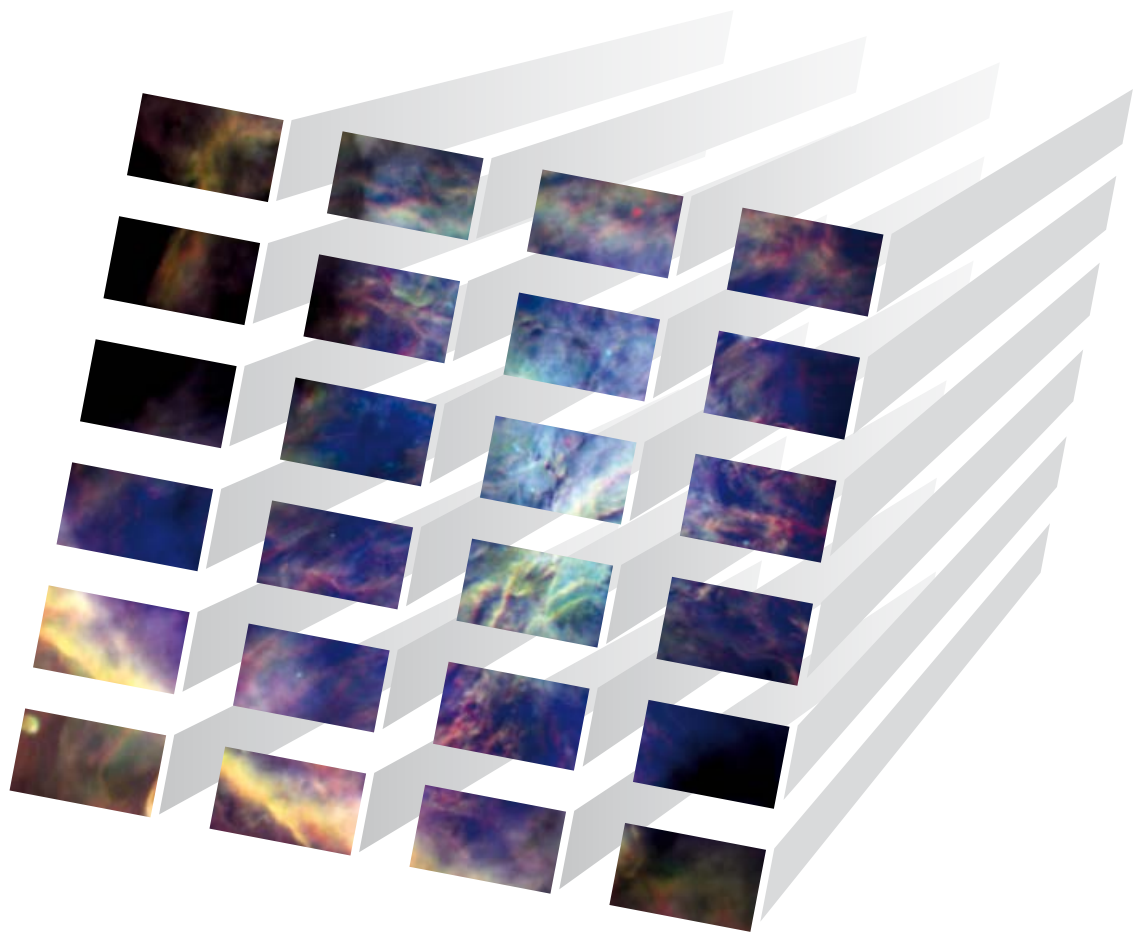


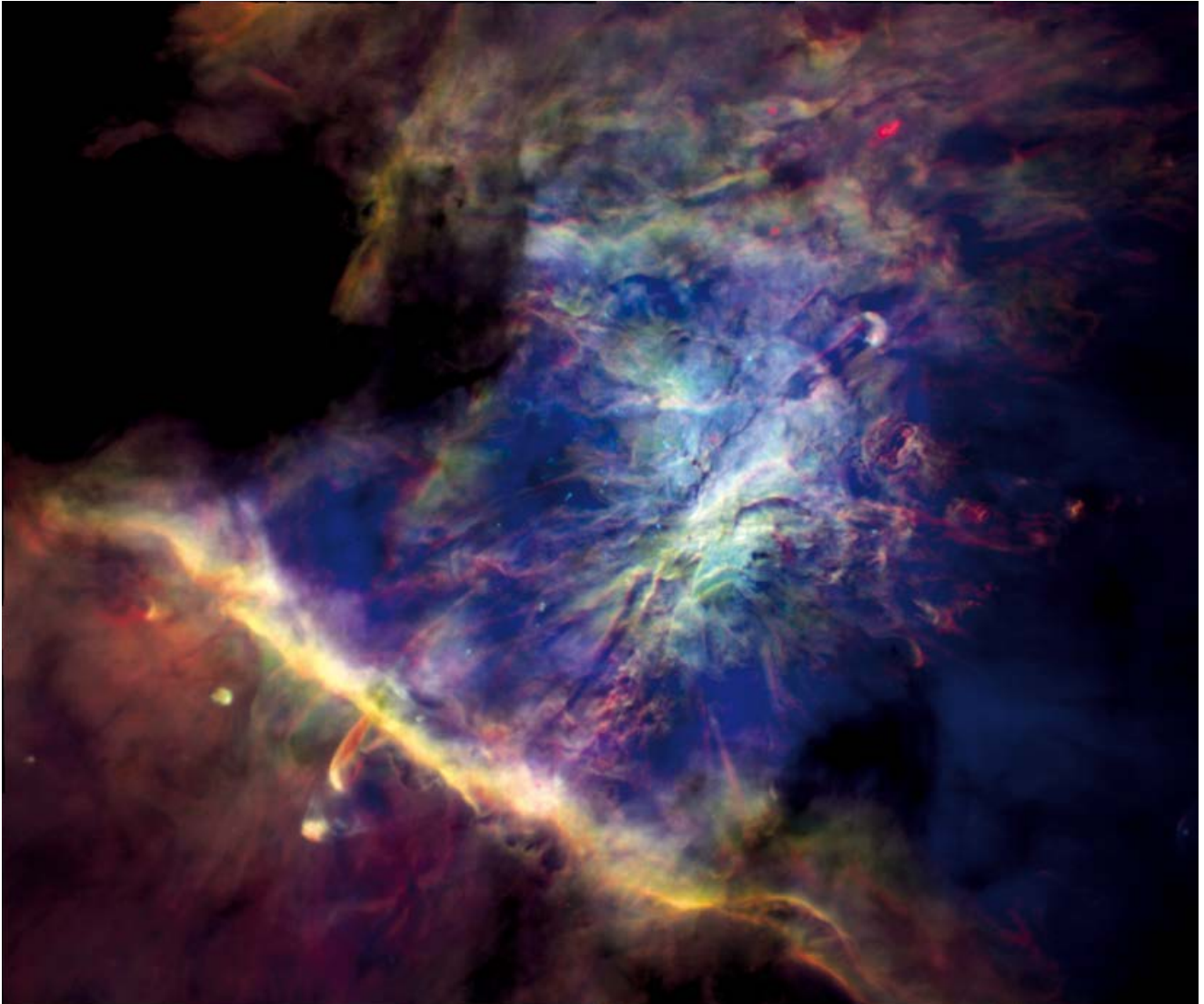


Leibniz-Institut für
Astrophysik Potsdam



Biennial Report 2014 – 2015

Das Zentrum des großen Orionnebels (M 42) im Licht des angeregten Gases der Elemente Schwefel, Stickstoff und Wasserstoff. Die Sterne des Trapezes, die den Nebel beleuchten, sind in dieser Darstellung nicht sichtbar. Die Maske über dem Bild stellt die 24 Integralfeldmodule des MUSE-Spektrographen am ESO Very Large Telescope dar, mit denen dieses Mosaik aufgenommen wurde. The central region of the Orion Nebula (M 42) in the light of excited gas of the elements sulfur, nitrogen, and hydrogen. The stars of the Trapezium that illuminate the gas are not visible in this representation. The mask on top of the image represents the 24 integral field units of the MUSE spectrograph that were used to observe this mosaic. (Credit: Peter Weilbacher, AIP (Orion representation), Ghaouti Hansali, CRAL (Cover))

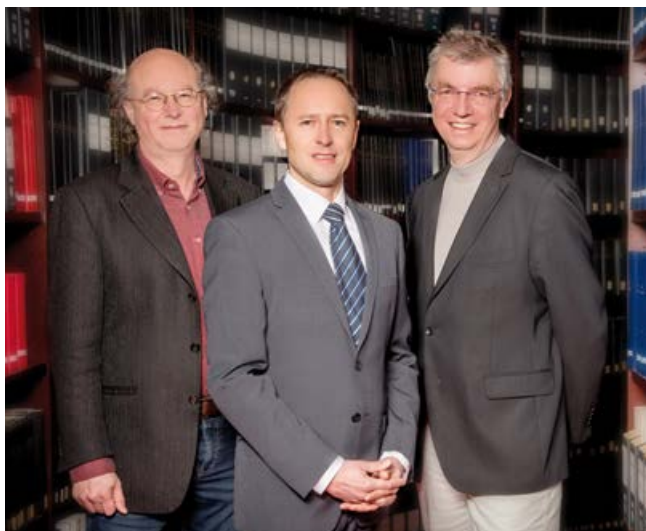


Doppler-Zeitreihenaufnahmen der Sternenflecken auf dem Roten Riesen XX-Triangulum, aufgenommen mit dem robotischen Spiegelteleskop STELLA auf Teneriffa zwischen Juli 2006 und April 2012.
Time-series of Doppler images of the starspots on the red giant XX Triangulum observed with the robotic STELLA telescope on Tenerife between July 2006 and April 2012.
(Credit: Andreas Künstler, AIP)



Vorwort

Preface



*Prof. Dr. Klaus G. Strassmeier, Matthias Winker,
Prof. Dr. Matthias Steinmetz*

Astronomie ist seit jeher mit dem Bau großer Infrastrukturen verbunden. Bekannteste Beispiele sind die Sternwarte Uraniborg des Tycho Brahe, die die empirischen Grundlagen für das heliozentrische Weltbild legen sollte, die ersten Großteleskope des Wilhelm Herschel, die die Struktur der Milchstraße offenlegten oder das berühmte 2,5 m-Teleskop auf dem Mount Wilson, an dem mit Hubbles Entdeckung der Ausdehnung des Universums 14 Jahre nach der Entwicklung der allgemeinen Relativitätstheorie durch Einstein in Berlin die Grundlagen für die moderne Kosmologie gelegt werden sollten. Auch heute ist Astronomie eng mit der Entwicklung des Instrumentariums verbunden und geschieht zumeist im Rahmen internationaler Kollaborationen an Großteleskopen an entlegenen Orte dieser Erde, wie z. B. am Large

Binocular Telescope (LBT) in Arizona oder an der Europäischen Südsternwarte (ESO) in der Atacama-Wüste Chiles.

Seit seiner Neugründung 1992 hat sich das Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) aktiv in die Entwicklung solcher Teleskope und ihrer Instrumentierungen eingebracht. Auch die vergangenen beiden Jahre, über die berichtet werden soll, legen hiervon Zeugnis ab: Der 3D-Spektrograph MUSE, der mit Beteiligung des AIP für die Europäische Südsternwarte gebaut wurde, hat im Frühjahr 2014 seinen wissenschaftlichen Betrieb aufgenommen. Nach zehnjähriger Bauzeit wurde der hochauflösende Spektrograph PEPSI am LBT installiert und liefert erste Daten. Mit diesen Geräten wird es Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am AIP und in der Welt möglich sein, noch tiefer in die Weiten des Kosmos zu schauen und die Objekte des gestirnten Himmels noch detaillierter zu untersuchen und ihre Geheimnisse zu lüften. Mit der laufenden Konzeption von 4MOST, einem spektroskopischen Durchmusterungs-Teleskop, das Weltraummissionen wie den Röntgensatelliten eROSITA oder den Astrometrie-Satelliten Gaia begleiten wird, sind bereits die Vorbereitungen für das nächste Großprojekt der ESO weit fortgeschritten. Das AIP übernimmt hierbei erstmals die Leitung eines großen internationalen Konsortiums. Aber auch die Vorarbeiten für die übernächste Instrumentengeneration haben begonnen, mit Konzeptstudien für das europäische Extremely Large Telescope, das mit seinem 39 m-Hauptspiegel im Jahr 2024 den Betrieb auf dem Cerro Armazones in Chile aufnehmen soll.

All dies ist nur dank einer soliden Förderung seitens unserer Zuwendungs- und Drittmittelgeber möglich. Der Erfolg dieser Förderung wird von Bund und Ländern alle sieben Jahre durch ein externes, international zusammengesetztes Expertengremium überprüft. Für das AIP war dies 2015 wieder der Fall als das Institut, wie schon 2007, erneut Bestnoten erhielt. Einige der Ergebnisse, auf denen diese Einschätzung beruht, können Sie in diesem Zweijahresbericht nachlesen. Wir wünschen Ihnen dabei viel Freude, vielleicht sehen wir Sie ja auf einem unserer Beobachtungsabende oder dem Tag der offenen Tür wieder.

Astronomy has always been associated with the construction of large infrastructures. Well-known examples are the observatory Uraniborg of Tycho Brahe, which laid the empirical basis for the heliocentric world model, the first large telescopes of William Herschel, which uncovered the structure of the Milky Way, and the famous 2.5 m telescope at Mount Wilson, where the foundations of modern cosmology were laid with Hubble's discovery of the expansion of the Universe 14 years after the development of the general theory of relativity by Einstein in Berlin. Today, astronomy is still closely linked to the development of instruments and frequently takes place in the framework of international collaborations at large telescopes in remote places of the world, such as the Large Binocular Telescope (LBT) in Arizona or at the European Southern Observatory in Chile's Atacama Desert.

Since its refounding in 1992, the Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP) has actively participated in the development of such telescopes and their instrumentation. Progress over the past two years, which is reported on here, testifies to this. In spring 2014 the 3D spectrograph MUSE, which was built for the European Southern Observatory with the participation of the AIP, started its scientific operation. After ten years of construction the high-resolution spectrograph PEPSI was installed at the LBT and

has taken its first data measurements. With these instruments, scientists at the AIP and around the world have the possibility to look deeper into the depths of the cosmos, and investigate the properties of the starry heavens in more detail to unravel their secrets. With the on-going design of 4MOST, a spectroscopic survey telescope that will complement space missions such as the X-ray satellite eROSITA and the astrometric satellite Gaia, the preparations for the next major project of ESO are well advanced, with the AIP in the leading role of the international consortium. In addition, preparations for the next generation of instruments have already begun, with design studies for the European Extremely Large Telescope, which will start operations with its 39 m main mirror in 2024 on the Cerro Armazones in Chile.

