractor accommodated a 50cm mirror telescope but is out of operation today.*

*In addition to its facilities in Babelsberg, the AIP operates a solar observatory for radio astronomy in Tremisdorf, south of Potsdam. Using several antennae for different frequency bands, it automatically monitors the radio emission from the Solar corona. In the future, radio astronomy in Potsdam will grow further in importance due to its involvement in the LOFAR-project, a new generation radio telescope encompassing numerous geographically spread station, one of them provided by AIP in Potsdam-Bornim (on the site of the Leibniz Institute for Agricultural Engineering).*

#### **Technical infrastructure and technology transfer**

*Along with other astrophysically oriented research institutions in the region – in particular the University of Potsdam and the Albert-Einstein Institute (but also AWI, GFZ and PIK on the Telegrafenberg) – astrophysics constitutes a research focus of the region with a broad activity in the R&D area. As exemplified by the "innoFSPEC" centre (see later), there are numerous possibilities of cooperations with industry partners of the region.*

Von der Forschungstechnik, bestehend aus 13 Mitarbeitern, werden die instrumentellen Voraussetzungen für die astronomische Forschung und den Technologietransfer geschaffen. Haupteinsatzgebiet ist die Entwicklung, der Bau und Test erdgebundener Fokalinstrumente sowie roboterischer Teleskope.

Neben der Beteiligung am Aufbau von Großteleskopen und Instrumenten wie dem LBT (AGW, PEPSI) und dem MUSE (am VLT) gehört auch die Wartung und Verbesserung bereits im Einsatz befindlicher Instrumente (PMAS, STELLA) zu der Arbeit der Forschungstechnik. Ebenso ist die Pflege historischer Instrumente (Großer Refraktor Potsdam) Aufgabe der Forschungstechnik. Moderne CAD Arbeitsplätze für die Entwicklung optischer Systeme, für Schaltungsentwicklung des Elektronikbereiches sowie für die mechanische Konstruktion ermöglichen eine hohe Effizienz und erlauben eine moderne Qualitätssicherung. Die feinmechanische Werkstatt mit 4 Mitarbeitern, in der auch Lehrlingsausbildung erfolgt, besitzt einen modernen Bohr-, Dreh- und Fräsmaschinenpark. Zur Forschungstechnik gehören weiter Optik- und Elektroniklabore, ein Reinraum der Klasse IV, eine Faradaykabine sowie 2 Integrationshallen mit einem Teleskopsimulator.

Dank Erfahrungen in der Fasertechnik bestehen weltweite Zusammenarbeiten mit mehreren Universitäten und Instituten (z.B. McDonald Observatory in Texas, Anglo-Australian-Observatory).

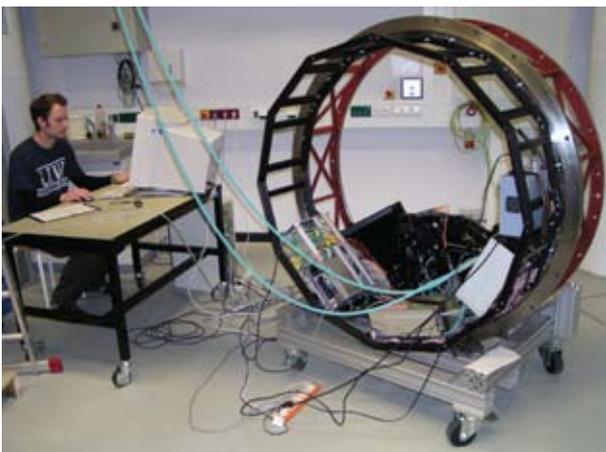
Ende 2008 wird mit dem Bau eines weiteren Technologiegebäudes begonnen werden, das die vorhandene Infrastruktur ergänzen wird, insbesondere im Bereich der Faseroptik und der Entwicklung für Instrumente, die unter extremen Bedingungen wie z.B. im Weltraum oder in der Antarktis betrieben werden.

Durch diesen Forschungsneubau soll der technologische Entwicklungsschwerpunkt des AIP auch in Zukunft weiter gestärkt und die Kooperation mit weiteren Forschungseinrichtungen sowie Unternehmen (KMU) der Region Berlin-

*The research technology team, comprising 13 people, establishes the instrumental prerequisites for astronomical research and technology transfer. Main tasks are the development, the construction and the test of Earth-bound focal instruments and robotic telescopes. In addition to contributing to the construction of large telescopes and instruments like the LBT (AGW, PEPSI) or MUSE (at VLT), the technology team is also in charge of the maintenance and improvement of instruments which are already in operation (PMAS, STELLA). Fostering and maintaining the historic instruments (Great Refractor, Potsdam) also forms part of their responsibilities. Modern CAD working places for the development of optical systems, for circuit design of the electronics and for mechanic construction allow for a high efficiency and modern quality assurance. The fine-mechanical workshop with 4 employees, and apprentices in training, contains a modern boring, turning and milling machine park. The research technology department furthermore encompasses an optics and an electronics laboratory, a class 4 clean room, a faraday cabin, two integration halls and a telescope simulator. Thanks to AIPs experience in fibre technology, world-wide cooperations exist with several universities and institutes (e.g. McDonald Observatory in Texas, Anglo-Australian Observatory).*

*The construction of a new technology building is scheduled to start in the end of 2008, in order to complement the existing infrastructure (see perspectives) in particular in the area of fibre optics and the development of instruments which are operated under extreme conditions (in space or in Antarctica).*

*With this new technology building, the positioning for technology transfer shall be further strengthened, and more interdisciplinary applications and cooperations between AIP and other research institutions and enterprises (SME) of the Berlin- Brandenburg region shall be stimulated. This in particular is the case for technologies in the fields of optics/photonics and information technology.*





Brandenburg stimuliert werden. Dies erstreckt sich insbesondere auf Technologien im Bereich Optik/Photonik und Informationstechnologie.

### **innoFSPEC-Potsdam – ein Kompetenzzentrum für innovative Faserspektroskopie und Sensorik**

Seit April 2007 arbeitet das Astrophysikalische Institut Potsdam gemeinsam mit der Universität Potsdam (Physikalische Chemie-UPPC) am Konzept für ein neuartiges Forschungszentrum für Faserspektroskopie und Sensorik (innoFSPEC). Mit diesem Gemeinschaftsvorhaben bewerben sich die Institutionen um eine Förderung durch das BMBF im Rahmen des Programms zur Einrichtung von „Zentren für Innovationskompetenz“ (Unternehmen Region).

Mit der Zielstellung der Entwicklung qualitativ neuartiger Systeme für die Spektroskopie und Sensorik wird innoFSPEC die neusten Ergebnisse der optischen Forschung und der Entwicklungen photonischer Technologien aufnehmen und weiterverfolgen. Durch innoFSPEC Potsdam entsteht ein neues Forschungsgebiet, das erstmals chemische Sensorik mit Vielkanal-Spektroskopie verknüpft. Der interdisziplinäre Ansatz vereint komplementäre Kompetenzen von AIP und UPPC und sichert exzellente Forschung mit einem signifikanten Innovationspotential und Anwendungsmöglichkeiten über die Astrophysik hinaus in den Bereichen Geo-/Umweltmonitoring, der Physikalischen Chemie und der Medizintechnik.

Mit innoFSPEC soll ein Modellversuch für eine neue Form der Kooperation der Universität Potsdam und dem AIP gestartet werden, in der die beteiligten Partner als eigenständige Institutionen ihre spezifischen Stärken einbringen. Damit folgt das Konzept der Intention des Präsidenten der Leibniz-Gemeinschaft Herrn Prof. Rietschel, die er anlässlich der Jahrestagung 2007 der Leibniz-Gemeinschaft in seinem Vortrag „Liebesheirat statt Zwangsehe“ äußerte (s. Leibniz-Journal 4/2007).

innoFSPEC bietet das Potential, sich zu einem Exzellenzzentrum auf dem Gebiet der Faseroptik im Raum Potsdam-Berlin, unter Beteiligung des Kompetenznetzes für Optische Technologien (OpTecBB), zu entwickeln.

### ***The Research Technology Team 06/07 (alphabet.):***

*Svend-Marian Bauer, Wilbert Bittner, Frank Dionies, Daniel Döscher, Thomas Fechner, Thomas Hahn, Johanner Kuhle, Ronald Materne, Sergej Pankratow, Jens Paschke, Volker Plank, Emil Popow (head), Julian Roy, Manfred Woche, Dieter Wolter*

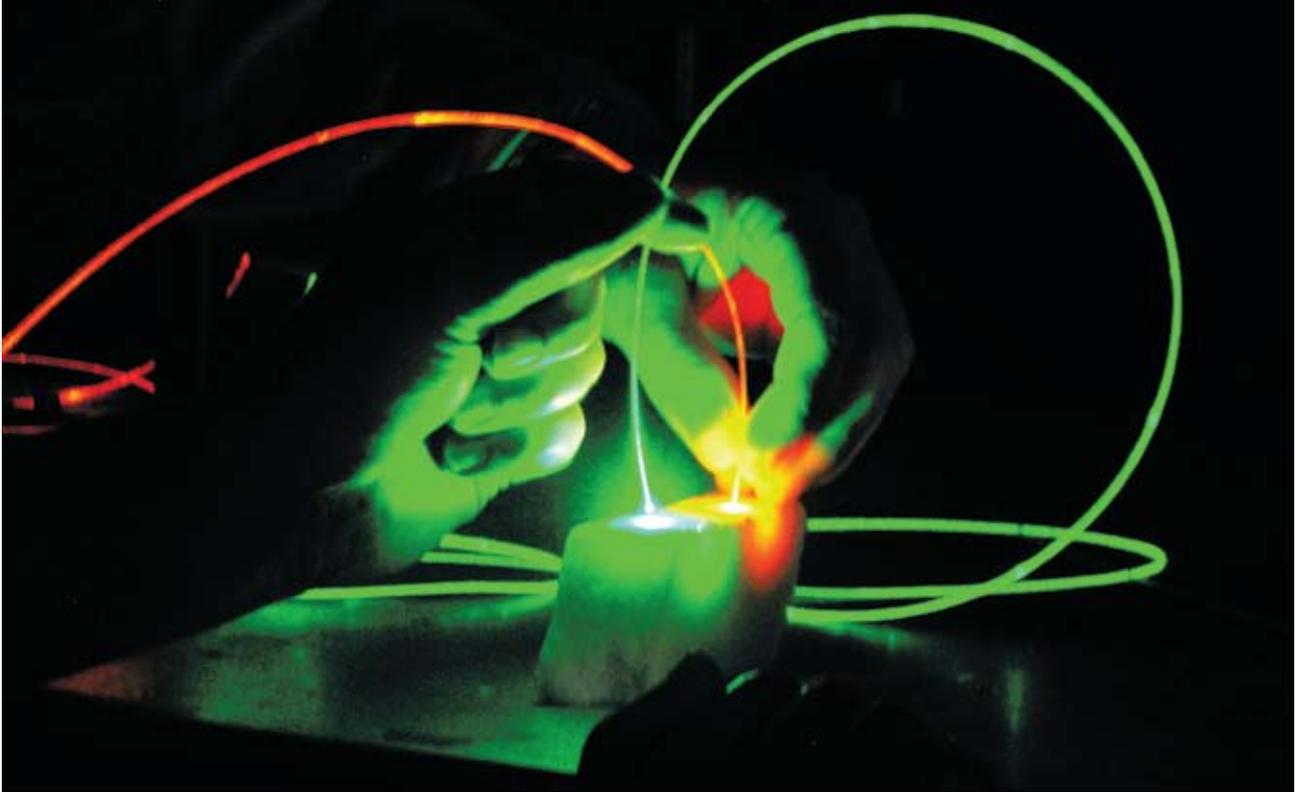
### ***innoFSPEC Potsdam – a competence centre for innovative fibre spectroscopy and sensing***

*Since April 2007, together with the University of Potsdam (Physical Chemistry – UPPC), the AIP works on a concept for a innovative research centre for optical fibre spectroscopy and sensing (innoFSPEC). In this collaborative effort the institutions apply for funding by the BMBF in the framework of their programme for the establishment of “Centres for Innovation Competence” (“Unternehmen Region”).*

*innoFSPEC aims at the development of qualitatively new systems for spectroscopy and sensing, and will therefore build on and follow-up most recent results of optical research and the development of photonics technology. innoFSPEC establishes a new research area, which for the first time links chemical sensing to multichannel spectroscopy. This interdisciplinary approach brings together complementary competencies of AIP and UPPC and assures excellent research with a significant potential for innovation and applications beyond astrophysics in the area of geological and environmental monitoring, physical chemistry and medical technology.*

*The establishment of innoFSPEC also means a model experiment for a new form of a collaboration of the AIP with the University of Potsdam, in which both partners bring their specific strengths as independent institutions. This concept follows the intention of the president of the Leibniz society, Prof. Rietschel, which he elaborated during his presentation “Liebesheirat statt Zwangsehe” (A love-match, no forced marriage) during the yearly conference of the Leibniz society (see Leibniz-Journal 4/2007).*

*innoFSPEC has the potential to evolve to a centre of excellence on the area of fibre optics in the Potsdam-Berlin region, and with contributions of the network of competence for optical technologies (OpTecBB).*



### Wissenschaftliches Dokumentationszentrum

Die Bibliothek des AIP ist als offene Freihandbibliothek organisiert; ihre Dienstleistungen orientieren sich an der Struktur und den Inhalten der Institutsforschung, werden aber auch externen NutzerInnen angeboten.