All of this is only possible thanks to solid funding. The success of the AIP is reviewed by federal government and states every seven years by an international panel of external experts. The AIP was most recently reviewed in 2015, and received, as in 2007, top marks. Some of the results on which this assessment is based can be found in this biennial report. We are pleased to share this report, and hope to see you at one of our public observing events or on the open day.



Prof. Dr. Matthias Steinmetz
Wissenschaftlicher Vorstand,
Direktor Forschungsbereich
„Extragalaktische Astrophysik“



Matthias Winker
Administrativer Vorstand



Prof. Dr. Klaus G. Strassmeier
Direktor Forschungsbereich
„Kosmische Magnetfelder“



Inhaltsverzeichnis

Content

Profil

Profile 6

Wissenschaftliche Highlights

Research Highlights 8

Kosmische Magnetfelder

Cosmic Magnetic Fields 10

Magnetohydrodynamik und Turbulenz

Magnetohydrodynamics and Turbulence 12

Physik der Sonne

Physics of the Sun 18

Sternphysik und Sternaktivität

Stellar Physics and Stellar Activity 24

Extragalaktische Astrophysik

Extragalactic Astrophysics 30

Milchstraße und die lokale Umgebung

Milky Way and the Local Volume 32

Die frühe Milchstraße

The early Milky Way 38

Galaxien und Quasare

Galaxies and Quasars 40

Kosmologie und großräumige Strukturen

Cosmology and Large-scale Structures 46

Galaxienentstehung

Galaxy Formation 52

Entwicklung von Forschungsinfrastruktur und -technologie

Development of Research Technology and Infrastructure 54

Teleskopsteuerung und Robotik

Telescope Control and Robotics 56

Hochauflösende Spektroskopie und Polarimetrie

High-resolution Spectroscopy and Polarimetry 62

3D- und Multi-Objekt-Spektroskopie

3D and Multi Object Spectroscopy 68

Supercomputing und E-Science

Supercomputing and E-Science 74

innoFSPEC

innoFSPEC 80

AIP im Überblick		Anhang	
AIP at a glance	86	Appendix	124
Das Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) im Überblick		Institutsstruktur	
The Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP) at a glance	88	Institute structure	126
Campus Potsdam Babelsberg		Anreise	
Campus Potsdam Babelsberg	90	How to get to AIP	130
Geschichte 1700 – 2015		Impressum	
History 1700 – 2015	98	Imprint	133
Preise und Fellows			
Awards und Fellows	100		
Arbeiten am AIP			
Working at the AIP	104		
Abgeschlossene Forschungsarbeiten			
Completed Research Projects	107		
Standorte			
Sites	108		
Potsdamer Telegrafenberg			
Potsdam Telegrafenberg	109		
Potsdam-Bornim			
Potsdam Bornim	111		
Teneriffa			
Tenerife	112		
Arizona, USA			
Arizona, USA	115		
Wissens- und Technologietransfer (WTT)			
Knowledge and technology-transfer (KTT)	116		
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit am AIP			
Public outreach at AIP	118		



Profil

Profile

Das Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) ist Nachfolgeeinrichtung einer der ältesten Sternwarten Deutschlands – der 1700 gegründeten Berliner Sternwarte – und des 1874 gegründeten Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam (AOP), dem ersten Institut weltweit, das sich ausdrücklich der Astrophysik widmete. Seit 1992 ist das AIP Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft. Das Forschungsprofil des AIP umfasst Themen der Astronomie und Astrophysik, die von der Sonnenphysik bis hin zur Entwicklung des Kosmos reichen. Diese Forschung ist in den beiden zentralen Forschungsbereichen „Kosmische Magnetfelder“ und „Extragalaktische Astrophysik“ organisiert. Darüber hinaus widmet sich das Institut der Entwicklung astronomischer Instrumentierung, optischer Technologien sowie dem Thema Supercomputing und den Anforderungen für das Management und die Analyse großer Datenmengen. Zudem wird ein umfangreiches wissenschaftlich-historisches Erbe am AIP verwaltet.

Die beiden Forschungsbereiche „Kosmische Magnetfelder“ und „Extragalaktische Astrophysik“ werden jeweils von einem Direktor geleitet und sind in je drei wissenschaftliche Abteilungen sowie mehrere assoziierte Forschungsgruppen untergliedert. Die wissenschaftlichen Abteilungen sind dabei thematisch, methodisch und technologisch eng miteinander vernetzt und bilden das wissenschaftliche Forschungsportfolio des Instituts. Die Abteilungen des Bereichs „Entwicklung von Forschungstechnologie und -infrastruktur“ konzipieren und entwickeln astronomische Instrumentierung, Analysewerkzeuge und Computerservices, die zur Erreichung der wissenschaftlichen Ziele dienen. Das AIP ist eines der größten astronomischen Institute Deutschlands und das größte in den neuen Bundesländern.

Evaluierung

In dem alle sieben Jahre stattfindenden unabhängigen Evaluierungsverfahren durch die Leibniz-Gemeinschaft attestierte eine



Historisches Sternwartengebäude auf dem Campus Babelsberg. Historic observatory building in Babelsberg.

international besetzte Expertenkommission dem AIP 2015 eine ausgesprochen positive Entwicklung.

Die Expertenkommission stellt fest: „Die wissenschaftliche Kompetenz des AIP ist stabil gegründet und breit aufgestellt. Dies ist eine der größten Stärken des Instituts, da sie eine umfassende, interdisziplinäre Forschungsstrategie ermöglicht. Gleichzeitig hat das AIP wohldefinierte, fächerübergreifende Themen festgelegt, die eine Prioritätensetzung erlauben. Das Institut ist dazu ermutigt, diesen Weg weiter zu beschreiten, um seine Stellung als international wettbewerbsfähiges Institut zu sichern und weiter zu entwickeln.“

Die Forschungs- und Entwicklungsprogramme der einzelnen wissenschaftlichen Abteilungen des Instituts wurden als sehr gut bis exzellent bewertet. Die externe Prüferkommission zeigte sich insbesondere beeindruckt von der nationalen und internationalen Vernetzung des AIP sowie seiner Fähigkeit, sich an großen internationalen Forschungsprojekten zu beteiligen. Im Fall des Multi-Objekt-Spektrographen 4MOST übernahm das AIP erstmalig die Federführung für den Bau eines Instruments für die Großteleskope der Europäischen Südsternwarte (ESO). Einzelnen Forschungsabteilungen, wie der Abteilung „Milchstraße und Lokale Gruppe“, wurde attestiert, weltweit führend in ihrem Feld zu sein. Auch das Engagement in der Softwareentwicklung für Instrumentierungsprojekte an Großteleskopen wie z. B. MUSE für das Very Large Telescope (VLT) der ESO beeindruckte die Evaluierungskommission. Das AIP sei international als ein Zentrum und erster Anlaufpunkt im Bereich der optischen 3D-Spektroskopie bekannt.



Evaluierung des AIP im Januar 2015. Evaluation of AIP, January 2015.

The Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP) is the successor to one of the oldest observatories in Germany – the Berlin Observatory founded in 1700 – and also the successor to the first institution worldwide devoted explicitly to the field of astrophysics, the Astrophysical Observatory Potsdam established in 1874. Since 1992 the AIP has been a member of the Leibniz Association.

AIP has a broad research profile covering the fields of astronomy and astrophysics from the physics of the Sun to the evolution of the cosmos on its largest scales. Its research is organized in two branches, “Cosmic Magnetic Fields” and “Extragalactic Astrophysics”, respectively. Furthermore, AIP is involved in the area of astronomical instrumentation, optical technologies, supercomputing, and the management and analysis of large data sets. It also administers an extensive historical scientific legacy.

The two main research branches “Cosmic Magnetic Fields” and “Extragalactic Astrophysics” are each led by a director and are divided in three scientific sections, which are strongly meshed with respect to their thematic, methodological, and technological aspects. The scientific sections define the long-term scientific research portfolio of the institute. The R&D sections design and develop future astronomical instrumentation, data analysis tools and computing services that are required for fulfilling the institute’s science goals. AIP is one of the largest institutes for astronomical research in Germany and the largest in the newly formed German states.

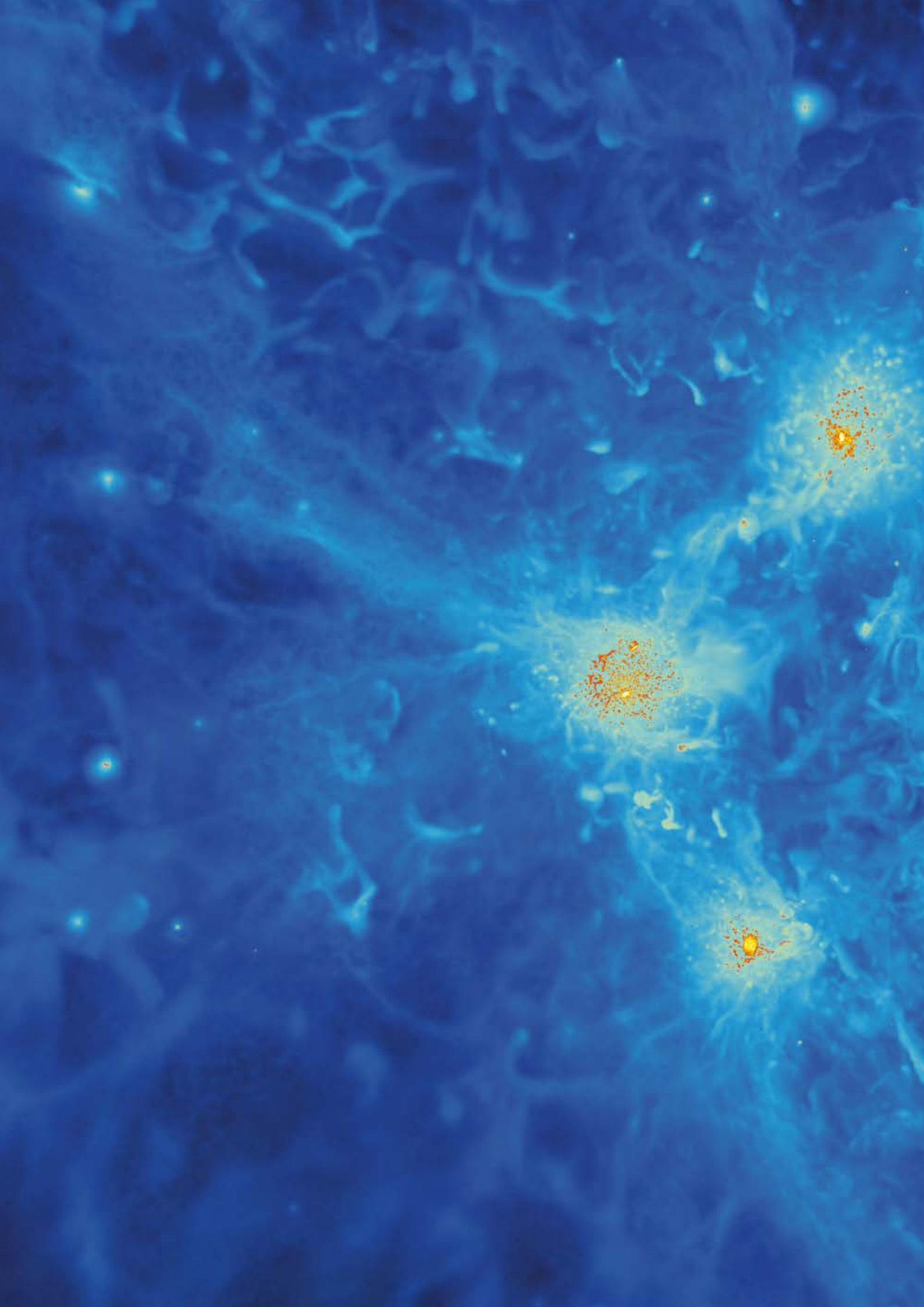
Evaluation

In 2015 the AIP was given excellent marks in the independent evaluation process by the Leibniz Association, which takes place every seven years. The committee attested the institute a distinctly successful development over the past years.

One appraisal of the evaluation committee reads: “In terms of its expertise in astrophysics, AIP is firmly and broadly based. This is one of its great strengths that enables it to implement a comprehensive, cross-disciplinary research strategy. At the same time, AIP has defined appropriate crosscutting themes which allow it to set priorities. The institute is encouraged to continue this path in order to maintain and further develop its standing as an internationally competitive research institution.”

The review board valued AIP’s research and development programme as very good to excellent. The committee was particularly impressed by the broad network of the AIP on national and international scale and the institute’s success in taking part in large transnational research projects. The AIP is, for example, taking the lead in developing multi-object Spectrograph 4MOST, an instrument for an ESO telescope. Some individual research groups, for example, the “Milky Way and the Local Volume”, were noted to be some of the best in the world. The institute’s commitment in developing software for big instrumental projects like its involvement in the 2nd generation VLT instrument MUSE, was also positively noted by the review board. The AIP has become worldwide known as a centre for 3D optical spectroscopy.