Der Präsenzbestand umfasst ca. 75.000 Bestandseinheiten, 500 Atlanten mit ca. 7.000 Himmelskarten sowie 19.000 Fotoplatten. Darüber hinaus gehören zum Bestand der Bibliothek ca. 12.000 ungebundene Sternwartenveröffentlichungen von 300 Observatorien seit dem 17. Jh. und die Schriften und Reihen von 100 Akademien und Gesellschaften. Der Nachweis der Bibliotheksbestände erfolgt über einen Online-Katalog. Inzwischen sind mehr als 13.000 Titel des Gesamtbestandes erfasst. Außerdem werden der Zugang zur elektronischen Zeitschriftenbibliothek, Fachdatenbanken und Fachrecherchen angeboten. Durch Netzwerkbildungen, wie dem Arbeitskreis der Leibniz-Bibliotheken und dem Library and Information Services in Astronomy (LISA) Netzwerk, konnte die Literatur- und Informationsbeschaffung deutlich verbessert werden. Im Berichtszeitraum konnte die Anzahl der Online-Zeitschriften durch Konsortialbildungen innerhalb der Leibniz-Gemeinschaft, wie das Blackwell-Konsortium, deutlich erhöht werden. Die Bibliothek hat 100 Periodika im Abonnement und bietet Zugriff auf ca. 650 eJournals und zahlreiche Nationallizenzen. Alle diese Serviceleistungen



### The innoFSPEC team at AIP:

Martin M. Roth (PI), Andreas Kelz (advisory board), Ingo Kapp (project manager), Katja Janssen (scientist), Steffen Lau (scientist), Katja Felgenträger (assistant)

### Scientific documentation centre

Today the library of the AIP is an open access library. Services are oriented at the structure and contents of research within the institute. However, the facilities are also offered to external users.

The open access holdings include about 75,000 inventory units, 500 atlases containing 7,000 star charts, as well as 19,000 photo plates. Moreover, approx. 12,000 unbound observatory publications from 300 observatories dating from the 17<sup>th</sup> century and writings and periodicals of 100 academies and societies are part of the collection. The library stock is listed in an online catalogue. Up to now the catalogue includes more than 13,000 entries. Furthermore, the library offers access to our electronic library of journals, scientific databases and subject – matter search. By creating networks like the working group of libraries of the Leibniz Association and the network of Library and Information Services in Astronomy (LISA), the literature acquisition like the provision of information improved remarkably.

der Bibliothek sind auf den Bibliothekswebseiten (<http://www.aip.de/groups/bib/lib.html>) dargestellt und abrufbar.

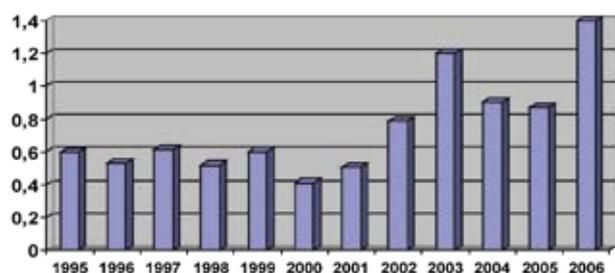
Die Arbeiten zur Digitalisierung des wertvollen Plattenarchivs des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam in Zusammenarbeit mit Milcho Tsvetkov vom Astronomischen Institut BAS in Sofia wurden fortgeführt.

### **Astronomische Nachrichten (AN)**

Nach der Wiedervereinigung Deutschlands wurden die *Astronomischen Nachrichten* vom Wiley Verlag, dem rechtlichen Nachfolger des früheren Verlegers der Akademie der Wissenschaften der DDR, weitergeführt. Seitdem ist das Redaktionsbüro am AIP untergebracht. Die AN veröffentlichen heute jährlich ca. 200 internationale Papiere und weisen bis zu 1.000 Zitierungen pro Jahr auf.

Im Jahr 2007 wurde das 200-jährige Jubiläum der Eröffnung von Charles Wileys erster kleiner Druckerei in Manhattan, New York, begangen. Die *Astronomischen Nachrichten* wurden kurz darauf durch H.C. Schumacher in Altona (heute Hamburg-Altona, damals unter Dänischer Herrschaft) gegründet. 2006 war das bisher erfolgreichste Jahr für die AN. Der international anerkannte „ISI Impact Faktor“ erreichte für die AN mit 1,4 sein Allzeit-Hoch seit Beginn des Rankings im Jahre 1995.

Im Jahre 2006 wurde ein neues Feature namens „Editors Choice“ eingeführt. Außergewöhnliche Beiträge werden als „Editor's Choice“ gekennzeichnet, erhalten so spezielle Aufmerksamkeit und bieten die Möglichkeit der Platzierung eines kostenfreien Farbfotos in der Druckversion. Eine vierfarbige Grafik aus dem Artikel wird auf dem Cover der jeweiligen Ausgabe abgedruckt.



The "Journal Impact Factor" as published by ISI®. AN reached its highest value in 2006 with 1.4.

*During the reference period the number of electronic journals increased by the formation of consortia, for example the Blackwell-consortium within the Leibniz Association. The library subscribes 100 periodicals and give access to approximately 400 electronic journals and numerous national licenses. All services can be found on the library website (<http://www.aip.de/groups/bib/lib.html>).*

*The digitalization of the old photoplates of the valuable platecollection of the former Astrophysical Observatory Potsdam has been continued. The work is done in collaboration with the team of Milcho Tsvetkov, Institute of Astronomy BAS, Sofia.*

### **The library team 06/07 (alphabet.):**

Regina v. Berlepsch (head), Peter Hans, Ludmilla Kurth

### **Astronomical Notes (AN)**

*After the reunification of the two Germany's AN was continued at Wiley as the legal successor of the former publisher for the Academy of Sciences in East-Germany. Since then, AIP hosts the editorial office. AN now publishes approximately 200 international papers annually and receives close to 1,000 citations per year.*

*2007 marked the 200<sup>th</sup> anniversary of Charles Wiley's opening of a small printing shop in lower Manhattan, New York. Astronomical Notes / Astronomische Nachrichten (AN) were founded not much later by H. C. Schumacher in Altona in 1821 (now Hamburg-Altona, then under Danish jurisdiction). 2006 marked the yet most successful year for AN. The internationally established ISI impact factor listed AN with a value of 1.4, an all-time high for the journal since the start of its ranking in 1995.*

*As of 2006, a new feature named "Editor's Choice" has been introduced. Outstanding articles are featured as "Editor's Choice" and receive special attention like free online access, may include one color figure in the printed version of his/her article at no cost for the authors and a four-colour illustration taken from the article is featured on the front cover of the respective issue of AN.*

### **The AN Team:**

K. G. Strassmeier (Editor-in-Chief)  
G. Rüdiger (Managing Editor)  
D. Schönberner (Assistant Managing Editor)  
M. Krumpe (Secretary)

## Wissenschaftshistorischer Standort Potsdam-Telegrafenberg

### *The Potsdam-Telegrafenberg Historical Site*

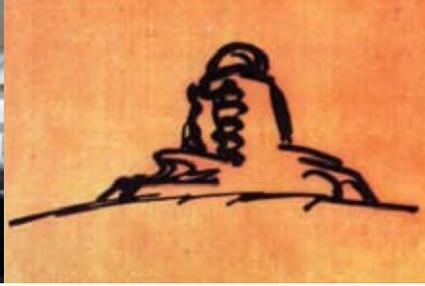


Auf dem Telegrafenberg, einer 96 Meter hohen Erhebung in Potsdam, befindet sich der „Wissenschaftspark Albert Einstein“. Schon bei Baubeginn 1874 als Wissenschaftspark im Stil eines englischen Landschaftsgartens angelegt sind dort heute neben dem AIP mit seinem Sonnenobservatorium Einsteinturm und dem Großen Refraktor das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ), das Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) sowie eine Zweigstelle des Alfred-Wegener Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI) angesiedelt. Das Astrophysikalische Observatorium Potsdam (AOP), neben der Berliner Sternwarte eine der Vorgängereinrichtungen des AIP, war die erste Forschungseinrichtung auf dem Telegrafenberg und gleichzeitig das erste astronomische Institut der Welt, das den Begriff „Astrophysik“ im Institutsnamen und im Arbeitsprogramm führte.

Die Bauten auf dem Telegrafenberg entstanden in den Jahren 1874 bis 1899. 1876 entstand als erstes Gebäude das Hauptgebäude des AOP (heute: "Michelson-Haus") und ab 1899 der Große Refraktor. Bedeutende Persönlichkeiten wie Karl Schwarzschild, ab 1909 Direktor des AOP, und Albert Abraham Michelson, der im Keller des heutigen Michelson Hauses einen Vorläuferversuch des Michelson-Morley Experimentes durchführte, arbeiteten und forschten im Laufe der Zeit auf dem Telegrafenberg. Mit der Inbetriebnahme des Einsteinturms 1924 begann in Potsdam und in Deutschland eine neue Ära moderner

*On the Telegrafenberg, a 96 meter high elevation in Potsdam, the „Science Park Albert Einstein“, so named since 1992, hosts a conglomerate of major scientific institutions.*

*The original site was designed to be a science park in the style of an English garden landscape. Today, in addition to the AIP with its solar observatory Einstein tower and the Great Refractor, the GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ, the German Research Centre for Geosciences), the Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) and a branch of the Alfred-Wegener Institute (AWI, institute for scientific marine research and research in the Arctic and Antarctic) are located on the site. The Astrophysical Observatory Potsdam (AOP), which is along with the Berlin observatory one of the predecessor institutions of the AIP was the first research institute located at the science park and it was the first astronomical institute of the world having "astrophysics" in its name and as a research programme. The buildings on the Telegrafenberg were constructed in the period of 1874 to 1899. In 1876, the main building of the AOP (today called "Michelson House") was finished as the first building of the park, and in 1899, the Great Refractor was completed. Important personages like Karl Schwarzschild, since 1909 director of the AOP, and A.A. Michelson, who performed a precursor experiment of the famous Michelson-Morley experiment in the basement of the Michelson building, worked*



Sonnenforschung noch heute, nach über 80jähriger Nutzung, ist der Einsteinurm das größte Sonnenteleskop in Deutschland. Sonnenphysik gehört weiterhin zu den Forschungsschwerpunkten des AIP.

Der Name „Telegrafenberg“ geht auf eine 1832 dort errichtete optische Telegrafstation zurück (ein 6m hoher Mast) die damals Teil der von Friedrich Wilhelm III. beauftragten, 62 Stationen umfassenden, „Preußischen Staatstelegrammlinie“ zwischen Berlin und Koblenz war. Mit der Einführung der elektrischen Telegrafie wurde diese Linie 1852 eingestellt. Eine Hinweistafel erinnert heute an die Station.

Von den 10 wissenschaftshistorischen Stationen auf dem Telegrafenberg ziehen besonders die beiden Einrichtungen des AIP – das Sonnenobservatorium Einsteinurm und der historische Große Refraktor – auf Grund ihrer einmaligen historischen Tradition und Architektur die Öffentlichkeit an.

**Sonnenobservatorium Einsteinurm – Ein Labor für Spektralpolarimetrie**

Der Einsteinurm ist das erste bedeutende Bauwerk des bekannten Architekten Erich Mendelsohn. Er entstand in den Jahren 1919 bis 1924 in Zusammenarbeit mit dem Physiker Albert Einstein und dem Astronomen Erwin Finlay Freundlich. Der Einsteinurm ist ein Zweckbau, ein Sonnenobservatorium, das bis zum zweiten Weltkrieg das wissenschaftlich bedeutendste Sonnenteleskop in Europa war.

Ziel des Observatoriums war ursprünglich der Nachweis der durch Einsteins Relativitätstheorie vorhergesagten Rotverschiebung von Spektrallinien im Schwerefeld der Sonne. Dieses Vorhaben erwies sich allerdings später als undurchführbar.

Der Einsteinurm wurde 1999 mit Unterstützung der Wüstenrot Stiftung umfassend renoviert.

*and conducted research at the Telegrafenberg over the years. With the operation of the Einstein tower from 1924 onward, the era of modern solar research in Potsdam and Germany began. After more than 80 years in use, the Einstein tower remains the largest solar telescope in Germany and solar physics remains a research focus of the AIP.*

*The name Telegrafenberg originates from an optical telegraph station (a 6m high antenna) which was installed there in 1832 as ordered by Friedrich Wilhelm II and formed part of the “Preußische Staatstelegrammlinie” encompassing 62 stations in between Berlin and Koblenz. With the adoption of electrical telegraphy, the line was shut down in 1852. Today a signpost marks this line.*

*Among the 10 historical stations at the Telegrafenberg, in particular the buildings of the AIP, namely the solar observatory Einstein tower and the historic Great Refractor, attract the public due to their unique historical tradition and architecture.*

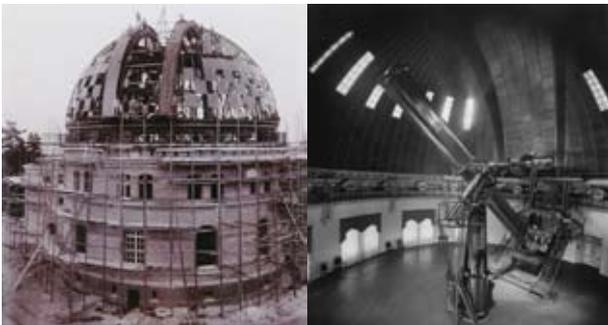
**Solar Observatory Einstein Tower – A laboratory for spectro-polarimetry**

*The Einstein Tower (“Einsteinurm”) was the first important work of the famous architect*

*Erich Mendelsohn. It was designed and built during the years 1919 to 1924 in collaboration with the physicist Albert Einstein and the astronomer E. Finlay-Freundlich. The Einstein Tower is a functional building, a solar observatory, which was Europe’s scientifically most important solar telescope until the Second World War. It was originally built in order to prove the redshift of solar spectral lines, as predicted by Einstein’s theory of relativity. This effort, however, turned out not to be feasible for technical reasons later on. The building underwent major renovation works during the years 1997 to 1999, which were in large part funded by the Wüstenrot foundation.*



Im Einsteinturm befindet sich auch heute noch eine leistungsfähige Sonnenforschungsanlage, bestehend aus dem Turmteleskop mit 63 cm Öffnung und einem langbrennweitigen Spektrografen. Die modernisierte optische und mechanische Ausrüstung erlaubt eine spektrale Auflösung von  $10^6$ . Bei guten Bedingungen kann eine Bildauflösung von  $1''$ - $2''$  erreicht werden. Schwerpunkt der Beobachtungen sind spektralpolarimetrische Messungen in Sonnenfleckengruppen. Die Polarisationsanalyse des Lichtes gestattet Rückschlüsse auf das Magnet- und Geschwindigkeitsfeld an der Oberfläche der Sonne. Die ständige Verfügbarkeit des Instruments mit seinem Labor spielt bei der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses sowie für die Entwicklung und Tests neuer spektralpolarimetrischer Fokalinstrumente für den Einsatz an Großteleskopen eine bedeutende Rolle. Der Einsteinturm ist daher eine wichtige Ergänzung zu den großen Sonnentelaskopen auf Teneriffa.



### Großer Refraktor

Der Potsdamer Große Refraktor ist ein Doppelfernrohr auf dem Gelände des ehemaligen Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam und wurde 1899 erstmals der Nutzung übergeben. Als viertgrößtes Linsenteleskop der Welt ist der Große Refraktor bedeutender Zeuge der feinmechanisch-optischen Fertigung der frühen astrophysikalischen Forschung an der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert.

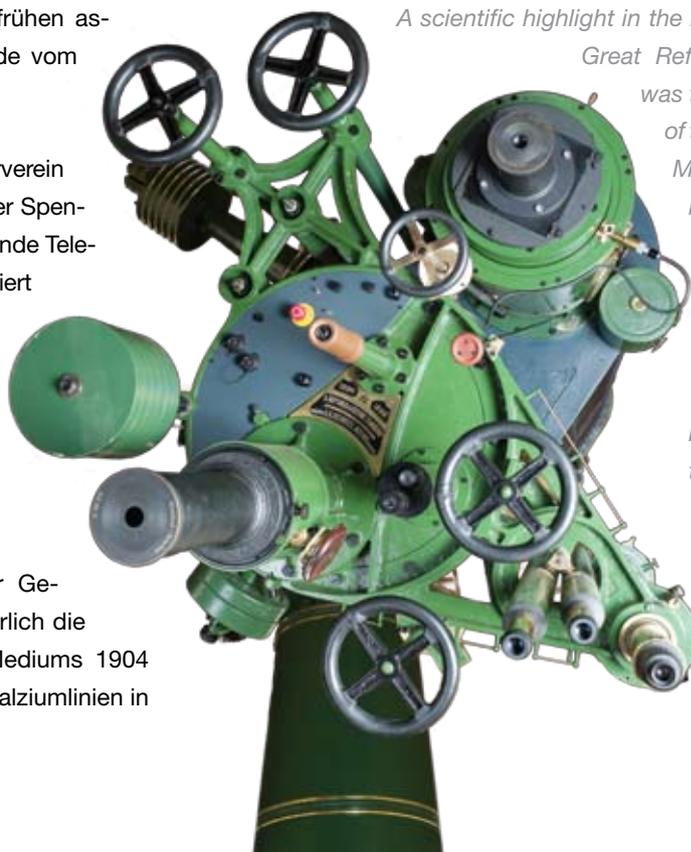
Mit Hilfe des eigens gegründeten „Förderverein Großer Refraktor e.V.“ und dank großzügiger Spenden konnte das unter Denkmalschutz stehende Teleskop in den letzten Jahren umfassend renoviert werden. Seit der feierlichen Wiedereinweihung 2006 ist der Große Refraktor regelmäßig Besuchern zugänglich, und soll so in seiner Funktionalität und Bedeutung für die Potsdamer Astrophysik einer breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht werden.

Ein wissenschaftlicher Höhepunkt in der Geschichte des Großen Refraktors war sicherlich die Entdeckung des diffusen Interstellaren Mediums 1904 durch Hartmann anhand von stationären Kalziumlinien in spektroskopischen Doppelsternen.

*The Einstein Tower houses to this day a very efficient 63cm telescope combined with a long-focus spectrograph. Under favorable conditions the instrument reaches a spatial resolution of  $1''$ - $2''$ . The modernized mechanical and optical equipment allows a spectral resolving power of  $10^6$ . Observations focus on spectropolarimetric measurements in solar active regions. The analysis of the polarization of the light permits the determination of the magnetic field and radial velocities on the surface of the Sun. The permanent availability of this large telescope, spectrograph and associated laboratory facilities is important for the education of young scientists as well as the development and testing of new spectro-polarimetric equipment for subsequent use at other large telescopes. In this sense, the Einstein Tower is an indispensable complement to the German solar telescopes at Tenerife.*

### Great Refractor

*The Potsdam Great Refractor is a double-refractor telescope of the former Astrophysical Observatory Potsdam. It was inaugurated and first used for observations in 1899. Being the world's fourth largest lens telescope, the Great Refractor is an important witness of the fine mechanical and optical manufacturing of the early astrophysical research at the turn of the 19<sup>th</sup> to the 20<sup>th</sup> century. Greatly aided by the specially founded association "Friends of the Great Refractor" and thanks to generous donations, the heritage-protected telescope was extensively renovated during the last years. Since its ceremonial re-inauguration in 2006, the Great Refractor is frequently opened to visitors, and thereby shall be advertised in its functionality and importance for astrophysics in Potsdam to a broad public.*



*A scientific highlight in the history of the Great Refractor surely was the discovery of the Interstellar Medium 1904 by Hartmann through observations of stationary calcium lines in spectroscopic binary stars.*

## Das AIP am Observatorio del Teide auf Teneriffa

### *AIP facilities at the Observatorio del Teide on Tenerife*

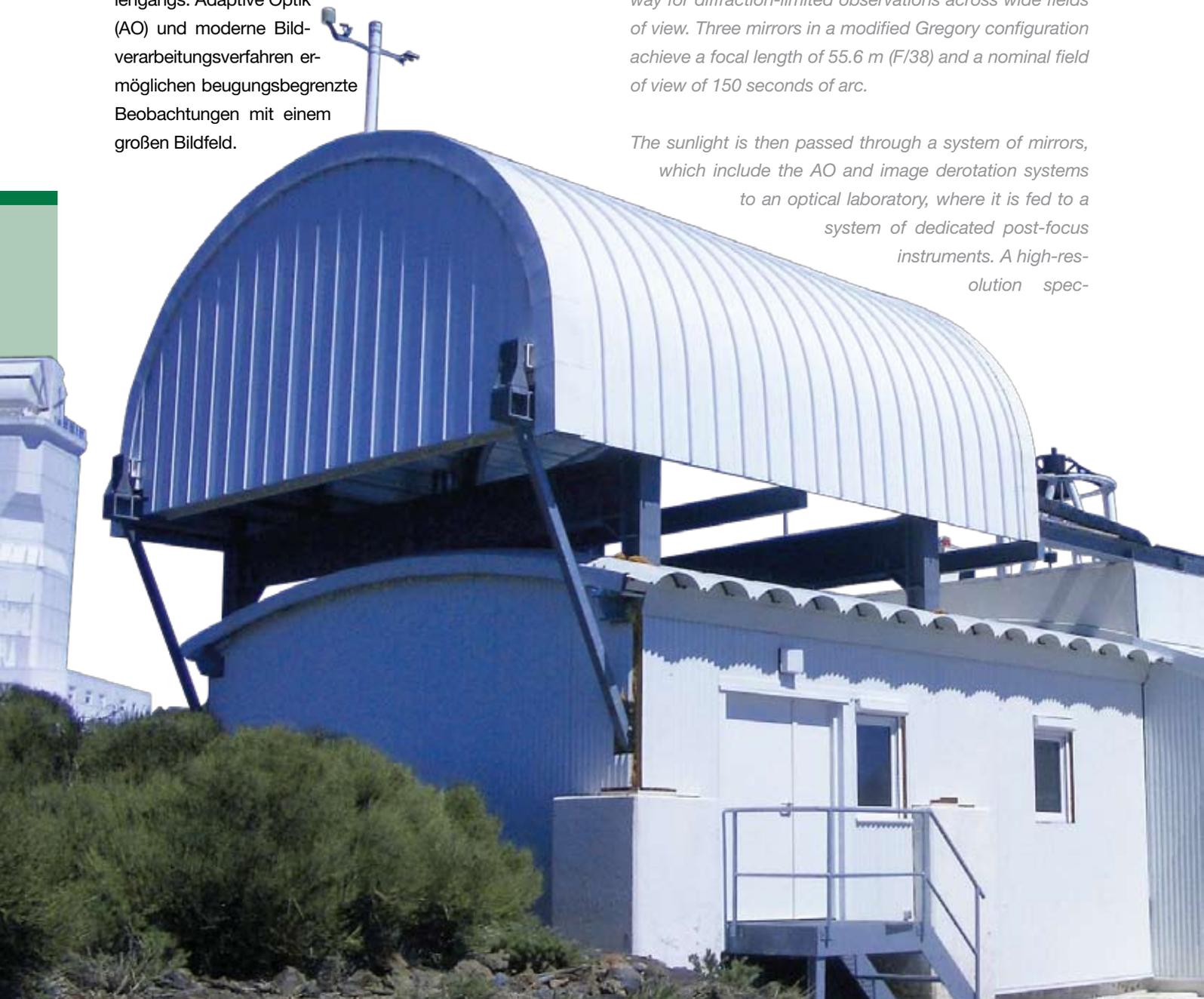
Die Europäische Nordsternwarte besteht aus dem Observatorio del Teide auf Teneriffa und dem Observatorio del Roque de los Muchachos auf La Palma. Beide gehören zu den internationalen Zentren für Sonnen- und Sternbeobachtungen. Hoch auf vulkanischen Bergen liegend und umgeben vom Atlantischen Ozean, bieten die Beobachtungsorte der Kanarischen Inseln Zugang zu einem klaren Himmel und ermöglichen Beobachtungen mit der höchsten Auflösung. Das AIP beteiligt sich am Observatorio del Teide zurzeit am Betrieb von drei Teleskopen: STELLA, das Vakuum Turm Teleskop (VTT) und GREGOR.