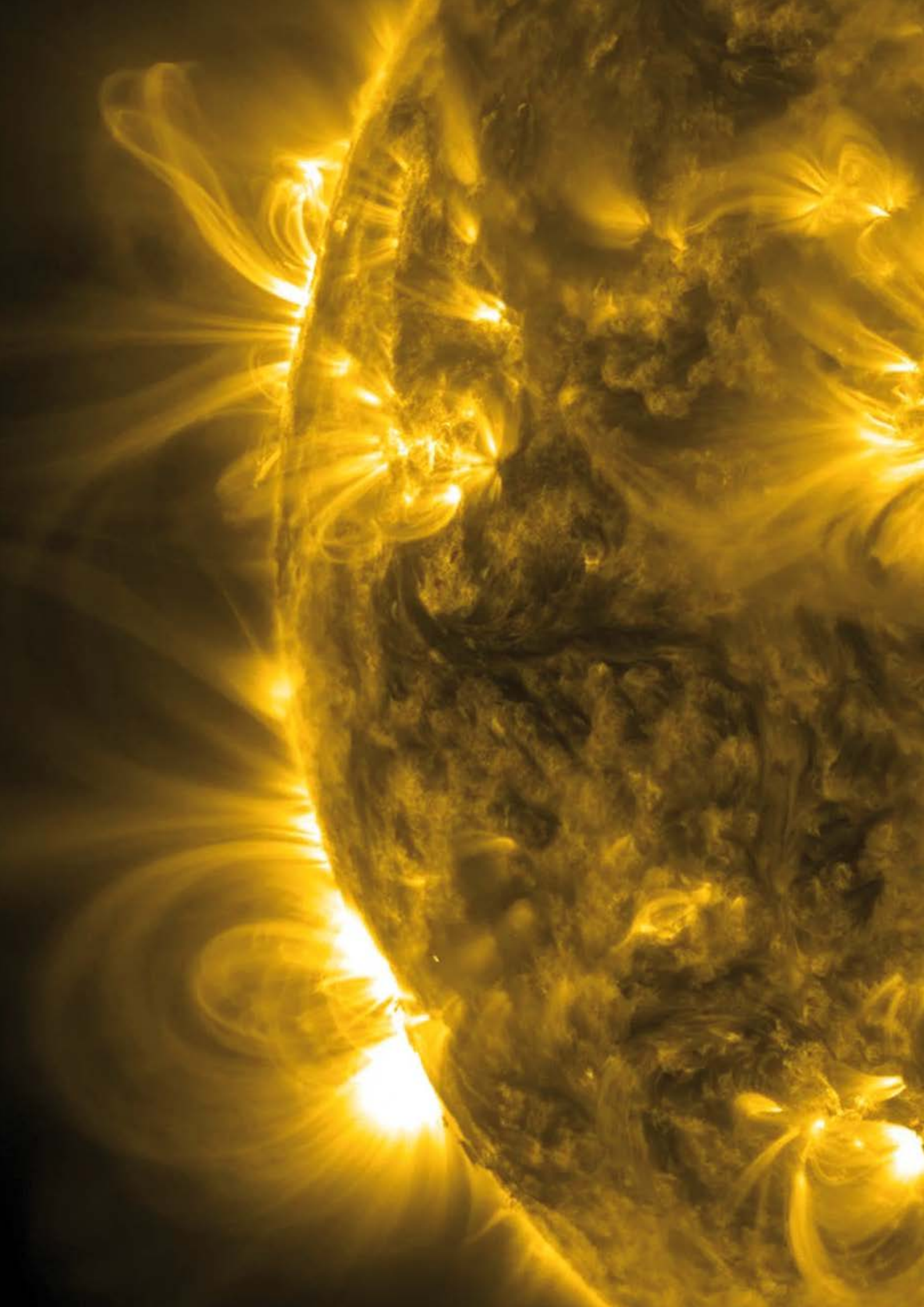






Wissenschaftliche
Highlights
Research Highlights





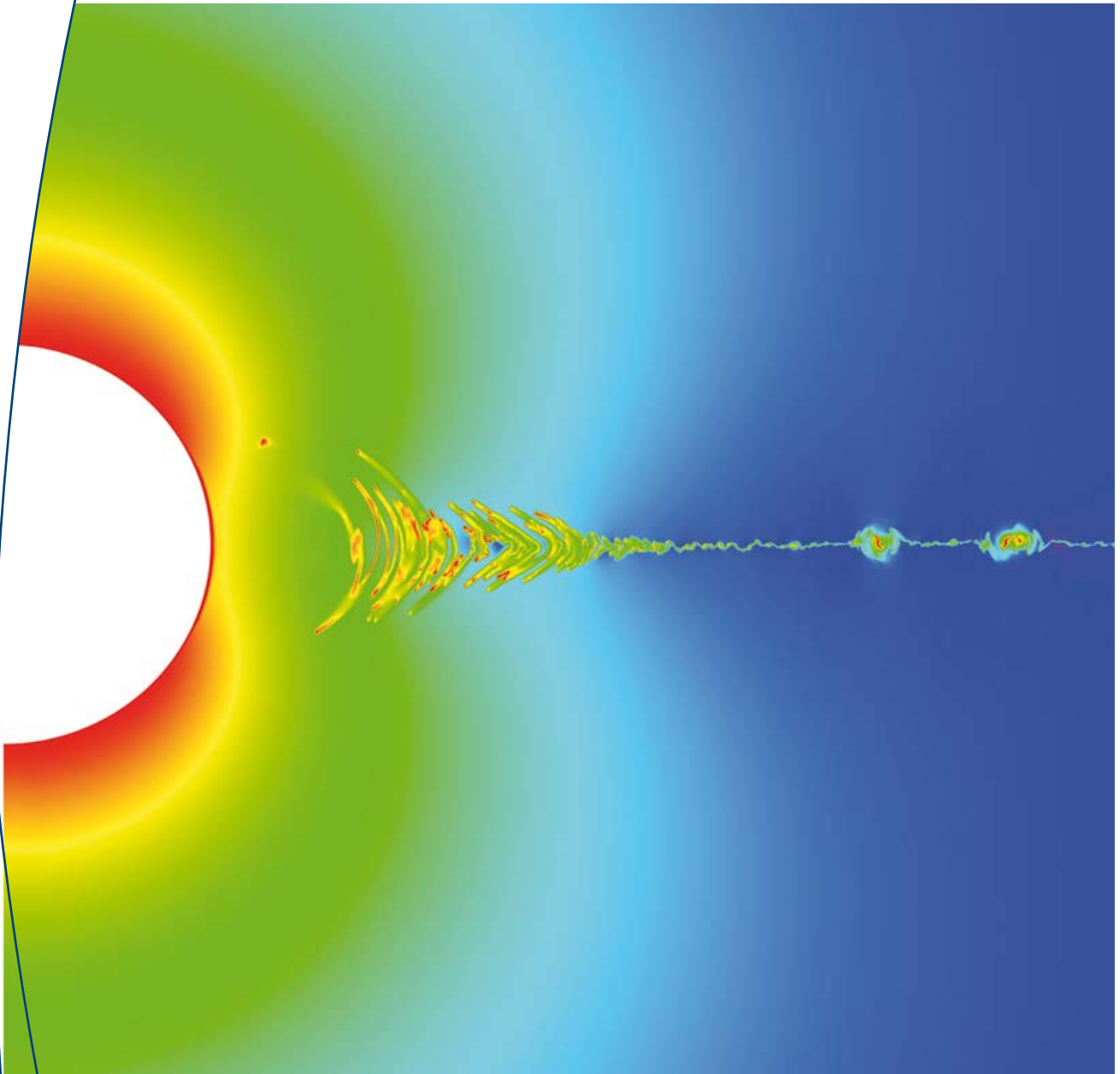
Kosmische Magnetfelder

Der Forschungsbereich „Kosmische Magnetfelder“ widmet sich der Untersuchung solarer, stellarer und galaktischer Magnetfelder sowie den magnetohydrodynamischen (MHD) Mechanismen welche sie erzeugen. Ziel ist das Verständnis des komplexen Zusammenspiels zwischen der Struktur der Materie, der Geometrie und Stärke von Magnetfeldern sowie deren Rückkoppelung. Diese Thematiken sind durch die „solar-stellar connection“ miteinander verbunden und fokussiert. Dabei werden Erkenntnisse über die Sonne und ihre Heliosphäre auf Sterne in unterschiedlichen Größen und Entwicklungsstadien angewendet. Maßgebende Prozesse sind Konvektion und Rotation, Turbulenz, Magnetfelderzeugung und -verstärkung sowie Teilchenbeschleunigung. Stellare und planetare Magnetfelder schirmen die hochenergetische kosmische Strahlung ab und sichern so die Entstehung und Entwicklung von Zivilisationen wie der unsrigen. Zum Einsatz kommen Supercomputer für MHD-Simulationen und Großteleskope wie das Large Binocular Telescope (LBT) oder das Very Large Telescope (VLT) für hochauflösende Spektroskopie und Spektralphotometrie als auch kleinere robotische Teleskope. Hauptprojekte sind das Design, die Konstruktion, und der Betrieb von STELLA und PEPESI, der Bau des Sonnenteleskops GREGOR und des Fabry-Pérot Interferometer GFPI, die „Radiosonne“ mit LOFAR, das Röntgenteleskop des STIX Instruments für Solar Orbiter, der HIRES Spektrograph mit Polarimeter für das ESO E-ELT, sowie die bodengebundene Unterstützung der ESA-Mission PLATO.

Cosmic Magnetic Fields

The research area of “Cosmic Magnetic Fields” is dedicated to the exploration of solar, stellar, and galactic magnetic fields, along with the underlying magnetohydrodynamic (MHD) mechanisms that generate them. The goal at AIP is to understand the complex relationship between the structure of matter and the geometry and strength of magnetic fields and their recoupling. These topics are intermingled within the solar-stellar connection. It links the Sun and its heliosphere to that of other stars and their diversity and evolution. The underlying processes of convection and rotation, turbulence, magnetic field generation and amplification, and particle acceleration are the key research drivers. The existence of stellar and planetary magnetic fields is a decisive factor for the formation and evolution of life on planets, as magnetic fields are shields against high-energy cosmic rays. Supercomputers are used to create MHD simulations and large telescopes like the LBT and the VLT, along with smaller robotic telescopes, offer high-resolution spectroscopy and spectropolarimetry. The main projects are the design, construction, and operation of STELLA and PEPESI, the solar telescope GREGOR and its Fabry-Perot Interferometer GFPI, the “Radio Sun” with LOFAR, the X-ray imaging telescope STIX for Solar Orbiter, the HIRES spectrograph with polarimeter for ESO’s E-ELT as well as the ground-based support for ESA’s PLATO mission.





Dichteverteilung in der Nachbarschaft eines magnetischen Sterns (weißer Kreis, links). Das Filament markiert die magnetisch dominierte Region, in der das Gas den Feldlinien folgt.
Density distribution in the vicinity of a magnetic star (left, white circle). The filament marks the magnetically-dominated region where the gas follows the field lines.

Magnetohydrodynamik und Turbulenz

Magnetohydrodynamics
and Turbulence

Überall im Universum findet man Magnetfelder. Der größte Teil der baryonischen Materie befindet sich im Plasmazustand. Turbulente Plasmaströmungen ermöglichen die Verstärkung von Magnetfeldern durch die Umwandlung von kinetischer in magnetische Energie ähnlich den aus der Technik bekannten Generatoren oder Dynamos. Diese Prozesse wirken in der Erde, anderen Planeten, der Sonne, Sternen, Galaxien und Galaxienhaufen. Die Erklärung dieses Phänomens ist ein herausforderndes Problem. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Forschungsabteilung „Magnetohydrodynamik und Turbulenz“ beobachten Magnetfeldstrukturen in Raum und Zeit und vergleichen diese mit numerischen Simulationen und Experimenten, um die Geheimnisse des Dynamoprozesses und die Rolle von Magnetfeldern im Universum zu entsleiern. Die zusehends komplexer werdenden Anforderungen an die Modellierung verlangen hierbei immer aufwendigere Simulationssoftware. Mit der kontinuierlichen Fortentwicklung des NIRVANA Codes (nirvana-code.aip.de) wird dem Rechnung getragen.

Dynamos in Sonne und Sternen

Die meisten sonnenähnlichen Sterne zeigen Aktivitäten an ihren Oberflächen, die von Magnetfeldern im Inneren hervorgerufen werden. Diese Felder werden durch einen Dynamoprozess erzeugt, der meist zu periodischen Aktivitätsschwankungen führt. Bei der Sonne beträgt diese Periode etwa elf Jahre. Für sie konnten aus historischen Beobachtungen die Häufigkeiten von Sonnenflecken abgelesen und der Zyklus rekonstruiert werden. Die Eigenschaften von vielen tausend Sonnenfleckengruppen anhand von Zeichnungen aus den letzten 400 Jahren wurden ermittelt.

Mit numerischen Simulationen können das Aufsteigen von Magnetfeldern durch die äußeren Schichten der Sonne nachgestellt und somit theoretisch die Eigenschaften von Sonnenfleckengruppen vorhergesagt werden. Aus den Simulationen hat sich eine Relation der Aufstiegszeit in Abhängigkeit von der Magnetfeldstärke und der Rotationsdauer eines sonnenähnlichen Sterns abgebildet. Für bestimmte Dynamomodelle folgt daraus ein gewisser Zeitverzug, mit dem Magnetfelder an der Sternoberfläche wirksam werden. Für solche Dynamorechnungen bedeutet diese Verzögerung eine Nichtlinearität, deren Effekte zukünftig untersucht werden sollen.

Team 2014/2015:

Rainer Arlt, Abhijit Bendre, Detlef Elstner (head), Yori Fournier, Hans-Erich Fröhlich, Phillipp Gast, Marcus Gellert, Andrea Hans, Manfred Küker, Günther Rüdiger, Manfred Schultz, Federico Spada, Federico Stasyszyn, Senthamizh Pava Valliappan, Udo Ziegler

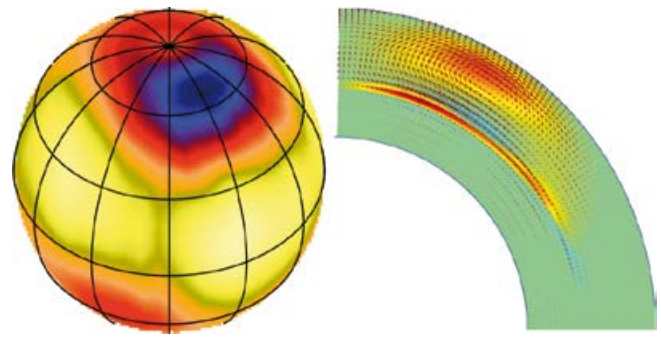


Fig. 1 Links: Beobachtung eines großen Flecks auf dem Stern AF Leporis bei hoher stellarer Breite. Rechts: Querprofil durch den simulierten Stern, wobei der rote Bereich die Verstärkung des Magnetfelds bei hohen Breiten darstellt. Left: observation of a large spot on the star AF Leporis at high stellar latitude. Right: cross-section through the simulated star showing the amplification of magnetic fields (red) at high latitude.

Die Berechnung von Dynamos wurde auch für andere Sterne durchgeführt. Beispielsweise zeigt der Stern AF Leporis Flecken ausschließlich in der Nähe des Pols, während Sonnenflecken fast ausschließlich unterhalb von 40 Grad „Sonnenbreite“ auftreten. Die Dynamomodelle liefern dann die richtigen Breiten, wenn man für das Sterninnere eine Rotationsgeschwindigkeit annimmt, die höher als die der Oberfläche ist. Das passt zu der Vorstellung, dass Sterne vor allem in ihrer Jugend allmählich langsamer werden, wobei das Sterninnere für die Verlangsamung länger braucht. AF Leporis ist in der Tat ein sehr junger Stern.