GREGOR ist ein Sonnenteleskop mit 1,5 Metern Öffnung. Seine offene Konstruktion und ein neuartiger Spiegelkörper aus Siliziumkarbid (Cesic) verhindern eine Aufheizung der Teleskopstruktur und vermindern somit störende Einflüsse turbulenter Luft entlang des Strahlengangs. Adaptive Optik (AO) und moderne Bildverarbeitungsverfahren ermöglichen beugungsbegrenzte Beobachtungen mit einem großen Bildfeld.

*The Observatorio del Teide (Tenerife) and the Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) both constitute the European Northern Observatory (ENO), which has become an international leader in solar and stellar astronomy. Located high atop volcanic mountains and surrounded by the Atlantic Ocean, the sites offer access to the clearest skies and observations with highest resolution. AIP is currently involved in the operation of three telescopes at Observatorio del Teide, i.e., STELLA, the Vacuum Tower Telescope (VTT) and GREGOR.*

*GREGOR is a solar telescope with an aperture of 1.5 meters. Its open structure and primary mirror based on advanced silicon-carbide materials (Cesic) prevent heating of the telescope structure and limit the detrimental influence of turbulent air along the optical path. Adaptive optics (AO) and modern image reconstruction techniques pave the way for diffraction-limited observations across wide fields of view. Three mirrors in a modified Gregory configuration achieve a focal length of 55.6 m (F/38) and a nominal field of view of 150 seconds of arc.*

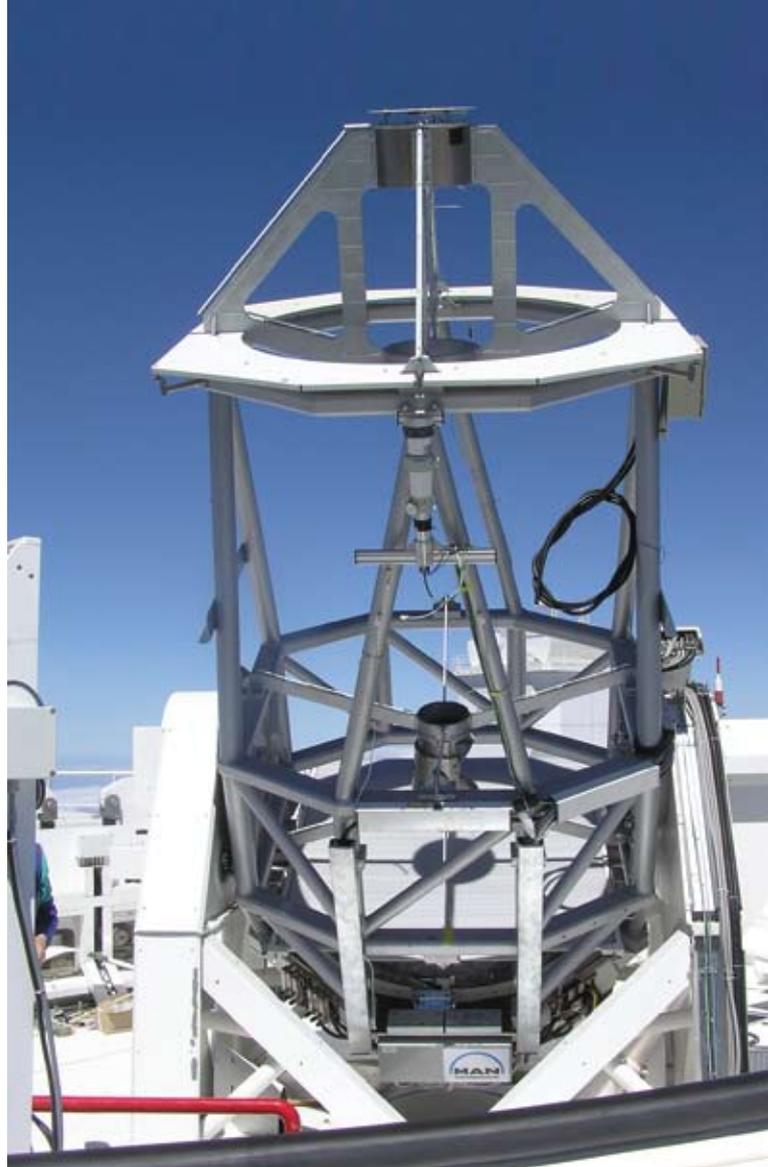
*The sunlight is then passed through a system of mirrors, which include the AO and image derotation systems to an optical laboratory, where it is fed to a system of dedicated post-focus instruments. A high-resolution spec-*



Die Gregory Konfiguration erreicht mit drei abbildenden Spiegeln eine effektive Fokallänge von 55,6 m (F/38) und ein nominelles Bildfeld von 150 Bogensekunden.

Weitere Spiegel für AO und Korrektur der Bildrotation leiten das Sonnenlicht in ein optisches Labor mit spezialisierten post-Fokus Instrumenten. Ein hochauflösender Spektrograph ist vorgesehen, um im nahen Infrarot Spektren des polarisierten Sonnenlichts aufzunehmen. Er wird ergänzt durch ein bildgebendes Spektropolarimeter zur Beobachtung der Sonnen im sichtbaren Wellenlängenbereich. Beim letztgenannten Instrument wird sich das AIP mit seiner Expertise im Bereich AO, Bildrekonstruktion und Spektralanalyse einbringen.

STELLA wiederum ist rein für den Nachtbetrieb konzipiert. Als robotisches Doppelteleskop benötigt es keinen Nacht Astronomen vor Ort, sämtliche Daten werden zur Analyse an das Institut transferiert. Beide Teleskope haben einen Durchmesser von 1,2 m, STELLA-I ist für Photometrie bzw. bildgebende Astronomie, STELLA-II für Spektroskopie optimiert.



Installation of the GREGOR telescope at Observatorio del Teide, Tenerife. All mechanical and control systems are fully operational and have been validated. After delivery of the primary mirror, the commissioning phase will begin integrating all mechanical, electronic and optical systems. With its dedicated post-focus instruments GREGOR will become the premier telescope for high resolution spectroscopy and polarimetry in the next decade.

*trograph will be used to analyze polarized light in the near infrared and an imaging spectro-polarimeter will be employed to obtain diffraction-limited observations at visible wavelength. AIP will take a lead in the integration of the imaging spectro-polarimeter combining expertise in AO, image restoration and spectral line analysis.*

*STELLA itself is a pure night-time installation. Its two telescopes are operated in fully robotic mode with no personnel needed to guard the operation. Data is transferred back to the home institute during day time. Both telescopes have a main mirror of 1.2 m. STELLA-I is optimized for photometry/imaging mode, while STELLA-II is optimized for spectroscopic research.*

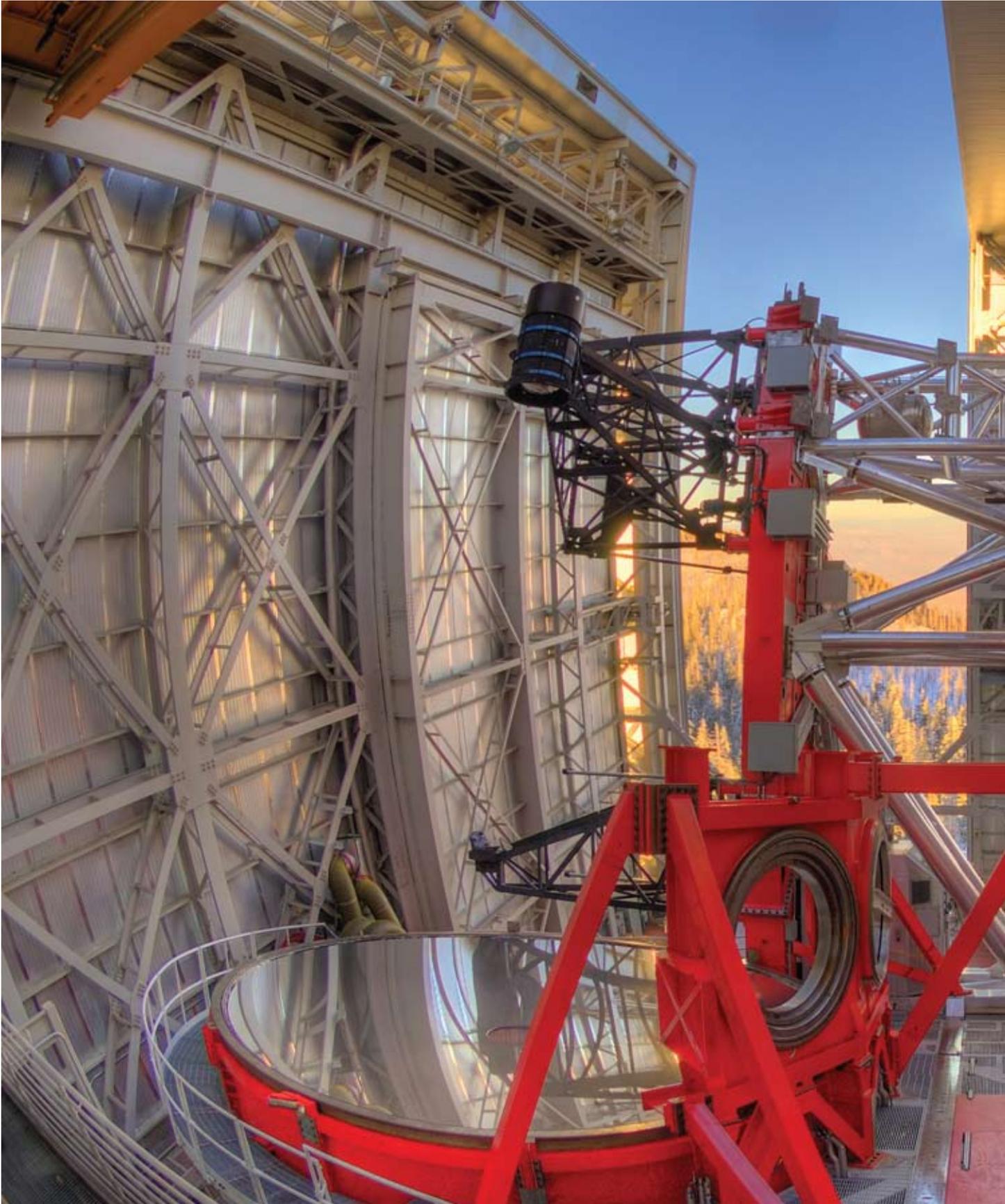


## Das AIP am Mt. Graham International Observatory in Arizona

### *AIP facilities at the Mt Graham International Observatory in Arizona*

Im Südosten Arizonas, auf dem 3.200 Meter hohen Mt. Graham wird zur Zeit das leistungsfähigste optische Teleskop der Welt in Betrieb genommen, das Large Binocular Telescope (LBT). Durch die Zusammenschaltung seiner beiden monolithischen Spiegel mit je 8,4 m Durchmesser, jeder einzelne bereits der weltweit größte Einzelspie-

*On Mt Graham (3,200 m altitude) in south-western Arizona, the currently most powerful optical telescope, the Large Binocular Telescope (LBT), is becoming operational. By combining the light from the two monolithic 8.4 m diameter main mirrors, each of which is the largest in the world, the telescope has a light gathering power*



gel, entsteht ein Teleskop mit der Lichtsammelkraft eines 11,8 m-Teleskops und der Auflösung eines klassischen Teleskops mit 22,8 m Durchmesser. Da das LBT über eine adaptive Optik verfügt, die atmosphärische Störungen weitgehend kompensieren kann, hat es so eine Auflösung, die zehnmal höher ist als die des Hubble-Weltraumteleskops.

*equivalent to a telescope with an 11.8 m diameter mirror. Furthermore using adaptive optics to compensate the atmospheric distortions and combining the light in a clever way (interferometrically), the resolving power of the telescope becomes equivalent to that of a telescope with a diameter of 22.8 m, or ten times higher than that of the Hubble Space Telescope.*





Das LBT wird gebaut und betrieben von der LBT Corporation, die zu je 25% von der University of Arizona, dem italienischen "Istituto Nazionale di Astrofisica" und der deutschen LBT Beteiligungsgesellschaft (LBTB) getragen wird sowie zu 12,5% von der Ohio State University und der in Tucson ansässigen Research Corporation. Mitglieder der LBTB sind die Max-Planck Institute für Astronomie, für extraterrestrische Physik und für Radioastronomie, die Universität Heidelberg sowie das AIP.

Das AIP beteiligt sich am LBT durch Entwicklung und Bau der sogenannten "Acquisition Guiding and Wavefront Sensing"-Einheiten. Diese Messeinheiten analysieren das in das Teleskop einfallende Licht und liefern dieses Signal zu Steuerung des Teleskops und zu Optimierung der Form des Hauptspiegels weiter. Bezüglich der Instrumentierung des LBT leitet das AIP die Entwicklung und den Bau des hochauflösenden Spektrografen und Polarimeters PEPSI.

Mit dem Bau des LBT wurde 1996 begonnen und es wurde am 15. Oktober 2004 feierlich eingeweiht. „Erstes Licht“ mit einem der beiden Hauptspiegel wurde am 12. Oktober 2005 erzielt. Für die beiden vergangenen Jahre stand so die Aufnahme eines ersten wissenschaftlichen Betriebs, die Installation und Inbetriebnahme des zweiten Hauptspiegels sowie die Vorbereitung der Gregory-Foci, die die spektroskopischen Instrumente des LBT aufnehmen werden, im Vordergrund. Im Januar 2008 erreichten diese Arbeiten einen wichtigen Meilenstein mit dem "ersten binokularen Licht".

Höhepunkt im vergangenen Jahr war die Aufnahme und Publikation erster wissenschaftlicher Ergebnisse mit dem LBT, z.B. die Vermessung der Hercules Zwerggalaxie und die Aufnahme von veränderlichen Sternen in unserer Nachbargalaxie M81.

Ebenfalls in Arizona, im Washington Camp, etwa 100 km südöstlich von Tucson betreibt das AIP in Zusammenarbeit mit der Universität Wien die beiden automatisierten photometrischen Teleskope Wolfgang und Amadeus.

*The LBT is being build and operated by the LBT Corporation which is sponsored by the University of Arizona (25%), the Italian "Istituto Nazionale di Astrofisica" (25%), and the German LBT Beteiligungsgesellschaft (LBTB) (25%), the Ohio State University (12.5%) and the Research Corporation (12.5%). The LBTB is constituted by the Max-Planck Institute for Astronomy, the Max-Planck Institute for Extraterrestrial Physics, the Max-Planck Institute for Radio Astronomy, the University of Heidelberg, and the AIP.*

*The AIP contributes to the LBT by developing and building the so called Acquisition, Guiding and Wavefront (AGW) sensing units. These devices analyze star light which passes through the telescope and provide the signals to control the precise movement of the telescope and to control the optimum shape of the main mirrors. Regarding the complement of scientific instrumentation for the LBT, the AIP is developing and building the high resolution spectrograph and polarimeter PEPSI.*

*The construction of the LBT was initiated in 1996 and on 15 October 2004 the telescope could be inaugurated. „First Light“ with one main mirror was achieved a year later on 12 October 2005. In the past two years the main achievements were the start of scientific observations as well as the installation of the second primary mirror and the preparation of the Gregorian focal stations which will host the spectroscopic instruments. These activities led to the completion of the milestone of „First binocular Light“ in January 2008.*

*A highlight from last year was the submission and publication of the first scientific publications based on observations with the LBT. A couple of examples is the study of the Hercules dwarf spheroidal galaxy and the measurements of variable stars in M81, one of our neighboring galaxies.*

*Also in Arizona, at Washington Camp, some 100 km south-east of Tucson the AIP operates the two automated photometric telescopes Wolfgang and Amadeus in a collaboration with the University of Vienna.*







# **Öffentlichkeitsarbeit und Ausbildung**

## *Public Outreach and Education*

## Ausbildung am AIP *Education*



In Zusammenarbeit mit Universitäten betreut das AIP Diplomanden und Doktoranden in ihrer wissenschaftlichen Laufbahn. Außerdem bietet das Institut verschiedene Ausbildungsplätze in den Werkstätten/Labors und in der Verwaltung an. In den Jahren 2006-2007 haben je 10 Diplomanden und 9 Doktoranden ihre Arbeiten am AIP fertiggestellt, und vier Azubis haben einen Teil ihrer Ausbildung am AIP absolviert. Die Doktorandenausbildung wird von Prof. Lutz Wisotzki geleitet.

*In collaboration with the universities, the AIP supervises diploma and doctoral students in the course of their careers in science. The institute also offers opportunities for apprenticeships in the laboratories and in the administration. During the years 2006-2007, 10 diploma students and 9 doctoral students have completed their projects at the AIP; four apprentices absolved part of their formation. The doctoral education programme is headed by Prof. Lutz Wisotzki.*

Das AIP bietet auch Schülerinnen und Schülern, die im Rahmen ihrer Schulausbildung ein mehrwöchiges Betriebspraktikum absolvieren möchten, ein breites Spektrum an Praktikumsplätzen an. Ca. 15 Praktikanten jährlich sammeln erste Eindrücke und Erfahrungen in der astrophysikalischen Forschung und Forschungstechnik.



*A broad spectrum of internship placements is offered to students who apply for an internship of several weeks at AIP as part of their school education. About 15 student interns per year experience for the first time work in astrophysical research and research technology. During the time covered by this report, Dr. Volker*

Müller übernahm die Koordination der Schülerpraktika. Zusätzlich zu diesem Praktikumsangebot für Schüler, halten Wissenschaftler des AIP regelmäßig Vorträge an regionalen Schulen; es werden Besuche für Schülergruppen aus ganz Deutschland organisiert und als besonderes Angebot für Mädchen wird jährlich der „Girls' Day“ ausgerichtet.

*Müller coordinated the school internship programme. In addition to this programme, scientists from AIP frequently visit regional schools and give school lectures. Visits for groups of students from all over Germany are organized, and once every year the institute participates in the national "Girls' Day" activities as a special offer for girls to visit technical workplaces.*

### **Auszubildende 2006/2007**

#### ***Apprentices 2006/2007***

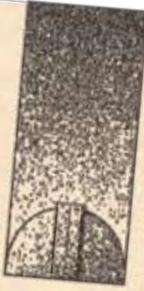
Johannes Kuhle – Feinwerkmechaniker

Julian Roy – Feinwerkmechaniker

Jennifer Reichert – Bürokauffrau

Michael Grützmann – IT-System-Elektroniker





AIP

FERTIGGESTELLTE DIPLOMARBEITEN  
COMPLETED DIPLOMA PROJECTS  
2006/2007

2006:

**HUSEMANN, BERND:**  
Integral field spectroscopy of low-redshift quasars –  
*Wisotzki*

2007:

**ARNOLD, BASTIAN:**  
The dynamics of satellite sub-structures in cosmological dark matter simulations – *Kneib*

**KAPPEL, MARCEL:**  
Host Galaxies of Type II Quasar Candidates – *Wisotzki*

**KÄHLITZ, PHILIPP:**  
Beobachtungsmethoden für Quintessence-Modelle –  
*Müller*

**KLAR, JOCHEN:**  
Rückwirkung des Gaskollapses auf die Dark-Matter-Verteilung – *Minkiel*

**MATERNE, RONALD:**  
Entwicklung einer digitalen Temperaturregelung für einen Spektrographen zum Einsatz in der Astronomie – *Zoghbi, Andersen*

**PARTL, ADRIAN:**  
Modellierung des kosmologischen Strahlungstransportes – *Müller*

**RITTER, ANDREAS:**  
Die automatische Datenreduktionspipeline für STELLA/SES – *Strassmeier*

**RUPPERT, JAN:**  
Are "starless" giant molecular clouds in the LMC/SMC really starless? – *Zinnecker*

**SCHULZE, ANDREAS:**  
Luminosity Function of low redshift quasars – *Wisotzki*

FERTIGGESTELLTE DOKTORARBEITEN  
COMPLETED DISSERTATIONS  
2006/2007

2006:

**DOMINIS, DIJANA:**  
The role of binary stars in searches for extrasolar planets by microlensing and astrometry – *Zinnecker*

**JAPPSSEN, ANNE-KATHARINA:**  
Present and early star formation: a study on rotational and thermal properties – *Klessen*

**SCHMEJA, STEFAN:**  
Properties of turbulent star-forming clusters: models vs. observations – *Klessen*

2007:

**GIESECKE, ANDRÉ:**  
Box-Simulationen von rotierender Magnetokonvektion im flüssigen Erdkern – *Rüdiger*

**KHALATYAN, ARMAN:**  
The Influence of Nuclear Activity onto the Morphology of Galaxies – *Gottlöber*

**MAULBETSCH, CHRISTIAN:**  
Modelling Galaxy Formation in Different Environments – *Müller*

**MITEVA, ROSITSA:**  
Electron acceleration at localized wave structures in the solar corona – *Mann*

**SULE, ANIKET:**  
Formation and Stability of the Solar Tachocline in MHD Simulations – *Rüdiger*

**SZKLARSKI, JACEK:**  
Helical magnetorotational instability in MHD Taylor-Couette flow – *Rüdiger*

Schülerpraktikanten 2006/2007 Student interns 2006/2007

Vincent Bremer (Berlin), Jan Lukas Dallmann (Nauen), Sebastian Kieper (Potsdam), Marcel Kneppel (Nauen), Christian Langheinrich (Potsdam), Daniel Nebrat (Potsdam), Justus Pfannschmidt (Potsdam), Paula Rössler (Freiburg), Johannes Reger (Potsdam), Felix Rohde (Nauen), Isabell Schelske (Werder), Torben Schröder (Potsdam), Laurent Sévery (Berlin), Daniel Simanowitsch (Potsdam), Johannes Stark (Potsdam), Florian Teubert (Potsdam), Sabine Thater (Hanmünden), Christopher Tiburski (Brandenburg), Änne Elisabeth Verworner (Potsdam), Wladimir Verozub (Potsdam)

## Presse- und Öffentlichkeitsarbeit *Public Outreach*



Die Astronomie und Astrophysik übt von jeher eine besondere Faszination auf die Menschen aus: auf den Wissenschaftler der die Rätsel des Kosmos zu entschlüsseln sucht, auf den Philosophen, der unser Weltbild dazu hinterfragt, aber auch auf jeden, der nachts einfach einmal innehält und seinen Blick hinauf zum Sternenhimmel richtet.