Magnetosphären von massereichen Sternen

Massereiche Sterne sind sehr leuchtstark und verlieren große Mengen von Gas durch strahlungsgetriebene Winde. Diese Winde tragen bis zu einer Milliarde Mal mehr Masse ab als Sonnenwinde. Sie erreichen Geschwindigkeiten bis zu einem Prozent der Lichtgeschwindigkeit. Ausgedehnte Magnetfelder auf der Sternoberfläche mit Feldstärken von über einem Kilogauss haben erhebliche Auswirkungen auf die Sternwinde. Röntgenbeobachtungen weisen tatsächlich auf einen Zusammenhang zwischen Magnetfeldern und Winden hin. Stellare Magnetfelder nehmen mit wachsendem Abstand vom Stern ab, während die Gasgeschwindigkeit im Wind zunimmt. Numerische Simulationen erlauben es, die Wechselwirkung von Magnetfeld und Winden zu studieren: Ein anfänglich dipolares Magnetfeld öffnet sich in weitem Abstand vom Stern. Feldlinien, die nahe dem Äquator austreten, bleiben immer in der Nähe des Sterns und deshalb geschlossen. Jedoch bleibt das Gas in niedrigen Breiten gefangen, wo es entlang der Feldlinien wieder auf den Stern zurück fällt. Außerhalb der geschlossenen Feldlinien formt sich in der Äquatorebene eine Stromschicht, in der sich Magnetfelder entgegengesetzter Polarität aufheben. Hier bildet sich eine Gasscheibe mit höherer Dichte und niedrigerer



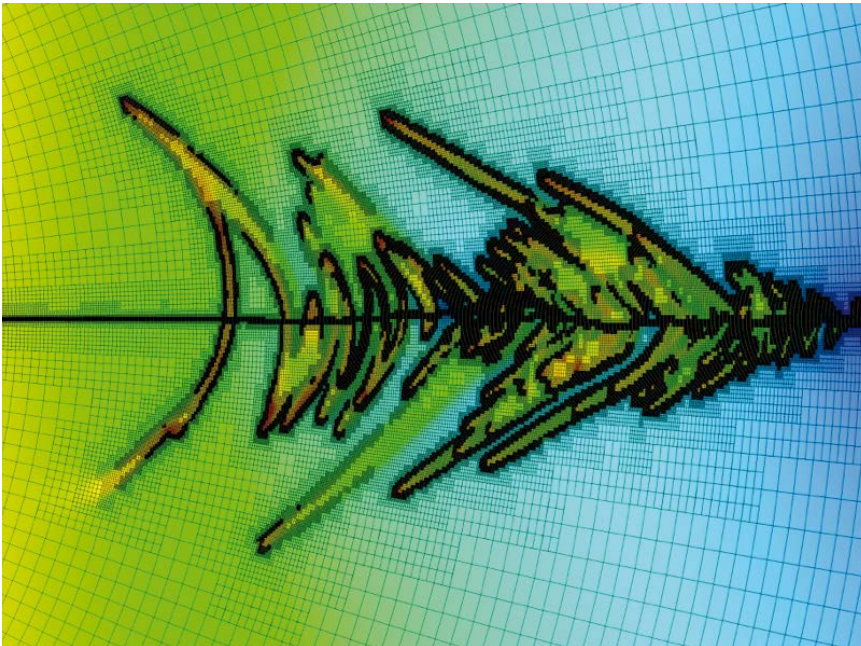


Fig. 2: Innerer äquatorialer Bereich der Magnetosphäre überlagert mit dem adaptiven Netz von NIRVANA. Inner equatorial part of the magnetosphere overlaid with the adaptive mesh of NIRVANA.

Geschwindigkeit als in der Region mit offenen Feldlinien, in denen das Gas in den interstellaren Raum entweicht.

Drehimpulstransport in Taylor-Couette Experimenten wiedergefunden

Beobachtungen der schwachen differentiellen Rotation in Roten Riesensternen erfordern eine beträchtliche interne Drehimpulsverteilung, deren Ursache nicht offenbar ist. Einige MHD-Instabilitäten können aber effektiv zum Drehimpulstransport beitragen. Die Azimutale Magneto-Rotationsinstabilität (AMRI) wurde ausgiebig durch numerische Simulationen in einem Zylinder untersucht, die ursprünglich Lösungen für Flüssigkeitsmetall-experimente vorhersagen sollten. Die gemeinsam mit dem Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf durchgeführten Experimente konnten die Existenz von AMRI belegen (Fig. 3).

Eine dynamische Skalierung der durch AMRI verursachten turbulenten Viskosität konnte festgestellt werden. Diese zeigte sich stark abhängig von der differentiellen Rotation und führte zu einer altersabhängigen Effizienz des Drehimpulstransportes in Sternen, deren differentielle Rotation dadurch mit dem Alter nichtlinear abnimmt. Die Implementation dieses Prozesses in einen stellaren Entwicklungs-Code führte zu beeindruckender Übereinstimmung mit Beobachtungen (Fig. 4).

Ein Dynamo für die Milchstraße

Radiosignale polarisierter Synchrotron-Strahlung zeigen magnetische Strukturen in der Milchstraße und externen Galaxien. Die Entstehung dieser Magnetfelder kann mit Dynamoprozessen erklärt werden. Aufwändige numerische Rechnungen des turbulenten interstellaren Mediums konnten den lange vermuteten Dynamo direkt

simulieren. Es wurden die für den Dynamo relevanten Turbulenzeigenschaften des interstellaren Mediums charakterisiert. Das globale dynamische Magnetfeldmodell für die Milchstraße zeigt im inneren Bereich bis 10 kpc einen turbulenten Dynamo, während bei abnehmender Sternentstehungsrate weiter außen die Magneto-Rotationsinstabilität die Turbulenz treibt.

Nearly all parts of the Universe contain magnetic fields. Most of the baryonic matter is in a plasma state. Turbulent plasma motions are able to amplify magnetic fields by transfer of kinetic energy into magnetic energy similarly to well known technical generators or dynamos. These act in the Earth, other planets, the Sun, other stars and probably in whole galaxies and even clusters of galaxies. Finding out the details of this process is a challenging problem. The research group "Magnetohydrodynamics and Turbulence" observes magnetic field structures in time and space and compares them with numerical simulations and experiments to unveil the secrets of the dynamo process and the role of magnetic fields in the Universe. The ever-expanding complexity in the modelling, however, requires elaborate simulation software. For this purpose, the NIRVANA code (nirvana-code.aip.de) is subject to continuous extensions and improvements.

Solar and stellar dynamos

Most solar-like stars show several signs of activity on their surfaces, which are driven by magnetic fields in their interiors. The magnetic fields are generated by a dynamo process, which typically leads to cyclic activity variations in various cool stars including the Sun. The solar cycle lasts about eleven years. Historical observations of sunspots allow us to extend our knowledge of the solar cycle back

in time. The properties of several thousand of sunspot groups observed in past four centuries were analysed.

Another project aims at simulating the rise of magnetic fields through the solar interior until they reach the surface. The numerical treatment may allow prediction of properties of sunspot groups as determined from observations. The simulations revealed a relation between the ascension time through the Sun or the star and their rotation period and magnetic field strength. There is a class of dynamo models for which this ascension time leads to a delay with which magnetic fields are acting at the surface. Such a delay plays the role of a non-linearity in the dynamo and will be investigated in future computations.

Our research also covered the calculation of dynamos for other stars. The star AF Leporis, for example, shows spots only near the pole, while sunspots occur almost exclusively at solar latitudes below 40 degrees. The dynamo models do provide the correct spot latitudes, if we assume that the interior of the star rotates slightly faster than the surface. This corresponds with the picture that stars are gradually slowed down in their early life, an effect first notable at the surface, while the interiors still remain a bit faster than the surface. Indeed, AF Leporis is a very young star.

Magnetospheres of massive stars

Massive stars are very luminous and lose large amounts of gas through radiation-driven winds. These winds carry away up to one billion times as much mass as the solar wind and reach gas velocities of one percent of the speed of light. Large-scale surface magnetic fields with field strengths exceeding one kilogauss must have a profound impact on the stellar winds. X-ray observations indeed suggest that there is an interaction between magnetic field and wind. Stellar magnetic fields get weaker with increasing distance from the star while the gas velocities in the wind increase. As a result, the magnetic field follows the gas flow at large distances and the field lines are open. Near the stellar surface, however, closed field loops can exist and gas be trapped. Numerical simulations of the interaction of wind and magnetic field show that an initially dipolar magnetic field opens up at large distances from the star. Field lines originating near the equator, however, never reach large distances from the star and remain closed. Gas therefore gets trapped at low latitudes, where it falls back to the star along the magnetic field lines. Outside the closed field line area, a current layer forms in the equatorial plane, where magnetic fields of opposite polarities cancel each other out and a gas disk forms. In the open field line region the gas escapes into the interstellar medium.

Angular momentum transport revisited in Taylor-Couette experiments

Observations of weak differential rotation in red giant stars imply that the internal angular momentum transport in these objects is much more efficient than expected. Some MHD instabilities can effectively contribute to transporting angular momentum, thus helping to explain these findings. The azimuthal magneto-rotational instability (AMRI), in particular, has been extensively studied through numerical simulations in a cylindrical setup,



Fig. 3: Das AMRI-Experiment. The AMRI experiment.



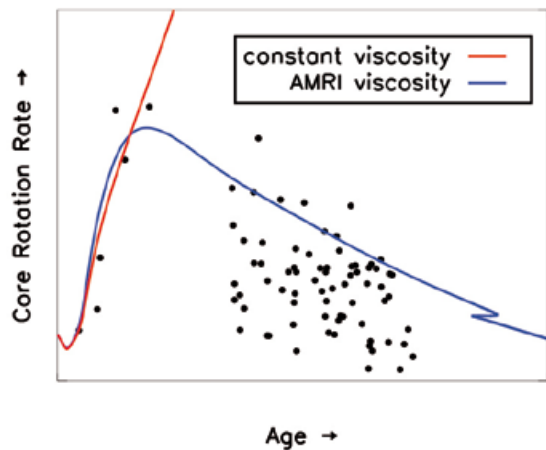


Fig. 4: Vergleich der Rotation des Kerns aus Sternentwicklungsmodellen mit Beobachtungen (schwarze Punkte). Comparison of the core rotation in stellar evolution models with observations (black dots).

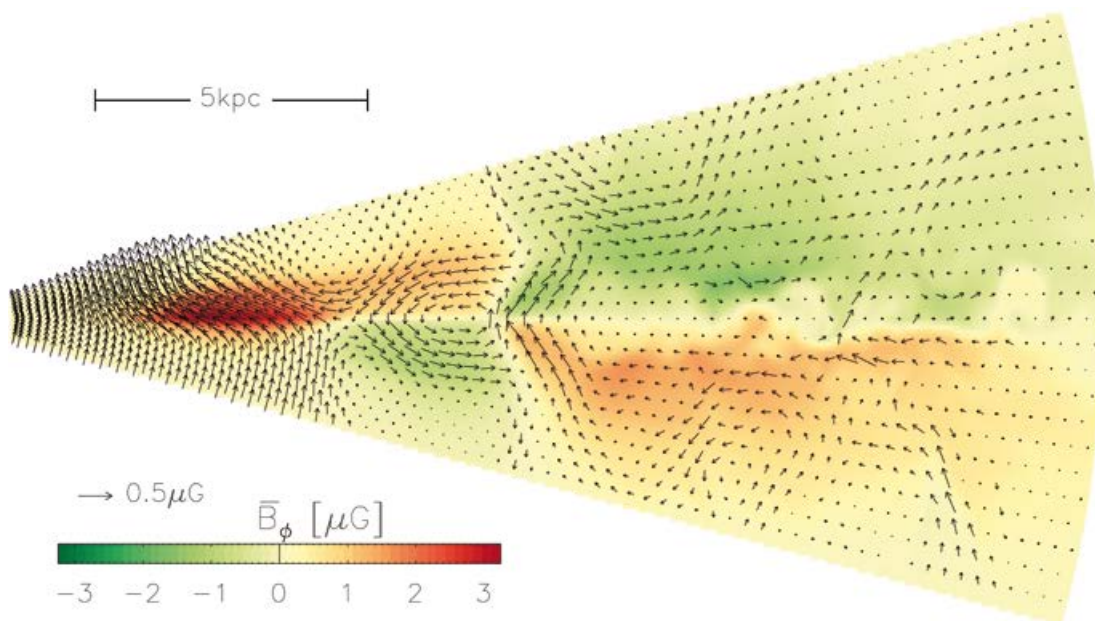


Fig. 5: Magnetfeld in der aufgeweiteten Scheibe der Milchstraße simuliert mit NIRVANA. Magnetic field in the flaring disk of the Milky Way simulated with NIRVANA.

originally developed to predict solutions for liquid metal experiments performed in collaboration with the Helmholtz Zentrum Dresden-Rossendorf. These experiments (Fig. 3) have proved the existence of AMRI.

A dynamical scaling of the turbulent viscosity due to AMRI has been established. The AMRI turbulent viscosity is found to depend strongly on the differential rotation, leading to a time-dependent efficiency of the angular momentum transport as the star ages and differential rotation gradually vanishes. The implementation of this process in a stellar evolution code results in a remarkable agreement with observations. (Fig. 4)

A dynamo for the Milky Way

Polarised synchrotron emission shows radio signatures of magnetic structures in the Milky Way and external galaxies. The origin of these magnetic fields can also be explained by a dynamo mechanism. Extensive numerical computations of the turbulent interstellar medium could directly simulate the long suspected dynamo. The turbulence properties of the interstellar medium relevant for the dynamo were determined. A global dynamical model of the magnetic field in the Milky Way was computed. In the inner part up to 10 kpc the turbulent dynamo dominates. With outwards decreasing star formation rate the magneto-rotational instability determines the magnetic field configuration.

Ausgewählte Publikationen

Selected publications

Arlt, R., Weiss, N. (2014): **Solar Activity in the Past and the Chaotic Behaviour of the Dynamo.** Space Science Reviews 186, 525.

Bendre, A., Gressel, O., Elstner, D. (2015): **Dynamo saturation in direct simulations of the multi-phase turbulent interstellar medium.** Astronomische Nachrichten 336, 991.

Bonanno, A., Fröhlich, H., Karoff, C., Lund, M.N., Corsaro, E., Frasca, A. (2014): **Magnetic activity, differential rotation, and dynamo action in the pulsating F9IV star KIC 5955122.** Astronomy & Astrophysics 469, A113.

Elstner, D., Beck, R., Gressel, O. (2014): **Do magnetic fields influence gas rotation in galaxies?** Astronomy & Astrophysics 568, A104.

Järvinen, S. P., Arlt, R., Hackman, T., Marsden, S. C., Küker, M., Ilyin, I. V., Berdyugina, S. V., Strassmeier, K. G., Waite, I. A. (2015): **Doppler images and the underlying dynamo. The case of AF Leporis.** Astronomy & Astrophysics 574, A25.

Lanzafame, A. C., Spada, F. (2015): **Rotational evolution of slow-rotator sequence stars.** Astronomy & Astrophysics 584, A30.

Rüdiger, G., Gellert, M., Schultz, M., Hollerbach, R., Stefani, F. (2014): **Astrophysical and experimental implications from the magnetorotational instability of toroidal fields.** MNRAS 438, 271.