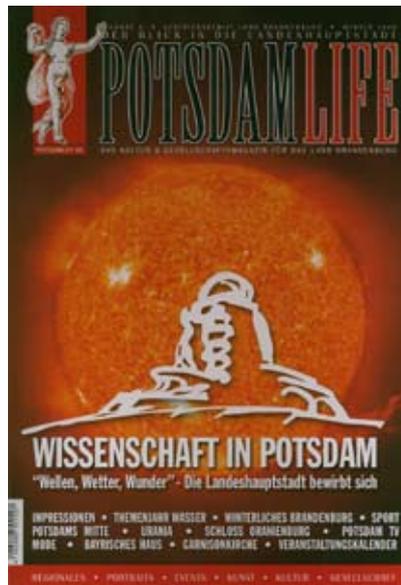
Öffentlichkeit und Medien einen Einblick in die Astrophysik im Allgemeinen und die astrophysikalische Forschungsarbeit am AIP im Besonderen zu ermöglichen ist Ziel der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit des AIP. Dazu gehören die klassische Informationsverbreitung in Print, Hörfunk und Online, die Koordination von regelmäßigen öffentlichen Veranstaltungen und besonderen Events, die Beantwortung von Anfragen vom Journalisten bis zum Bürger, das Besucherwesen, die Vermittlung von Fachreferenten für öffentliche Vorträge, die medienwirksame Begleitung auch interner wissenschaftlicher Fachmeetings, die Betreuung des AIP Webauftritts und der Aufbau eines umfassenden Bildarchivs sowie der Ausbau und die Pflege von Kontakten zu umliegenden Forschungsinstitutionen, von Schulkontakten und die Nachwuchswerbung.

In 38 Pressemitteilungen und 55 Pressenotizen wurde 2006-07 die wissenschaftliche Forschungsarbeit des AIP an die Medien verbreitet. Auch überregionale Medien wie die „Frankfurter Allgemeine“, „Spiegel Online“, „DIE ZEIT“, „Sterne und Weltraum“, „GEO“ und die Bildzei-

*Astronomy and Astrophysics has always been exceptionally fascinating for people: for a scientist seeking to unravel the mysteries of the universe, for a philosopher questioning our view of the world, but also for everyone pausing to look up to the stars in the night-sky for a moment.*

*To offer the public and the media insight into astrophysics in general and the astrophysical research at AIP in particular, is the aim of the public outreach and press activities at AIP. These imply the classical tools of the spread of information in print, radio, TV and online, the coordination of public regular and special events, answering questions from journalists and neighbors alike, the visitor programme, mediation of scientists for public talks, the media effective support of (internal) science meetings, the maintenance of AIP's webpages, building up an extensive image archive, the improvement and fostering of contacts to nearby research institutes, schools and the promotion of new talents.*

*Scientific research at the AIP was spread in 38 press releases and 55 press notes to the media and public. National journals like the „Frankfurter Allgemeine“, „Spiegel Online“, „die ZEIT“, „Sterne und Weltraum“, „GEO“ or „Bildzeitung“ reported on the AIP. For Radio and TV features (NANO, OZON, News & Stories and Löwenzahn), the public relations team at AIP attended to the shooting and established contact to interview partners. Good contacts were achieved in particular to the editorials of popular science journals like „Sterne und Weltraum“ and „Astronomie heute“.*



*The AIP opened its doors for a large variety of events. There's the monthly possibility during so-called public „Thursday Star Nights“ to attend popular science talks, where a scientist from AIP gives an introduction to his research area. Afterwards a guided tour through the Babelsberg observatory is offered, and – provided for good*

*weather – a glance through a telescope at the sky can be taken. A special programme was arranged for visitors during extraordinary astronomical events like the solar eclipse on March 29 2006. New ground was entered on some external events like the „Parliamentarian Evening“ of the Leibniz Society, where an interactive information desk of the AIP inspired the politicians.*

tung berichteten über das AIP. Für Radio und TV (NANO, OZON, News&Stories, Löwenzahn) vermittelte die PR Interviewpartner und betreute die Dreharbeiten. Gute Kontakte konnten zu den Redaktionen astronomischer populärwissenschaftlicher Journals wie „Sterne und Weltraum“ und „Astronomie Heute“ geknüpft werden, in denen die Potsdamer Forschungsergebnisse mehrfach gefeatured wurden.

Das AIP öffnet seine Türen für eine Vielzahl von Veranstaltungen. Monatlich werden bei „Sternennächten am Donnerstag“ populärwissenschaftliche Vorträge angeboten, in denen ein Wissenschaftler des AIP interessierten Besuchern einen Einblick in sein Forschungsgebiet vermittelt. Anschließend gibt es eine Führung durch das AIP und bei geeignetem Wetter eine Himmelsbeobachtung. Ein spezielles Programm bot man den Besuchern auch 2006 und 2007 wieder zu astronomischen Ereignissen wie der Sonnenfinsternis am 29. März 2006. Bei externen Veranstaltungen betrat das AIP oft neuen Boden, so konnte das Institut beispielsweise im Rahmen des Parlamentarischen Abends der Leibniz-Gemeinschaft mit einem interaktiven Informationsstand die Politik begeistern.

Um wissenschaftlichen Nachwuchs für die astrophysikalische Forschungsarbeit zu gewinnen, pflegt das AIP gute regionale Schulkontakte. Highlight v.a. für die Schülerinnen ist die jährliche Möglichkeit zur Teilnahme am Girls' Day/Zukunftstag, bei dem im Laufe eines abwechslungsreichen Vormittagsprogramms auch ganz verschiedene Wege in die Astrophysik aufgezeigt werden. Das ganze Jahr über können Schülerinnen und Schüler mit ihrem Physikkurs sowie Studentengruppen der Universitäten das AIP im Rahmen unseres Vortrags- und Besuchsprogramms besuchen. Umgekehrt beteiligen sich Wissenschaftler des AIP an Wissenschaftstagen, die von und an regionalen Schulen veranstaltet werden.

Seit der Wiedereröffnung des Großen Refraktors auf dem Telegrafenberg am 31. Mai 2006 steht der Öffentlichkeitsarbeit des AIP ein Instrument zur Verfügung, das in der Öffentlichkeit auf ungebrochene Beliebtheit trifft und rege Besuche und Anfragen anregt. In den Wintermonaten finden hier regelmäßige „Sternennächte im Großen Refraktor“ statt, mit der Möglichkeit bei klarem Wetter einen Blick durch das riesige Fernrohr werfen zu können. Winters wie Sommers lädt das AIP 3-4 mal monatlich zu Führungen „Astrophysik auf dem Telegrafenberg“ inklusive einer Besichtigung des Großen Refraktors ein. Die große Besucherresonanz seit der Wiedereröffnung des Großen Refraktors stärkte so auch die Präsenz des AIP als Nachfolgeinstitut des AOP, des ersten astrophysikalischen Instituts weltweit und der ersten Forschungsein-



*To spark the interest of new talents for astrophysical scientific research, the AIP maintains good contacts with regional schools. As a highlight especially for girls, AIP participates in the yearly Girls Day („Zukunftstag“), where – in the course of a diverse half-day programme – miscellaneous ways into astrophysics are shown. Throughout the whole year, student groups from high-school and university can visit the institute in the scope of our visitor programme and choice of talks. On the other hand, AIP scientists also participate directly with lectures during “Science Days” at regional schools.*

*Since the re-inauguration of the Great Refractor at the Telegrafenberg on 31 May 2006, an instrument is available for the public outreach activities at AIP, which is of unbroken popularity among the public and which triggers many visitors and requests. During the winter months “Star Nights at the Great Refractor” take place on a regular basis, with the possibility to take a glance through the gigantic telescope provided the weather is good enough. Both in winter and summer, AIP invites 3 to 4 times a month to guided tours “Astrophysics at the Telegrafenberg” including a visit of the Great Refractor. The high number of visitors since the re-inauguration of the Great Refractor also strengthens the presence of AIP as the successor of the AOP, the first astrophysical institute of the world, and the first research institute at the Telegrafenberg Campus. Today, also special events of scientific interest and ceremonial acts take place in front of the historic scenery of the Great Refractor. During the yearly “Long Night of Science”, the Einstein Tower and the Great Refractor are among the most often visited sites.*

*Several „VIPs“ visited AIP in 2006 and 2007: the South African Minister for Science, the German “Bundespräsident” Dr. Horst Köhler, Brandenburg’s Minister for Science Research and Culture, Dr. Johanna Wanka, and Germany’s Minister for Education and Research, Dr. Annette Schavan visited the Telegrafenberg. AIP is also a frequently visited site for representatives of scientific institutions from all over Germany.*



richtung auf dem Telegrafenberg. Mittlerweile werden auch besondere Veranstaltungen wissenschaftlichen Interesses und Festakte vor der historischen Kulisse des Großen Refraktors abgehalten. Bei der jährlichen Langen Nacht der Wissenschaften gehörten der Einsteinturm und der Große Refraktor zu den meistbesuchten Einrichtungen.

Auch 2006 und 2007 hatte das AIP wieder einige „hohe Besuche“ zu verzeichnen. So waren der neuseeländische und der südafrikanische Wissenschaftsminister, der Bundespräsident, Dr. Horst Köhler, sowie Brandenburgs Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur, Dr. Johanna Wanka, und die Bundesministerin für Bildung und Forschung, Dr. Annette Schavan, zu Besuch auf dem Telegrafenberg. Auch für Vertreter wissenschaftlicher Institutionen aus ganz Deutschland ist das AIP ein gern besuchtes Exkursionsziel.

Beim „Internationalen Heliophysikalischen Jahr 2007“ war die Sonnenphysik des AIP mitverantwortlich für die Koordination des Projektjahrs, und schickte am AIP konzipierte Poster auf Wanderausstellung durch Deutschland. Seit November 2007 engagiert sich das AIP im nationalen Komitee für Aktivitäten Deutschlands im Rahmen des (von den Vereinten Nationen proklamierten) „Internationalen Astronomiejahr 2009“. Es fungiert als regionaler Ansprechpartner für die Region Berlin-Brandenburg, und hosted die nationalen Webseiten [www.astronomie2009.de](http://www.astronomie2009.de).

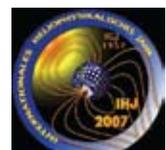
*During the „International Heliophysical Year 2007“, the Solar Physics Group at AIP was partly responsible for the coordination of the year, and sent posters “made in Potsdam” on a touring exhibition through Germany. Since November 2007, the AIP is part of the national committee for activities in Germany in the scope of the “International Year of Astronomy 2009” (proclaimed by the United Nations). It acts as regional contact point for Berlin and Brandenburg and hosts the national websites [www.astronomie2009.de](http://www.astronomie2009.de).*

**The PR Team 06/07 (alphabetically):**

*Rainer Art (Webmaster and photographer), Shehan Bonatz (press contact and visitors), Regina von Berlepsch (head of public outreach until July 2007, head of the library), Gabriele Schönherr (head of public outreach since August 2007)*

**Press releases / Archive**

<http://www.aip.de/pr/presse.html>



# 2006

## MÄRZ



Sonnenfinsternis



Bundestagsabgeordnete Andrea Wicklein am AIP.

## APRIL



Girls' Day am AIP

## MAI



Lange Nacht der Wissenschaften

## JUNI



Lange Nacht der Wissenschaften



STELLA Einweihung auf Teneriffa



Wiedereinweihung Großer Refraktor mit Ministerin Prof. Johanna Wanka



Helmholtz Summer School

## SEPTEMBER



Verleihung des Johann-Wempe-Preises an Prof. Eva Grebel



Lange Nacht der Sterne



IV. Potsdam Thinkshop



XMM Newton SSC meeting

2007

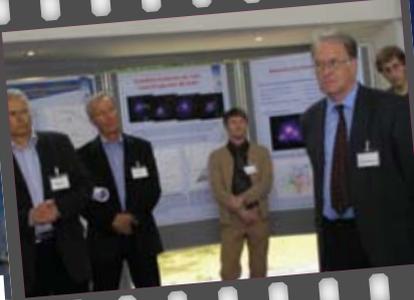
MAI

APRIL



Girls' Day  
Mädchen-Zukunftstag

Girls' Day am AIP



Evaluierung des Instituts



Lange Nacht der Wissenschaften



V. Potsdam Thinkshop:

JUNI

JULI



Besuch des Südafrikanischen Forschungsministers im Einsteinturm



Bundespräsident Köhler im Großen Refraktor



OpTecBB-innoFSPEC Fokussseminar

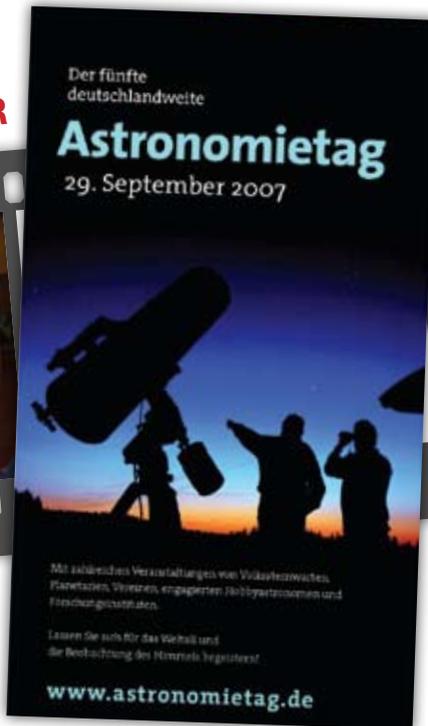


2nd ARENA conference

SEPTEMBER



Lange Nacht der Sterne



Besuch der Bundesforschungsministerin im Rahmen des PIK Nobelpreisträger Symposiums im Großen Refraktor



Verleihung des Johann-Wempe-Preises an Dr. Ignasi Ribas

# AIP im Überblick

*AIP at a glance*

# Das Astrophysikalische Institut Potsdam (AIP) im Überblick

## *The AIP at a glance*

Das Astrophysikalische Institut Potsdam ist errichtet als Stiftung privaten Rechts des Landes Brandenburg und Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft. Das AIP wird vom Land Brandenburg, der Ländergemeinschaft und vom Bund institutionell gefördert.

### **Vorstand**

Der Stiftungsvorstand führt die Geschäfte der Stiftung. Er bereitet die Sitzungen des Kuratoriums vor und führt dessen Beschlüsse aus. Der Stiftungsvorstand erledigt alle Angelegenheiten, die in der Stiftungssatzung nicht ausdrücklich anderen Organen übertragen sind.

### **Kuratorium**

Das Kuratorium entscheidet über die allgemeinen Forschungsziele und die wichtigen forschungspolitischen und finanziellen Angelegenheiten der Stiftung. Es überwacht die Rechtmäßigkeit, Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit der Geschäftsführung des Stiftungsvorstandes.

### **Wissenschaftlicher Beirat (WB)**

Der aus externen Mitgliedern bestehende Wissenschaftliche Beirat berät das Kuratorium und den Vorstand in allen wissenschaftlich-technischen Fragen von Gewicht. Der WB erarbeitet Vorschläge und Empfehlungen zu den vom Institut zu bearbeitenden Forschungsfeldern und zu dessen Arbeitsplanung. Er bewertet periodisch Forschungsleistungen und Arbeitspläne.

### **Johann-Wempe-Stiftung**

Zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung auf dem Gebiet der Astrophysik sowie damit im Zusammenhang stehender Aufgaben, insbesondere solche der Aus-, Fort- und Weiterbildung und Zugänglichmachung der Ergebnisse der durchgeführten Forschungsarbeiten für die Allgemeinheit, insbesondere zur Finanzierung des Johann-Wempe-Preises ist die Johann-Wempe-Stiftung eingerichtet worden.

### **Preise**

Dr. Lise Bech Christensen (ESO Chile) erhielt auf der Jahrestagung am 22.11.2007 den Nachwuchspreis der Leibniz-Gemeinschaft für ihre Doktorarbeit, die sie in den Jahren 2002-2005 am AIP verfasste und 2005 an der Universität Potsdam mit „summa cum laude“ verteidigte.

*The AIP is a foundation according to civil law of the state Brandenburg and is a member of the Leibniz Association. The AIP is funded institutionally by the state Brandenburg, the other states and by the federal German government.*

### **Managing Board**

*The Managing Board executes all business of the foundation. It prepares sessions of the Board of Trustees and administrates its decisions. The Managing Board accomplishes all tasks which are not explicitly assigned to different supervisory bodies.*

### **Board of Trustees**

*The Board of Trustees decides on overall research objectives and on important political and financial issues of the foundation. It supervises the legitimacy, purposefulness and economic efficiency of the business management of the Managing Board.*

### **Scientific Advisory Board (SAC)**

*The Scientific Advisory Board, whose members are external scientists, gives advice to the Board of Trustees and to the Managing Board in all major scientific and technical issues. The SAC compiles proposals and recommendations concerning the areas of research of the institute and the related work scheduling. It periodically evaluates research accomplishments and work schedules.*

### **The Johann-Wempe Foundation**

*The foundation in honour of Johann-Wempe was constituted for the promotion of scientific research in astrophysics and related aspects, mainly related to education and access of scientific results to the public, and in particular to finance the Johann-Wempe Award.*

### **Awards**

*Dr. Lise Bech Christensen (ESO Chile) was presented the junior scientist's award of the Leibniz Association on 11 November 2007 at the annual conference of the Leibniz Association. The award was granted for her dissertation, which she worked on during the years 2002-2005 at AIP, and defended in 2005 with "summa cum laude" at Potsdam University.*

Personal und Finanzierung (Stichtag: 31.12.2007) *Personnel and Finances (Record date: 31 December 2007)*

Grundfinanzierung <i>Basic funding</i>	50 % Land Brandenburg, 50 % Bund 7,5 Mio Eur
Drittmittel <i>Grant support</i>	3,0 Mio Eur
Mitarbeiter Grundfinanzierung <i>Employees by basic funding</i>	87
Mitarbeiter Drittmittel <i>Employees by grant support</i>	58
Gesamt <i>Total</i>	145

## Kuratorium

### *Board of Trustees*

MinR Brigitte Klotz (Vorsitzende / *Chair*)  
Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des  
Landes Brandenburg

MinR Dr. Rainer Koepke  
(Stellvertretender Vorsitzender / *Vice-chair*)  
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Prof. Dr. Frieder Scheller (in Vertretung der Präsidentin  
der Universität Potsdam / *Representative of the presi-  
dent of the Potsdam University*)

Prof. Dr. Günther Hasinger (Vorsitzender des wiss. Bei-  
rats / *Chair of the Scientific Advisory Board*)  
Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik

## Wissenschaftlicher Beirat (WB)

### *Scientific Advisory Board (SAC)*

Prof. Dr. Günther Hasinger (Vorsitzender / *Chair*)  
Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik

Prof. Dr. Dieter Reimers  
(Stellv. Vorsitzender / *Vice-Chair*)  
Hamburger Sternwarte

Prof. Dr. Andrea Dupree  
Center for Astrophysics, Harvard University, USA

Prof. Dr. Oskar von der Lühe  
Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik

Prof. Dr. Hans-Walter Rix  
Max-Planck-Institut für Astronomie Heidelberg

Prof. Dr. Robert Rosner  
University of Chicago

Prof. Dr. Robert C. Kennicutt  
Institute of Astronomy, Cambridge University, USA

## Betriebsrat

### *Works Council*

Dr. Jan Peter Mückel (Vorsitzender / *Chair*)  
Katrín Götz (Stellvertr. Vorsitzende / *Vice-chair*)  
Regina v. Berlepsch  
Wilbert Bittner  
Dr. Karl-Heinz Böning  
Dr. Detlef Elstner  
Dennis Nagel

## Gleichstellungsbeauftragte

### *Equal Opportunity Commissioner*

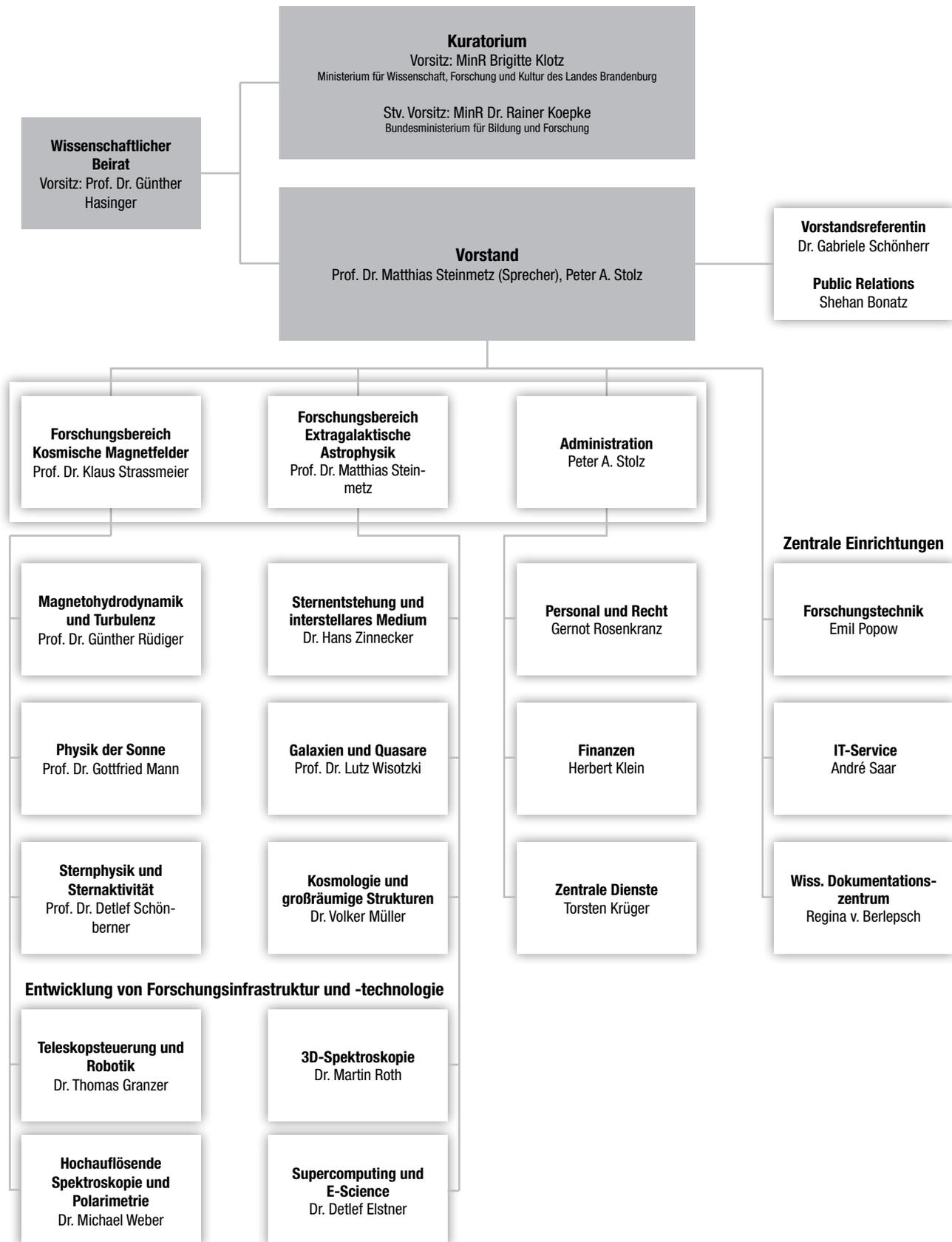
Christiane Rein  
Petra Böhm (Stellvertreterin / *Alternate*)

## Johann-Wempe-Stiftung

### *The Johann-Wempe Foundation*

Preisträger 2006 / *Laureate 2006*:  
Prof. Dr. Eva Grebel (Basel)  
Preisträger 2007 / *Laureate 2007*:  
Dr. Ignasi Ribas (Barcelona)