Rüdiger, G., Gellert, M., Spada, F., Tereshin, I. (2015): **The angular momentum transport by unstable toroidal magnetic fields.** Astronomy & Astrophysics 573, A80.

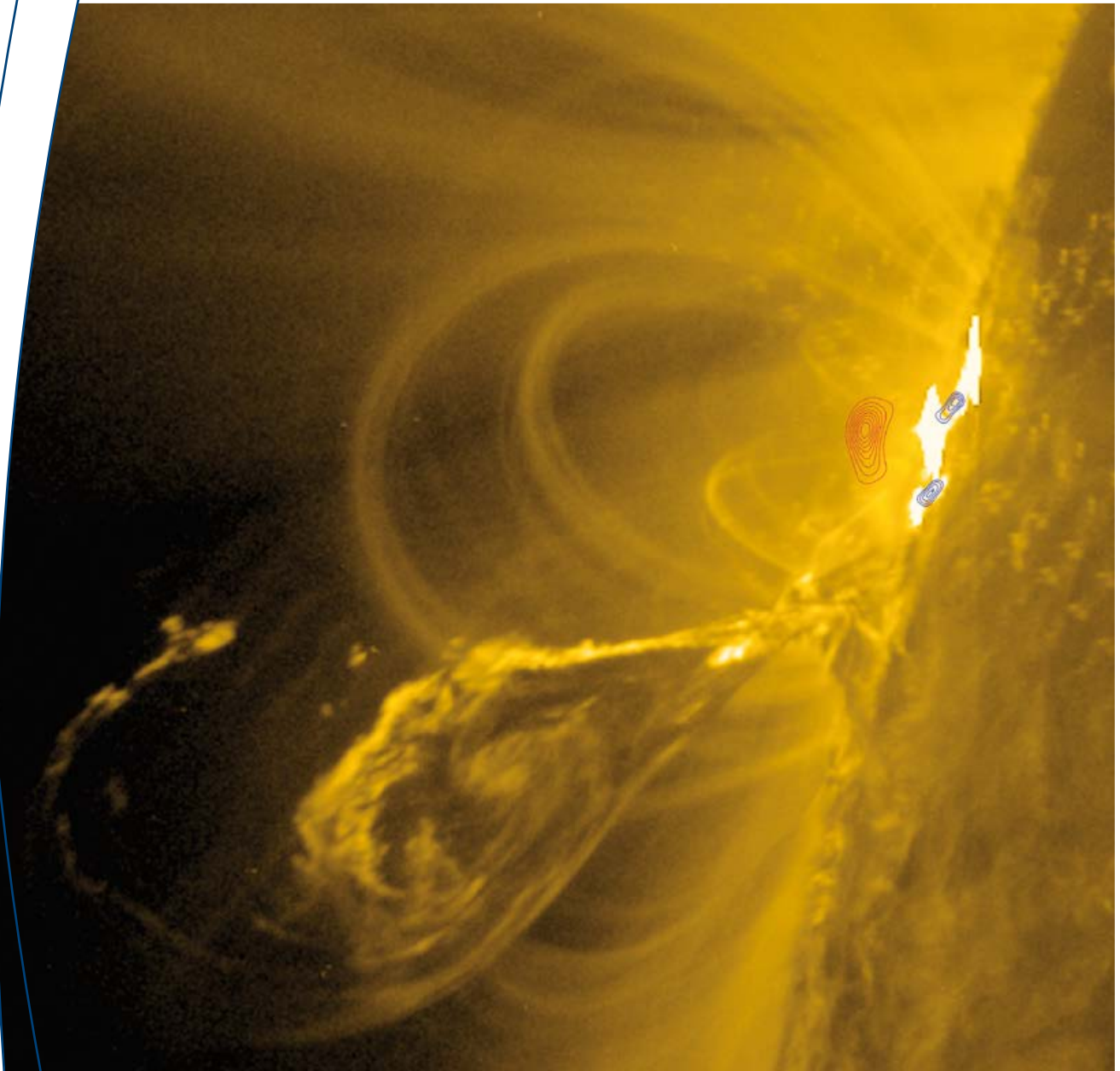
Seilmayer, M., Galindo, V., Gerbeth, G., Gundrum, T., Stefani, F., Gellert, M., Rüdiger, G., Schultz, M., Hollerbach, R. (2014): **Experimental Evidence for Nonaxisymmetric Magnetorotational Instability in a Rotating Liquid Metal Exposed to an Azimuthal Magnetic Field.** Phys. Rev. Letters 113, id.024505.

Stasyszyn, F., Elstner, D. (2015): **A vector potential implementation for smoothed particle magnetohydrodynamics.** JCP 282, 148.



Front row: Federico Spada, Yori Fournier, Marcus Gellert, Manfred Küker
Back row: Senthamizh Pavaï Valliappan, Phillipp Gast, Detlef Elstner, Rainer Arlt, Oliver Gressel, Udo Ziegler





Extrem ultraviolette Aufnahme (aufgenommen mit dem AIA-Instrument an Bord des Solar Dynamics Observatory) einer Sonneneruption am östlichen Rand der Sonne. Die überlagerten Konturen zeigen die thermischen (rot) und nicht-thermischen (blau) Röntgenstrahlungsquellen wie sie mit RHESSI beobachtet wurden. Extreme ultraviolet image (obtained with the AIA instrument aboard the Solar Dynamics Observatory) of a solar flare at the east limb of the Sun. The superimposed contours show the thermal (red) and nonthermal (blue) X-ray sources as observed by the RHESSI spacecraft. (NASA, AIP)

Physik der Sonne

Physics of the Sun

Die Sonne ist das Zentralgestirn unseres Planetensystems. Wegen ihrer Nähe zur Erde kann die Sonne so umfassend wie kein anderer Stern mit großer räumlicher und zeitlicher Auflösung beobachtet werden. Die Sonne ist von großem Interesse für die Astrophysik, da man mit ihr die Prozesse in einem Stern am besten studieren kann. So können unsere Erkenntnisse über die Sonne auf andere Sterne übertragen werden. Das wird als „solar-stellare Beziehung“ bezeichnet. Damit ergibt sich auf natürliche Weise eine enge Beziehung zwischen den Abteilungen „Physik der Sonne“, „Magnetohydrodynamik und Turbulenz“ und „Sternphysik und Sternaktivität“ am AIP.

Die Sonnenaktivität ist durch ihr Magnetfeld bestimmt. Das Magnetfeld der Sonne durchdringt alle Schichten der Sonne und verbindet sie mit dem interplanetaren Raum und somit auch mit unserer Erde. Das zeigt sich eindrucksvoll in den Nordlichtern. In der Sonnenatmosphäre ist das Magnetfeld stark strukturiert – von großen bis zu kleinen, von zeitlichen bis zu räumlichen Skalen. Dies führt zur Entstehung der wohlbekannten Sonnenflecken, Eruptionen, Strahlungsausbrüche und Sonnenstürme sowie der Erzeugung von hochenergetischen Teilchen, der solaren kosmischen Strahlung. Die Sonnenatmosphäre stellt ein gigantisches Plasmalaboratorium dar, in dem Bedingungen herrschen, die auf der Erde nicht hergestellt werden können. So ist das Studium der Prozesse in der Sonnenatmosphäre nicht nur für die Sonnenphysik im Speziellen, sondern auch für die Astro- und Plasmaphysik im Allgemeinen von großem Interesse.

LOFAR – GREGOR

In der letzten Dekade hat sich die Abteilung „Physik der Sonne“ des AIP in Kooperation mit anderen in- und ausländischen Instituten mit dem optischen Sonnenteleskop GREGOR und dem Radiointerferometer LOFAR (LOW Frequency ARray) eine neue Beobachtungsbasis geschaffen. Damit können die Prozesse in der Sonnenatmosphäre mit sehr viel besserer räumlicher, zeitlicher und spektraler Auflösung beobachtet werden. Im Berichtszeitraum 2014/15 wurde mit dem wissenschaftlichen Betrieb beider Instrumente begonnen, erste Ergebnisse liegen bereits vor. In der

Team 2014/2015:

James Anderson, Horst Balthasar, Felicitas Böhm, Norman Brackmann, Frank Breitling, Malte Bröse, Carsten Denker, Andrea Diercke, Sergio Javier González Manrique, Christoph Kuckein, Philipp Kummerow, Doris Lehmann, Gottfried Mann (head), Linh Le Phuong, Adriane Liermann, Rohan Eugene Louis, Hakan Önel, Jürgen Rendtel, Meetu Verma, Christian Vocks, Alexander Warmuth

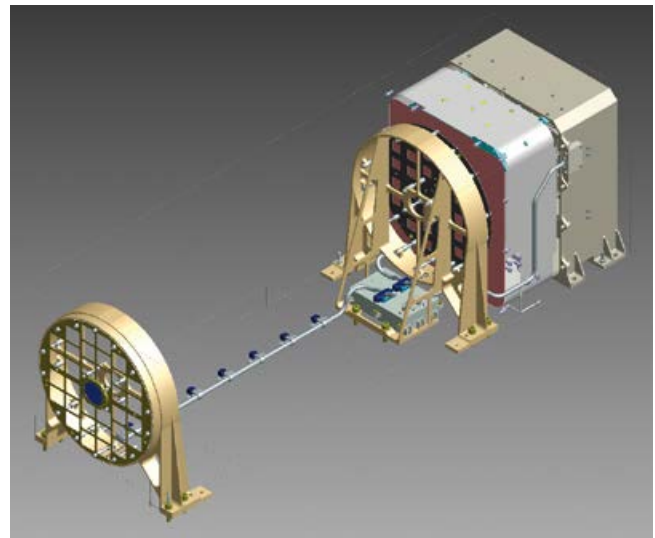


Fig. 1: STIX-Imager und Detektorelektronik-Modul (FHNW, AIP)
STIX Imager and Detector Electronics Module (FHNW, AIP)

Abteilung „Physik der Sonne“ spielt die befruchtende Verbindung zwischen Beobachtung und Theorie, sowohl in der täglichen Arbeit als auch in der Definition von zukünftigen Forschungsstrategien eine tragende Rolle.

GFPI

Schnelle Prozesse auf der Sonne erfordern Instrumente, die Daten in sehr kurzer Zeit – innerhalb weniger Minuten und manchmal nur Sekunden – aufnehmen, sodass sich die Strukturen auf der Sonne noch nicht geändert haben. Das AIP betreibt das GREGOR Fabry-Pérot Interferometer (GFPI), welches als bildgebendes Spektropolarimeter für diese Aufgabe optimal geeignet ist. Durch die Kombination zweier durchstimmbarer Etalons wird eine spektrale Auflösung von $R \approx 250.000$ erreicht. Das Abtasten einer Spektrallinie dauert je nach Anwendung etwas weniger (Spektroskopie) oder etwas mehr (Polarimetrie) als eine Minute. Zwei synchronisierte Kameras liefern ein Bildfeld von $50'' \times 38''$ für Filtergramme und Breitbandaufnahmen, auf welche dann verschiedene Bildrekonstruktionsverfahren angewendet werden können. Kleine Sonnenflecken und Teile großer aktiver Gebiete können so beobachtet werden. Zusätzliche Kameras liefern Übersichtsaufnahmen mit einem größeren Bildfeld. Beobachtungen im Fraunhoferschen G-Band und in den starken chromosphärischen Absorptionslinien Kalzium H und K liefern so Informationen über kleinskalige Magnetfelder am Übergang von Photosphäre zu Chromosphäre. Die räumlich hochaufgelösten Beobachtungen des GREGOR-Teleskops entfalten ihr volles Potential allerdings erst im Zusammenspiel mit anderen Instrumenten. Insbesondere weltraumgebundene Instrumente wie die Japanische Hinode Mission, das Solar Dynamics Observatory (SDO) und seit neuestem der Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS) sind hier zu nennen, wobei sich die Abteilung „Physik der Sonne“ eine große Expertise in der entsprechenden Datenanalyse angeeignet hat.



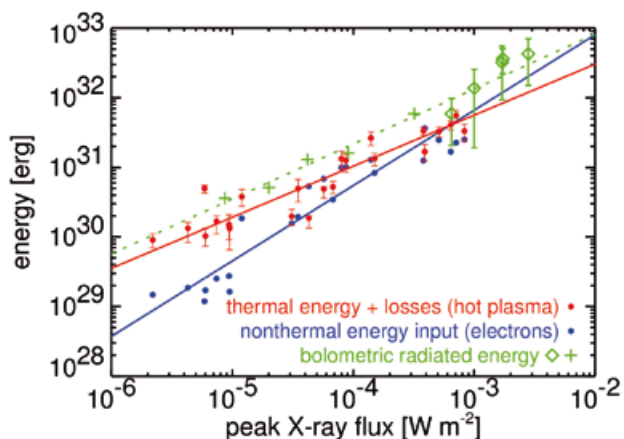
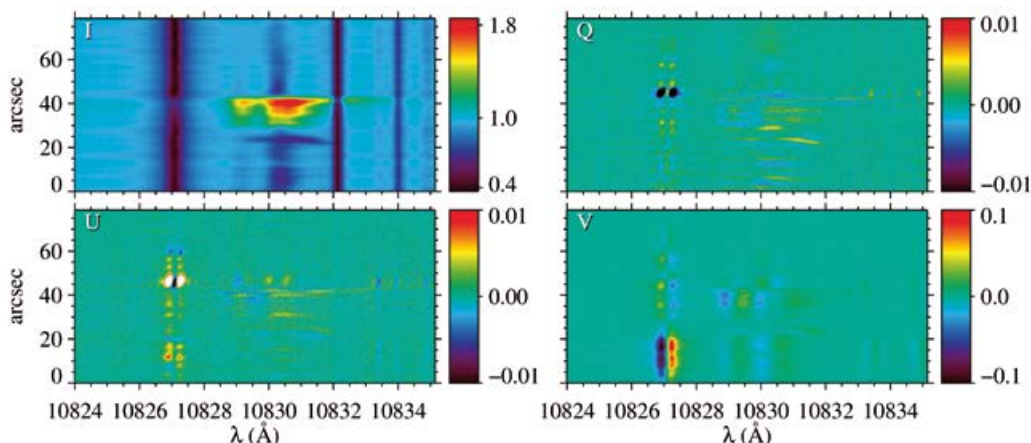


Fig. 2: RHESSI: Energiebedarf des Röntgenstrahlung emittierenden Plasmas (rot) und Energiebeitrag durch beschleunigte Elektronen (blau) in den Sonneneruptionen als Funktion des Peak-Röntgenstrahlungsflusses. Zum Vergleich die abgestrahlte Gesamtenergie (grün). RHESSI: Energy content of the X-ray emitting plasma (red) and energy input by accelerated electrons (blue) in solar flares as a function of peak X-ray flux. For comparison, the total radiated energies (green) are also shown.

Fig. 3 (unten): Normierte Stokes-I, -Q, -V und -U Profile beobachtet mit TIP-II am Vacuum Tower Telescope (VTT). Der spektrale Bereich zeigt die Si II Linie, das He I Triplett und zwei tellurische Linien während einer M3.2 Sonneneruption in der aktiven Region NOAA 11748 am 17. Mai 2013. Normalized Stokes I, Q, V, and U profiles observed with TIP-II at the Vacuum Tower Telescope (VTT). The spectral region shows the Si II line, the He I triplet, and two telluric lines during an M3.2 flare in active region NOAA 11748 on 2013 May 17.



RHESSI

Neben GREGOR und LOFAR beteiligt sich das AIP mit finanzieller Unterstützung des DLR an dem Betrieb der Weltraummission RHESSI (Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager) der NASA und der wissenschaftlichen Auswertung der Daten. RHESSI ist derzeit das einzige zur Verfügung stehende Instrument, mit dem man die harte Röntgenstrahlung der Sonne beobachten kann, welche die quantitative Bestimmung der Energiefreisetzungprozesse in solaren Strahlungsausbrüchen erlaubt. Mittels Röntgenbildern und -spektren konnten wir zeigen, dass die heiße Plasmakomponente in Flares sowohl durch direkte Heizung in der Korona als auch durch Evaporation von chromosphärischem Material durch beschleunigte Elektronen gebildet wird. Das heiße Plasma erfährt starke Energieverluste durch Wärmeleitung. Nur wenn diese Verluste berücksichtigt werden, steht die mittels Röntgendaten bestimmte Energetik von

Flares mit dem gesamten (bolometrischen) Energieverlust in Einklang. In den hier beschriebenen Phänomenen wird eindrucksvoll demonstriert, wie das Magnetfeld alle Prozesse der Sonnenaktivität auf den unterschiedlichsten Skalen bestimmt.

Solar Orbiter

Auf Grund der Expertise, die die Abteilung „Physik der Sonne“ mit RHESSI auf dem Gebiet der Hochenergie-Sonnenphysik erworben hat, beteiligt sich das AIP mit finanzieller Unterstützung des DLR an der ESA-Weltraummission „Solar Orbiter“ mit Design, Fertigung, Integration und Test von Hardware-Komponenten für die Instrumente STIX (Spectrometer / Telescope for Imaging X-rays) und EPD (Energetic Particle Detector). „Solar Orbiter“ ist die wichtigste Sonnen-Weltraummission der ESA der nächsten Dekade. Der Start ist für Oktober 2018 geplant. Die Sonde wird sich auf eine Distanz von 0,28 AE der Sonne nähern. Die wissenschaftliche Phase wird

von 2021 bis 2028 dauern. Mit der Beteiligung an „Solar Orbiter“ sichert sich das AIP die Grundlage für eine erfolgreiche Fortsetzung der Forschungen auf dem Gebiet der Hochenergie-Sonnenphysik für die nächsten zehn bis fünfzehn Jahre.

Resümee

Die Erforschung der Sonnenaktivität liefert wichtige Ergebnisse für die gesamte Astro- und Plasmaphysik. Darüber hinaus ist das Studium der Sonne für die gesamte Gesellschaft wichtig, da durch ihre Aktivität das Klima der Erde und unsere technische Zivilisation beeinflusst werden. Dies wird üblicherweise als „Weltraumwetter“ bezeichnet.

The Sun is the centre of our planetary system. Because of its proximity to Earth, the Sun can be observed with a high spatial and temporal resolution and completeness that it is not possible for other stars. Hence, the Sun is of great interest in astrophysics, since one can study processes of a star in the best way with the Sun. Transferring our knowledge of the Sun to other stars is referred to as “solar-stellar connection”. That leads to a close collaboration of the research section “Physics of the Sun” with the sections “Magnetohydrodynamics and Turbulence” and “Stellar Physics and Stellar Activity” at AIP.

The Sun's activity is strongly governed by its magnetic field. The magnetic field of the Sun penetrates all layers of the Sun and connects the Sun with the interplanetary space and, hence, with the Earth, too. That appears impressively as aurora borealis. In the solar atmosphere, the magnetic field is strongly structured from large to small spatial and temporal scales. Signatures are the well-known sunspots, eruptions, and flares and the generation of highly energetic particles (solar cosmic rays). The Sun's atmosphere is a huge plasma laboratory with conditions, which can never be established at terrestrial laboratories. Thus, studying processes in the solar atmosphere is not only interesting for solar physics, but also for astro and plasma physics in general.

LOFAR – GREGOR

In the last decade, the research section “Physics of the Sun” established, in collaboration with other institutes, a new observational base, namely the optical solar telescope GREGOR and the radio interferometer LOFAR (LOW Frequency ARray). With these new instruments, processes in the solar atmosphere can be observed with an optimised spatial, temporal, and spectral resolution. In the period 2014/15, the operational phase of both instruments started. First scientific results have already been obtained.

GFPI

Fast processes on the Sun require instruments capable of acquiring data in a time span comparable to the evolution time-scale of solar features, which is on the order of minutes and sometimes even on the order of seconds. The GREGOR Fabry-Pérot Interferometer (GFPI) operated by AIP is an imaging spectrometer, which is ideally suited for this type of application. The instrument comprises two tunable etalons in collimated mounting, which provide a spectral resolution of $R \approx 250,000$. Scanning a spectral line takes a few tens of seconds to a few minutes depending on the sampling, the number of images acquired per wavelength position, and the observing mode (spectroscopy vs. polarimetry). Two cameras with a field-of-view of $50'' \times 38''$ acquire images strictly simultaneously in the narrow- and broad-band channels to facilitate post-facto image restoration. Small sunspots and substantial portions of active regions can thus be observed. Additional high-cadence imagers provide important context information for the GFPI observations. For example, small-scale magnetic features are more easily detected in particular wavelength regions, e.g., the Fraunhofer G-band. Furthermore, images in the core of the strong absorption lines Calcium H and K offer chromospheric diagnostics. High-resolution observations reveal their full potential only in multi-wavelength, multi-instrument observations. Therefore, substantial expertise was acquired over the years in analyzing data from space instruments such as the Japanese Hinode mission, the Solar Dynamics Observatory (SDO), and more recently the Interface Region Imaging Spectrograph (IRIS).

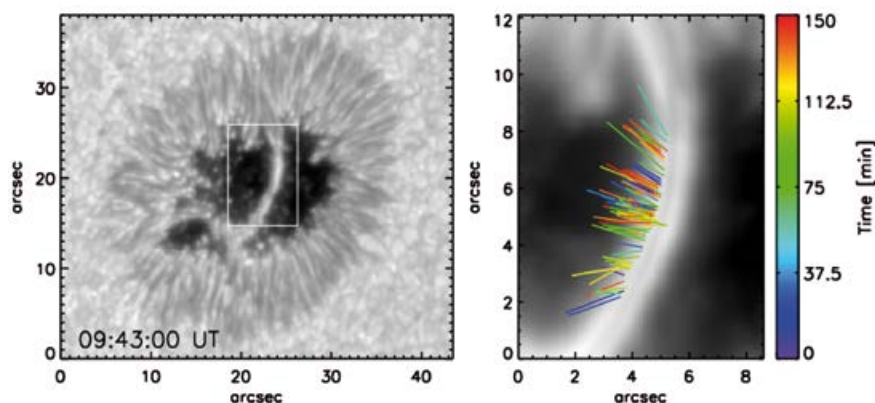


Fig. 4: G-Band-Aufnahme des in Rotationsrichtung führenden Sonnenflecks in der aktiven Region NOAA 11271 (links). Länge, Orientierung und farbcodierte Zeit während der Detektion der chromosphärischen Jets (rechts), überlagert mit einer zeitgemittelten Ca II H-Aufnahme. G-band image of the leading sunspot in active region NOAA 11271 (left). Length, orientation, and color-coded time when chromospheric jets were detected (right) are superposed on a time-averaged Ca II H image. (Credit: Hinode)



RHESSI

Furthermore, AIP participates in NASA's space mission RHESSI (Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager) with financial support by the German space agency DLR. It is involved in the operation and data analysis of this mission. Presently, RHESSI is the only instrument, which allows measuring the hard X-ray radiation of the Sun, which yields a quantitative characterization of the energy release processes in solar flares. Using X-ray images and spectra, we were able to show that the hot plasma in flares is generated both by direct heating in the corona as well as by non-thermal electron beams that evaporate plasma from the chromosphere. We also found that the hot plasma suffers strong conductive losses. The energetics of solar flare as derived from X-rays is only consistent with the total radiated energy when these losses are properly accounted for. The described phenomena show impressively how the magnetic field determines the solar activity on the different scales.

Solar Orbiter

Due to the expertise in high-energy solar physics gathered by AIP's solar scientists while participating in RHESSI, AIP contributes to ESA's space mission "Solar Orbiter". With financial support of DLR, AIP designs, produces, and tests several hardware components for the Spectrometer/Telescope for Imaging X-rays (STIX) and the Energetic Particle Detector (EPD). "Solar Orbiter" is the most important ESA space mission for solar physics of the next decade. The launch is scheduled for October 2018. The spacecraft will approach the Sun up to distance of 0.28 AU. The scientific phase of this mission is scheduled for 2021 – 2028. With its participation in the "Solar Orbiter" mission, AIP has laid the foundation to a successful continuation of the research in high-energy solar physics for the next 10 – 15 years.

Resume

The study of Sun's activity is not only important for astro- and plasma physics but also for mankind. The solar activity influences the Earth's climate as well as our technical devices and infrastructure commonly referred to "Space Weather". That makes solar physics relevant to our society at large.

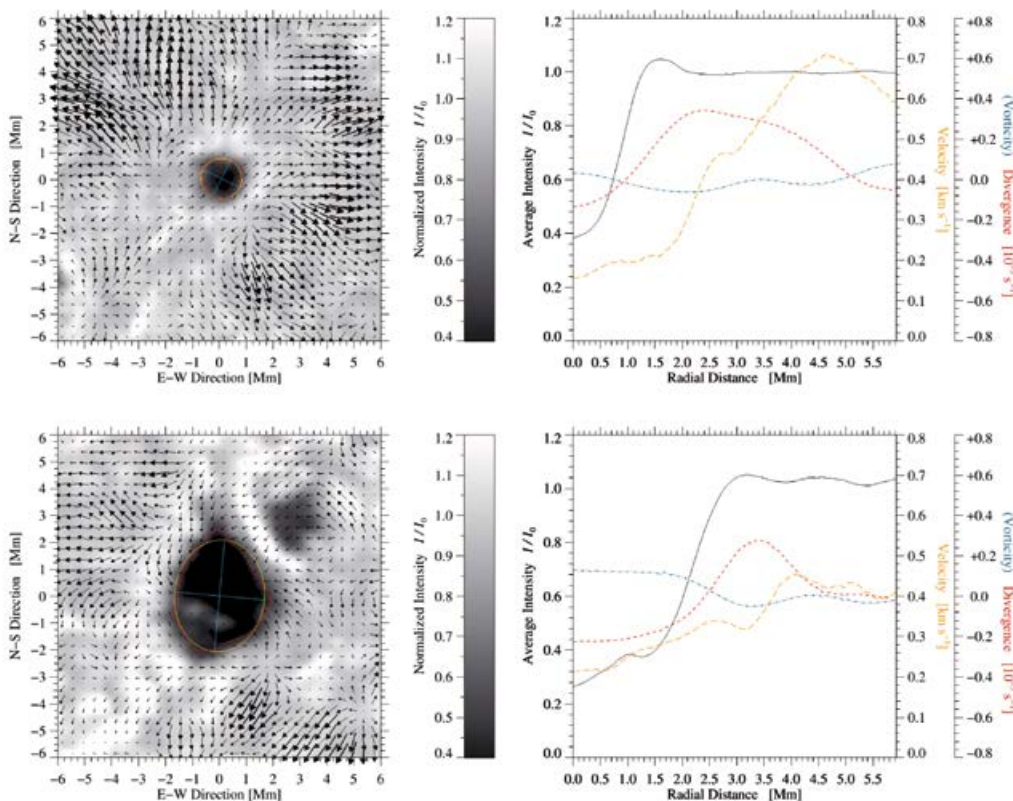


Fig. 5: Horizontale Eigenbewegungen überlagert mit einer zeitgemittelten G-Band-Aufnahme (links) einer isolierten Pore, beobachtet am 3. Februar 2007 und einer Pore nach dem Zerfall eines Sonnenflecks (unten), beobachtet am 7. Dezember 2006. Azimuthal gemittelte Profile (rechts) für zeitgemittelte G-Band-Intensität, horizontale Strömungsgeschwindigkeit, Divergenz (gestrichelt) und Wirbelstärke. Horizontal proper motions superposed on time-averaged G-band images (left) of an isolated pore (top) observed on 2007 February 3 and a residual pore (bottom) observed on 2006 December 7. Azimuthally averaged profiles (right) are presented for time-averaged G-band intensity, horizontal flow velocity, divergence (dashed), and vorticity. (Credits: Hinode)

Ausgewählte Publikationen

Selected publications

Balthasar, H., Beck, C., Louis, R.E., Verma, M., Denker, C. (2014): **Near-infrared spectropolarimetry of a δ -spot**, *Astronomy & Astrophysics* 562, 6.

Breitling, F., Mann, G., Vocks, C., Steinmetz, M., Strassmeier, K.G. (2015): **The LOFAR solar imaging pipeline and the LOFAR solar data center**, *Astronomy and Computing* 13, 99.

Diercke, A., Arlt, R., Denker, C. (2015): **Digitization of sunspot drawings by Spörer made in 1861 – 1894**, *Astronomische Nachrichten* 336, 53.

Kuckein, C., Collados, M., Manso Sainz, R. (2015): **Magnetic and dynamical photospheric disturbances observed during an M3.2 solar flare**, *The Astrophysical Journal* 799, 25.

Louis, R.E., Beck, C., Ichimoto, K. (2014): **Small-scale chromospheric jets above a sunspot light bridge**, *Astronomy & Astrophysics* 567, 96.

Mann, G. (2015): **Energetic electrons generated during solar flares**, *Journal of Plasma Physics* 81(6), 475810601.

Verma, M., Denker, C. (2014): **Horizontal flow fields observed in Hinode G-band images. IV. Statistical properties of the dynamical environment around pores**, *Astronomy & Astrophysics* 563, 112.

Morosan, D.E., Gallagher, P.T., Zucca, P., ... Mann, G., ... Vocks, C., ... Anderson, J., ... Breitling, F., ... and 68 coauthors (2014): **LOFAR tied-array Imaging of type III solar radio bursts**, *Astronomy & Astrophysics* 568, A67.