Stand: September 2007



## Geschichtstafel *History*

1700	Einführung des sog. „Verbesserten Kalenders“ in den protestantischen Staaten Deutschlands	<i>Introduction of the so-called “Improved Calendar” in the Protestant states of Germany</i>
1700-05-10	Erlass des Kalenderpatents für die zu gründende Berliner Sternwarte	<i>Enactment of the calendar patent for the Berlin Observatory</i>
1700-05-18	Berufung Gottfried Kirchs zum Direktor der Sternwarte	<i>Appointment of G. Kirch as director of the observatory</i>
1700-07-11	Gründung der Brandenburgischen Societät	<i>Foundation of the Brandenburg Society</i>
1711	Erstes Sternwartengebäude in Berlin	<i>First observatory in Berlin</i>
1832/35	Neue Berliner Sternwarte, Architekt Karl Friedrich Schinkel	<i>New observatory, architect K.F. Schinkel</i>
1846	Entdeckung des Planeten Neptun durch Johann Gottfried Galle	<i>Discovery of the planet Neptune by J.G. Galle</i>
1874	Gründung des Astronomischen Rechen-Instituts	<i>Foundation of the “Astronomisches Rechen-Institut“</i>
1874	Gründung des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam (AOP)	<i>Foundation of the Astrophysical Observatory Potsdam (AOP)</i>
1881	Erster Michelson-Versuch in Potsdam	<i>First Michelson experiment in Potsdam</i>
1886	Entdeckung der Kanalstrahlen durch Eugen Goldstein	<i>Discovery of canal rays by E. Goldstein</i>
1888	Nachweis der Polhöenschwankung durch Karl Friedrich Küstner	<i>Discovery of the variation of the Earth’s pole altitude by K.F. Küstner</i>
1888	Erste fotografische Radialgeschwindigkeitsmessung durch Heinrich Carl Vogel	<i>First photographic determination of a radial velocity by H.C. Vogel</i>
1896	Versuche zum Nachweis der Radiostrahlung der Sonne durch Johannes Wilsing und Julius Scheiner am AOP	<i>Experiments to find radio emission from the Sun by J. Wilsing and J. Scheiner</i>
1899	Fertigstellung des Potsdamer Großen Refraktors	<i>Completion of the Large Refractor at Potsdam</i>
1904	Entdeckung der interstellaren Materie durch J. Hartmann	<i>Discovery of the interstellar matter by J. Hartmann</i>
1909	Berufung von Karl Schwarzschild zum Direktor des AOP	<i>Appointment of K. Schwarzschild as director of the AOP</i>
1911/13	Bau der Sternwarte in Babelsberg	<i>Building of the observatory in Babelsberg</i>
1913	Einführung der lichtelektrischen Photometrie durch Paul Guthnick in Babelsberg	<i>First use of photoelectric photometry by P. Guthnick in Babelsberg</i>
1915	Fertigstellung des Babelsberger Großen Refraktors	<i>Completion of the Large Refractor in Babelsberg</i>
1921/24	Bau des Einstein-Turmes auf dem Telegrafenberg	<i>Construction of the Einstein Tower on the Telegrafenberg</i>
1924	Fertigstellung des 120cm-Spiegels in Babelsberg	<i>Completion of the 120cm telescope in Babelsberg</i>
1931	Angliederung der Sonneberger Sternwarte an die Sternwarte Babelsberg	<i>Affiliation of the Sonneberg Observatory to the Babelsberg Observatory</i>
1947-01-01	Übernahme von AOP und Sternwarte Babelsberg durch die Deutsche Akademie der Wissenschaften	<i>Takeover of AOP and Babelsberg Observatory by the German Academy of Sciences</i>
1954	Beginn der Radiobeobachtungen in Tretsdorf	<i>Starting of radio observations in Tretsdorf</i>
1960	Fertigstellung des 2m-Spiegels in Tautenburg	<i>Completion of the 2m telescope in Tautenburg</i>
1969	Gründung des Zentralinstituts für Astrophysik	<i>Foundation of the Central Institute of Astrophysics</i>
1992-01-01	Beginn der Tätigkeit des Astrophysikalischen Instituts Potsdam (AIP)	<i>Beginning of the work of the Astrophysical Institute Potsdam (AIP)</i>
2002	Beginn der Arbeit des Potsdamer Multiapertur-Spektrophotometers	<i>First light for the Potsdam Multi-Aperture Spectrophotometer</i>
2005	„First Light“ des LBT	<i>LBT „First Light“</i>
2006	Wiedereröffnung des Großen Refraktors Einweihung von STELLA auf Teneriffa	<i>Re-inauguration of the Great Refractor Inauguration of STELLA on Tenerife</i>

## Anreise *How to get to AIP*

### **Forschungscampus und Sternwarte**

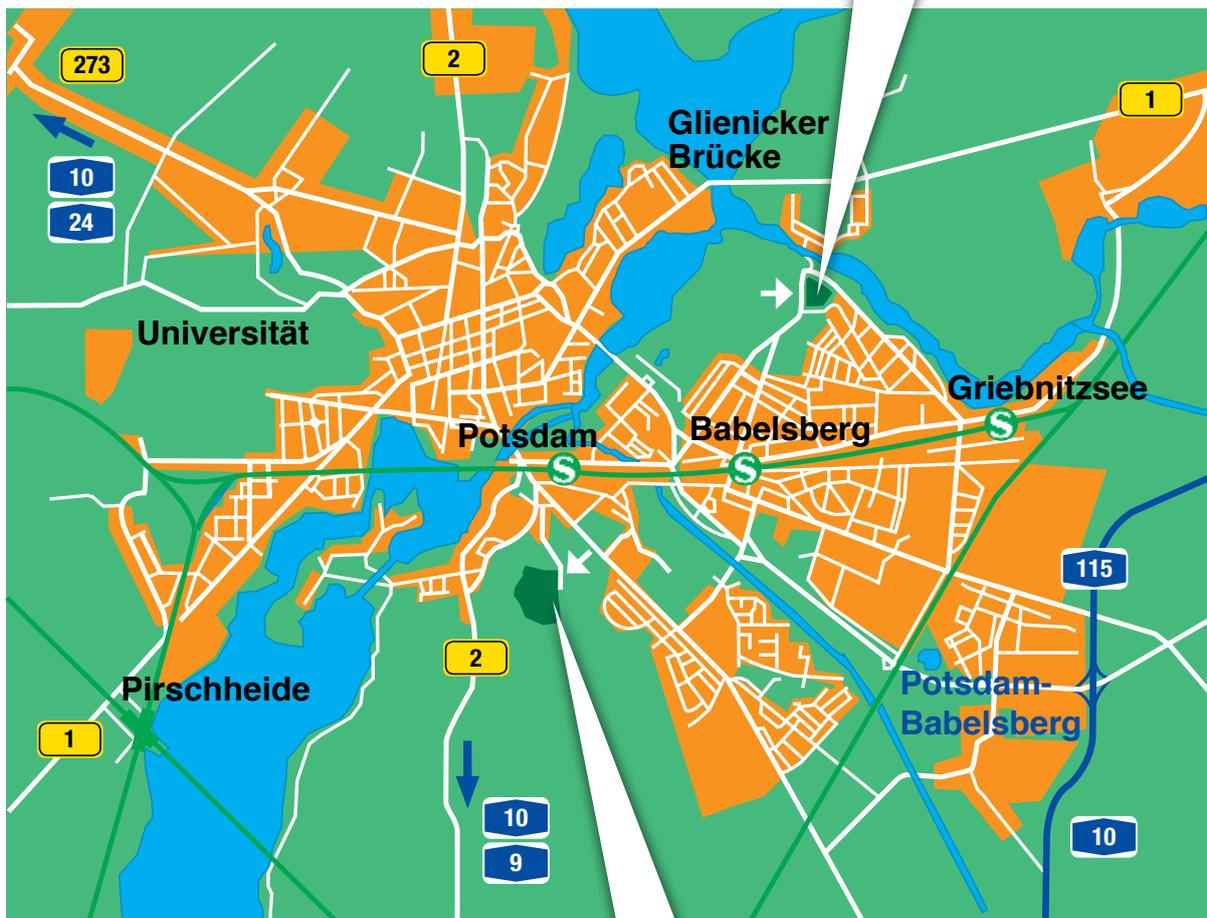
#### **Potsdam-Babelsberg:**

Sie erreichen uns mit dem Auto von der Nuthe-Schnellstraße, Abfahrt Friedrich-List-Straße. Folgen Sie der "Alt Nowawes" Straße geradeaus, bergauf, bis Sie zur Rechten die Einfahrt zum AIP Campus sehen. Von allen Potsdamer S-Bahnhöfen fährt der Bus Nr. 694 (Haltestelle "Sternwarte") zum AIP (ab Hbf oder S-Bahnhof Babelsberg Richtung "Stern Center").

### **Research Campus (Observatory)**

#### **Potsdam-Babelsberg:**

*By car, take the exit "Friedrich-List-Straße" from the "Nuthestraße" expressway. Follow the "Alt Nowawes" Street uphill until you find the entrance to the AIP campus on your right. By bus, take bus no. 694 (stop "Sternwarte") from any Potsdam train station (direction "Stern-Center" if coming from the main station or "S-Bahnhof Babelsberg").*



### **Großer Refraktor und Einsteinturm auf dem Telegrafenberg:**

Mit dem Auto von der Nuthestraße den Schildern Richtung Landtag, dann "Wissenschaftspark Albert Einstein" folgen, dann nahe der Pforte an der Straße parken. Vom Potsdamer Hauptbahnhof ist das Gelände fußläufig in ca. 15 Minuten erreichbar; es gibt keine Busanbindung.

### **Great Refractor and Einstein Tower, Potsdam-Telegrafenberg:**

*By car follow first the signs "Landtag" from the "Nuthestraße" expressway, then follow the signs "Wissenschaftspark Albert Einstein" (Albert Einstein Science Park). Park at the side of the street near the entrance to the campus. There is no bus connection to this site, however, you can reach it by foot from Potsdam main station within 15 minutes.*

## **Bildnachweis** *Image Credits*

S.11/12: Sunspot [*Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik (KIS)*]

S.30: Supernova echo observed by LBT [*E. Giallongo, V. Testa, S. Gallozzi and the LBC Team, LBT collaboration*]

S.50: STAGES mosaic of unusual galaxies [*M. Barden, STAGES collaboration*]

S.66/67: Map of the World [*CIA*] and images of telescope and satellite projects [*respective project collaborations*]

S.71: Concordia station (Fig. 3) [*G. Dargaud*]

S.108: The EinsteinTower at night [*R. Schäferhoff*]. Top (middle): Architectural Drawing [*E. Mendelsohn*]

S.112/113: The LBT telescope from inside [*M.-A. Besel and W. Rujopakarn, LBTC*]

S.114: The LBT telescope on Mt Graham [*A. Ceranski, LBTC*]

S.115: NGC 6946 Spiral Galaxy [*V. Testa and C. DeSantis, LBTC*]

## **Bildnachweis** *Image Credits*

S.11/12: Sunspot [*Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik (KIS)*]

S.30: Supernova echo observed by LBT [*E. Giallongo, V. Testa, S. Gallozzi and the LBC Team, LBT collaboration*]

S.50: STAGES mosaic of unusual galaxies [*M. Barden, STAGES collaboration*]

S.66/67: Map of the World [*CIA*] and images of telescope and satellite projects [*respective project collaborations*]

S.71: Concordia station (Fig. 3) [*G. Dargaud*]

S.108: The EinsteinTower at night [*R. Schäferhoff*]. Top (middle): Architectural Drawing [*E. Mendelsohn*]

S.112/113: The LBT telescope from inside [*M.-A. Besel and W. Rujopakarn, LBTC*]

S.114: The LBT telescope on Mt Graham [*A. Ceranski, LBTC*]

S.115: NGC 6946 Spiral Galaxy [*V. Testa and C. DeSantis, LBTC*]

[www.aip.de](http://www.aip.de)