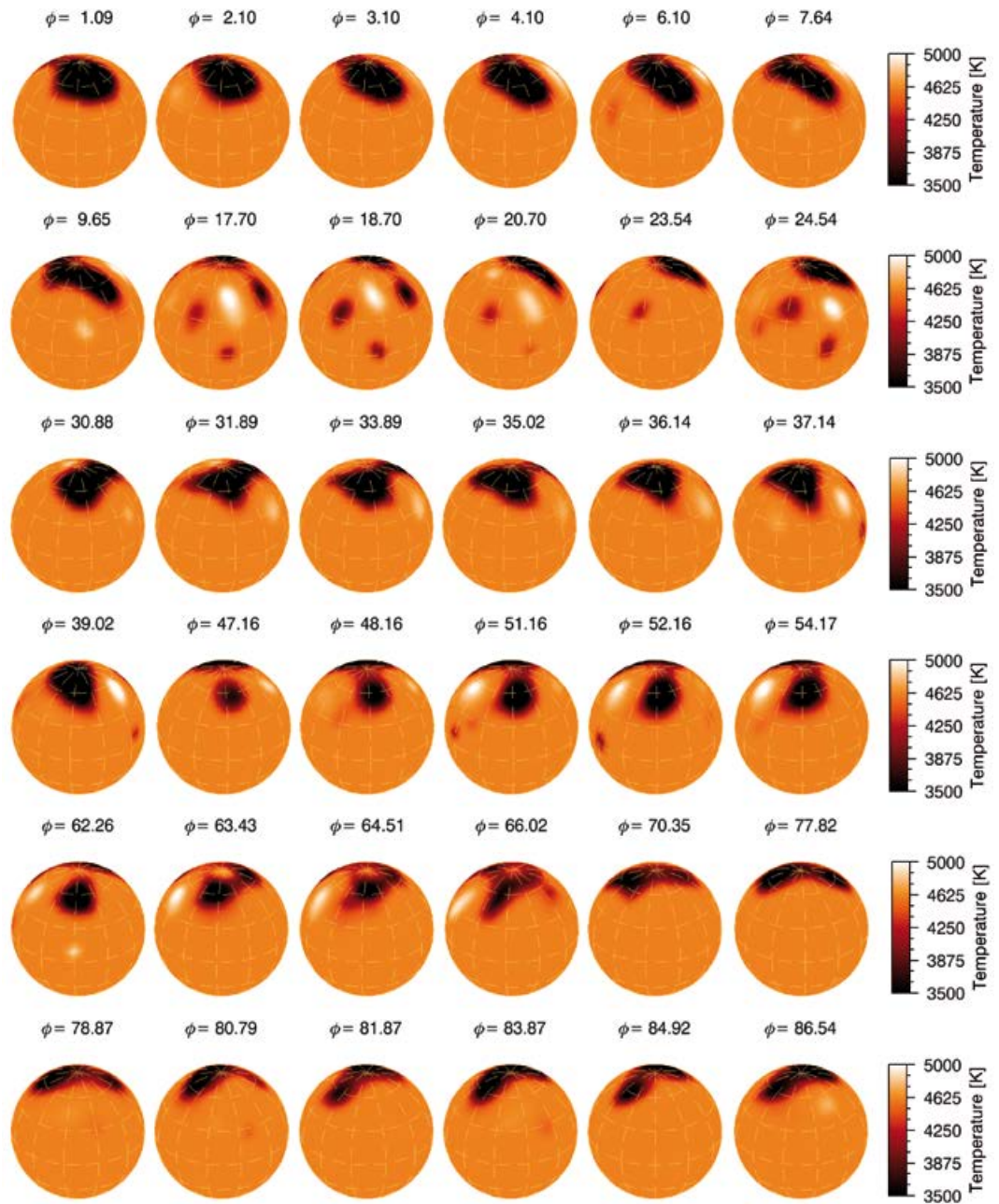
Morosan, D.E., Gallagher, P.T., Zucca, P., ... Mann, G., ... Vocks, C., ... Breitling, F., ... and 47 coauthors (2015): **LOFAR tied-array imaging and spectroscopy of solar S Bursts**, *Astronomy & Astrophysics* 580, A65.

Warmuth, A. (2015): **Large-scale globally propagating coronal waves**, *Living Reviews in Solar Physics* 12, 3.



Christoph Kuckein, Frank Breitling, Christian Vocks, Doris Lehmann, Alexander Warmuth, Gottfried Mann, Hakan Önel, Horst Balthasar, Adriane Liermann, Andrea Diercke, Sergio Javier González Manrique, Linh Le Phuong, Carsten Denker, Meetu Verma





Sonnenflecken auf dem Stern XX Tri. Zu sehen sind 36 aufeinanderfolgende Doppler-Karten als Funktion der Zeit in Einheiten der stellaren Rotation ϕ . Starspots on XX Tri. Thirty-six consecutive Doppler maps are shown as a function of time in units of stellar rotations ϕ .

Sternphysik und Sternaktivität

Stellar Physics and Stellar Activity

Primäres Ziel des Programmbereichs ist es, eine empirisch und theoretisch fundierte Basis für die Geschichte und Zukunft der Sonne und ihrer Umgebung bereitzustellen. Sonnenähnliche Sterne und deren Magnetfelder stehen dabei im Mittelpunkt der Untersuchungen. Von zentraler Bedeutung ist das Verständnis der komplexen Zusammenhänge zwischen Konvektion, Turbulenz, differentieller Rotation und magnetischer Aktivität. Letztendlich soll die Frage beantwortet werden, wie sich sonnenähnliche Sterne unter dem Einfluss von Magnetfeldern entwickeln und welche Auswirkungen stellare Aktivität auf die Habitabilität von Exoplaneten hat.

Magnetosphärische Akkretion in Herbig-Ae/Be-Sternen

Um unser Wissen über die typischen Magnetfeldstärken in Herbig-Ae- und späten Herbig-Be-Sternen zu vertiefen, wurden Messungen des longitudinalen Magnetfeldes in einigen Herbig-Sternen mit scharfen Linien vorgenommen. Eine Übersicht über alle bisher publizierten Magnetfeldmessungen bei Herbig-Sternen wurde erstellt und zeigt, dass nur sehr wenige dieser Sterne Magnetfelder stärker als 200 G besitzen. Die Hälfte der Objekte hat Magnetfelder mit Stärken von weniger als 100 G. Diese Ergebnisse stellen das bisherige Verständnis der magnetosphärischen Akkretion in Vorhauptreihensternen mit mittlerer Masse in Frage, da sie zeigen, dass die Magnetfelder in Herbig-Ae/Be-Sternen viel schwächer sind als die Magnetfelder von T-Tauri-Sternen.

Massereiche Sterne in der LMC

Wolf-Rayet (WR) Sterne sind späte Entwicklungsstadien sehr massereicher Sterne, die sich durch einen starken Sternwind auszeichnen und Energie sowie angereichertes Material in ihre Umgebung verteilen. Diese Sterne beeinflussen ihre Umgebung durch hochenergetische Strahlung. Eine Vielzahl von WR-Sternen befindet sich in unserer Nachbargalaxie der Großen Magellanschen Wolke (LMC) (Fig. 1). In einer Durchmusterung wurden optische Spektren dieser Sterne mit Sternatmosphärenmodellen verglichen, um Temperatur, chemische Zusammensetzung und Leuchtkraft zu bestimmen.

Die Sauerstoffhäufigkeit der Sonne

Sauerstoff ist nach Wasserstoff und Helium das dritthäufigste chemische Element im Universum. In den letzten Jahren wurden am AIP komplexe Computerprogramme entwickelt, die es

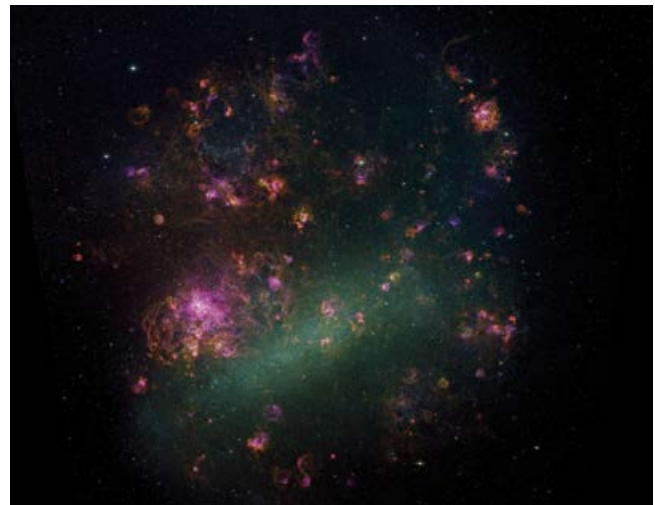


Fig. 1: Große Magellansche Wolke. Im Bild zu sehen sind die Orte der jungen und entwickelten Sterne und deren Auswirkung auf die zirkumstellare Umgebung. Large Magellanic Cloud. The image shows the location of young and evolved stars and their impact on the circumstellar environments. (Credit: Magellanic Cloud Emission-Line Survey at NOAO (C. Smith, S. Points, the MCELS Team and NOAO/AURA/NSF))

erlauben, die Entstehung von Spektrallinien unter Berücksichtigung von sogenannten non-LTE-Effekten in dreidimensionalen Sternatmosphären zu simulieren. Ausgehend von einem 3D-hydrodynamischen CO5BOLD-Modell der Sonnenatmosphäre konnte damit die Sauerstoffhäufigkeit aus den O I Triplett-Linien (bei 777 nm) neu bestimmt werden (Fig. 2). Sollte unser höherer Wert der solaren Sauerstoffhäufigkeit Bestand haben, so könnte dies ausreichen, um die Konsistenz zwischen Helioseismologie und Standard-Sonnenmodellen wiederherzustellen.

Temperaturen von K- und M-Zwergen

Aus Spektren kann die Oberflächentemperatur eines Sterns und sein Metallgehalt bestimmt werden. Für die zahlreichen massearmen Sterne ist es jedoch wichtig, diese Parameter allein aus ihren photometrischen Farben bestimmen zu können. Mit Spektren solcher Sterne aus dem Sloan Digital Sky Survey APOGEE-Projekt wurden die Oberflächentemperaturen und Metallizitäten bestimmt und eine Korrelation mit ihren Farben gefunden. Dadurch wird es einfacher möglich sein, diese Parameter der Sterne auch ohne aufwändigere Spektroskopie zu bestimmen.

Magnetfelder in Zentralsternen planetarischer Nebel

In unserem Verständnis der Entstehung planetarischer Nebel gibt es nach wie vor eine offene Frage: Wodurch ist der Formenreichtum dieser nicht-sphärischen, oftmals axialsymmetrischen Objekte bedingt? Magnetfelder in Verbindung mit der Rotation der Zentralsterne bieten eine attraktive Erklärungsmöglichkeit. Allerdings ist bislang nur wenig über die Rotationsraten und Magnetfeldstärken

Team 2014/2015:

Sydney A. Barnes, Irene Bernt, Gabriel Bihain, Katrin Böhrs, Thorsten Carroll, Manuel Flores-Soriano, Gohar Harutyunan, Swetlana Hubrig (head), Silva Järvinen, Andreas Künstler, Lisa Lehmann, Adriane Liermann, Claude T. Mack III, Matthias Mallonn, Alessandro Mott, Orkun Özdarcan, Sarah J. Schmidt, Matthias Steffen, Klaus G. Strassmeier



an der Oberfläche der Zentralsterne bekannt. Bis dato ergaben sich nur Hinweise auf das Vorhandensein schwacher Felder von der Größenordnung 100 G, sowohl in dem Zentralstern des jungen elliptischen Nebels IC 418 als auch in dem Wolf-Rayet Zentralstern des bipolaren Nebels Hen2-113 (Fig. 3).

Sternfleckenentwicklung auf dem Roten Riesenstern XX Triangulum

An der Zerfallsrate von Sternflecken besteht großes Interesse für magnetohydrodynamische Simulationen, da sie direkt mit der magnetischen Diffusivität verknüpft ist, welche selbst eine entscheidende Größe für die Länge eines magnetischen Aktivitätszyklus darstellt. Mit unserem 1,2-m robotischen STELLA Teleskop auf Teneriffa wurden kontinuierliche, hochaufgelöste Spektren über einen Zeitraum von sechs Jahren aufgenommen, mit denen 36 unabhängige Doppler-Karten (siehe Eingangsgrafik) mittels des am AIP entwickelten Inversionscodes iMap erstellt werden konnten. Aus der ermittelten Zerfallsrate wurde die turbulente Diffusivität abgeleitet und ein magnetischer Aktivitätszyklus von ungefähr 26 Jahren vorhergesagt.

STELLA Open Cluster Survey (SOCS): M48 beobachtet

Diese Untersuchung des offenen Sternhaufens M48 basiert auf einer Beobachtungskampagne mit der WiFSIP 4k Kamera am robotischen STELLA-I 1,2 m Teleskop. Lichtkurven mit einer Genauigkeit von 3 mmag (0,3 %) für einen $V \approx 14$ mag Stern konnten aufgenommen und nach Rotationsperioden untersucht werden. Die dabei erlangte Präzision über einen Zeitraum von zwei Monaten ist ein Zeichen für die exzellente Qualität des Teleskops. In Summe ergaben sich 62 Sterne mit Rotationsperioden, die exakt die Hauptreihe des Sternhaufens (Fig. 4)

kennzeichnen. Damit ist es gelungen, das gyrochronologische Alter auf 450 ± 50 Mio. Jahre zu bestimmen.

Spektroskopie von extrasolaren Planeten

Transitereignisse von extrasolaren Planeten ermöglichen es, ihre Atmosphären zu untersuchen. Mehrere extrasolare Gasriesen und eine Supererde wurden mit dem LBT, dem GTC und dem WHT beobachtet. In den Spektren dieser Planeten konnten Absorptionslinien, welche durch Modellrechnungen für wolkenfreie Atmosphären vorhergesagt wurden, ausgeschlossen werden. Stattdessen deuten die Messergebnisse auf Wolken oder Nebel, bestehend aus Aerosolen, hin (Fig. 5 zeigt HAT-P-32b). Die Resultate zeigen, dass eine realistische Modellierung von Wolkenkondensation sehr wichtig für das Verständnis der Physik der Planetenatmosphären ist. Weiterhin helfen die Resultate bei der zukünftigen Suche nach spektralen Fingerabdrücken von außerirdischem Leben.

Hinweise auf Supergranulation auf einem lithiumreichen Roten Riesen

HD 233517 ist einer der lithiumreichsten Sterne am Himmel. Die Inversion der Linienprofile einer STELLA-Zeitserie ermöglichte die Erstellung von sechs Doppler-Karten mit iMap. Die Oberflächenkarten zeigen koexistierende warme und kühle Flecken mit nur ± 65 K (Fig. 6). Diese „Flecken“ sind aber nicht magnetischen Ursprungs, sondern wurden als Regionen verstärkter bzw. unterdrückter Konvektion interpretiert. Dies wäre somit die erste Detektion von Supergranulation auf einem anderen Stern als unserer Sonne. Eine Fehleranalyse verifiziert einen Fehler von nur ± 4 K pro Oberflächenpixel, was die Karten zu den wohl präzisesten Karten macht, die es bis dato gibt.

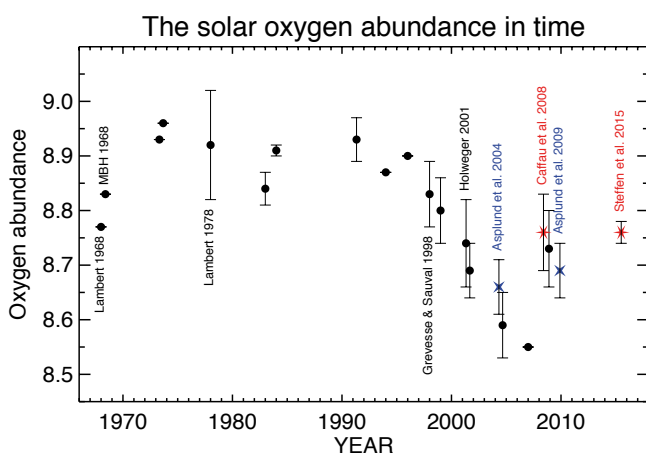


Fig. 2: Kompilation spektroskopischer Bestimmungen der solaren Sauerstoffhäufigkeit aus der Literatur. Dargestellt sind die wichtigsten Meilensteine seit 1968. Compilation of spectroscopic determinations of the solar oxygen abundance from the literature, showing the most important milestones since 1968. (Steffen et al. 2015, A&A 583, A57)

The main objective is to provide an empirical basis for the history and the future of the Sun and its environment. Solar-type stars and their magnetic fields are the most important ingredients. Understanding the complex interplay of convection, turbulence, differential rotation and magnetic activity is fundamental. Finally the question shall be answered, how solar-type stars develop under the influence of magnetic fields and which effects stellar activity causes upon the habitability of exoplanets.

Magnetospheric accretion in Herbig Ae/Be stars

To gain better knowledge of typical magnetic field strengths in Herbig Ae and late Herbig Be stars, longitudinal magnetic field measurements in a number of sharp-lined Herbig stars were carried out. Further, all published magnetic field measurements were compiled, revealing that only very few stars have magnetic fields stronger than 200 G, and half of the sample possesses fields of about 100 G and less. These results challenge current understanding of the magnetospheric accretion in intermediate-mass pre-main sequence stars, as they indicate that the magnetic fields in Herbig Ae/Be stars are by far weaker than those measured in T Tauri stars.

High-mass stars in the LMC

Wolf-Rayet (WR) stars are the evolved stages of high-mass stars. They have strong stellar winds putting momentum and chemically

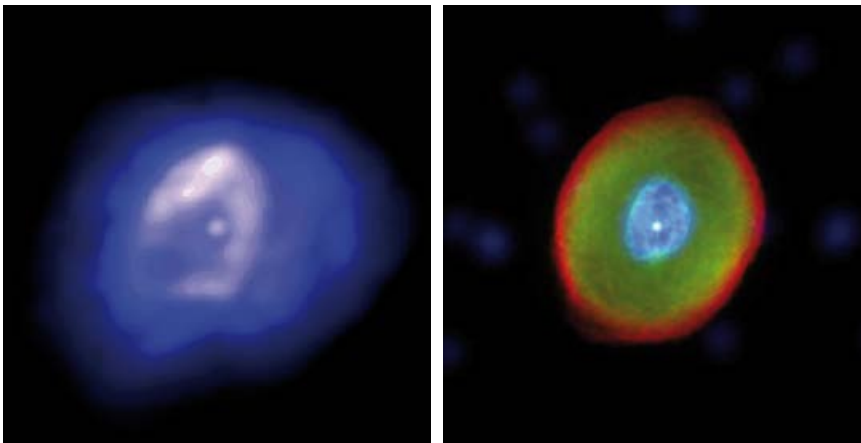


Fig. 3: Planetarischer Nebel. Links: HST+VLT/NACO L+M zusammengesetztes Bild des bipolaren Planetarischen Nebels Hen 2-113. Rechts: Zusammengesetztes HST-/Chandra-Bild des Planetarischen Nebels. IC 418. Planetary Nebulae. Left: HST+VLT/NACO L+M composite image of the bipolar Planetary Nebula Hen 2-113 (Lagadec et al. 2006, A&A 448, 203). Right: HST + Chandra composite of Planetary Nebulae IC 418 (Ruiz et al. 2013, ApJ, 767, 35).

processed material back into the ambient surroundings, which they shape additionally with their strong radiation fields. A great laboratory for the study of WR stars is the neighboring galaxy Large Magellanic Cloud (LMC) (see Fig. 1). In a survey, optical spectra of these stars were taken and analyzed with stellar atmosphere models to derive temperature, chemical composition, and luminosity.

The photospheric solar oxygen abundance

Oxygen is the most abundant element in the Universe after hydrogen and helium. Over the past years, complex computer codes were developed at AIP, designed to solve the so called non-LTE line formation problem in a three-dimensional stellar atmosphere. Combined with a 3D hydrodynamical model of the solar atmosphere computed with the CO5BOLD code, this tool has been utilized for the first full 3D non-LTE analysis of the O I triplet lines at 777 nm (Fig. 2). If confirmed, the higher oxygen abundance inferred by us, combined with the recent upward revision of iron opacities for solar interior conditions, may be sufficient to fully reconcile the photospheric abundances with helioseismology and solar interior physics.

Temperatures of K- and M-dwarfs

We can use the spectroscopy of stars to determine their surface temperatures and metal content, but for the most numerous, smallest stars, it is important to be able to measure those properties also by using just their colours. Using spectroscopy of small stars from the Sloan Digital Sky Survey APOGEE project, we measured their surface temperatures and metal content, and found they were correlated with the colours of those stars. This will allow us to determine the properties of these stars without taking detailed spectroscopy.

Magnetic fields in central stars of planetary nebulae

One of the major open questions regarding the formation of planetary nebulae (PNe) concerns the origin of their non-spherical, often axisymmetric shape. Stellar rotation in combination with magnetic fields is an attractive scenario, but very little is known

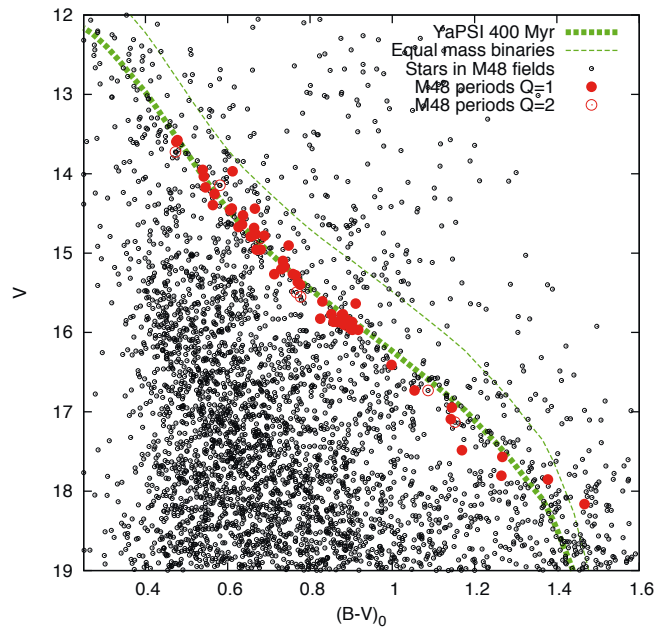


Fig. 4: Farben-Helligkeits-Diagramm für den offenen Sternhaufen M 48 mit den 62 hervorgehobenen periodischen Haufen-Rotationsvariablen. Color-magnitude diagram for the open cluster M 48, with the 62 periodic cluster rotational variables highlighted. These define the cluster's main sequence against the background field stars. (Barnes et al. 2013, 2015, A&A, 583, 73)



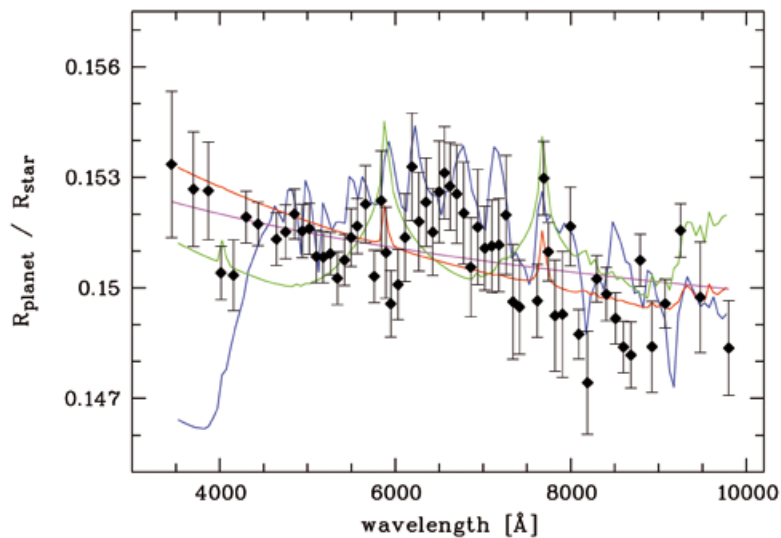


Fig. 5: Transmissionsspektrum in Einheiten des planetaren Radius des extrasolaren Planeten HAT-P-32b beobachtet mit dem LBT (schwarze Rhomben mit Fehlerbalken). Überplottet sind mehrere planetare Modellatmosphären (Linien). Eine Nebelschicht, bestehend aus Aerosolen, ist die wahrscheinlichste Interpretation der Daten. Transmission spectrum in units of planet radius of the extrasolar planet HAT-P-32b observed with the LBT (black rhombi with error bars). Overplotted are several planetary model atmospheres (lines). A haze layer of aerosols is the most plausible interpretation of the data. (Mallonn & Strassmeier, 2016, A&A 590, A100)

so far about the rotation rates and surface magnetic fields of the central stars of PNe. So far, only weak fields of the order of 100 G were detected in the central star of the young elliptical Planetary Nebula IC 418, as well as in the Wolf-Rayet type central star of the bipolar Nebula Hen 2-113 (Fig. 3).

Spot evolution on the red giant star XX Triangulum

The decay rate of starspots is of great interest for Magneto-hydrodynamic simulations because it is directly linked to the magnetic diffusivity, which itself is a key quantity for the length of a magnetic-activity cycle. With our 1.2-m robotic STELLA telescope on Tenerife, continuous high-resolution and phase-resolved spectra of the magnetically-active close-binary component XX Tri were reconstructed into 36 Doppler maps (see cover image) with our line-profile inversion code iMap. From the inferred decay rate, a turbulent diffusivity was determined and a magnetic-activity cycle of approximately 26 years was predicted.

STELLA Open Cluster Survey (SOCS): M48 observed

This survey on M48 is based on data acquired with the STELLA-I 1.2 m robotic telescope, equipped with the WiFSIP 4 k imager. Light curves with 3 mmag (0.3 %) precision for $V \sim 14$ mag stars were produced, and then analyzed to derive rotation periods. The maintenance of such precision over two months is a testament to the excellent performance of the telescope. A total of 62 periodic stars were traced, and also precisely locate the cluster's main sequence (Fig. 4). The rotation period measurements confined the gyrochronological age of the cluster to 450 ± 50 Myr.

Spectroscopy of extrasolar planets

Transit events of extrasolar planets yield the opportunity to study their atmospheres. Several extrasolar gas giants and one super-Earth were investigated using the LBT, the GTC and the WHT. The obtained spectra of the sample lack absorption features predicted by cloud-free atmosphere models. Instead,

spectral evidences of cloud and haze layers formed of aerosols were found (Fig. 5 shows HAT-P-32b). The results show the importance of a realistic cloud modeling to understand the physics in the atmospheres of extrasolar planets. Furthermore, the results help to establish a future search for biomarkers.

Evidence for supergranulation on a Lithium-rich red giant

HD 233517 is among the most Li-rich stars in the sky. Inverse line-profile modelling of STELLA spectra with iMap allowed the computation of six Doppler images. The surface maps indicate coexisting warm and cool spots of just ± 65 K (Fig. 6). However, these “spots” are not of magnetic origin but are merely locations of enhanced and suppressed convection. This may have been the first detection of supergranulation on a star other than the Sun. An error analysis indicates an average temperature error per surface pixel of just ± 4 K, probably the most precise Doppler images ever obtained.

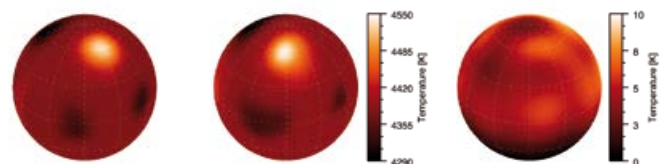


Fig. 6: Supergranulation auf dem Stern HD 233517. Links: gemittelte Photosphäre aus 56 Linien, Mitte: nur für Li I 670,8 nm (identische Temperaturskala). Die hellen und kühlen Bereiche entsprechen einem Geschwindigkeitsfeld und haben keinen magnetischen Ursprung. Rechts: simulierte Fehlerkarte. Supergranulation on the star HD 233517. Left: average photosphere from 56 lines, Middle: from Li I 670.8 nm alone (same temperature scale). The bright and cool features are interpreted as velocity fields and are not of magnetic origin. Right: simulated error map. (Strassmeier et al. 2015, A&A 574, A31)

Ausgewählte Publikationen

Selected publications

Barnes, S. A., Weingrill, J., Granzer, T., Spada, F., Strassmeier, K. G. (2015): **A color-period diagram for the open cluster M 48 (NGC 2548), and its rotational age**, *Astronomy & Astrophysics* 583, A73.

Carroll, T. A., Strassmeier, K. G. (2014): **Detecting and quantifying stellar magnetic fields. Sparse Stokes profile approximation using orthogonal matching pursuit**, *Astronomy & Astrophysics* 563, 56

Hubrig, S., Schöller, M., Fossati, L., Morel, T., Castro, N., Oskanova, L. M., Przybilla, N., Eikenberry, S. S., Nieva, M.-F., Langer, N. (2015), **B fields in OB stars (BOB): FORS 2 spectropolarimetric follow-up of the two rare rigidly rotating magnetosphere stars HD 23478 and HD 345439**, *Astronomy & Astrophysics* 578, L3.

Hubrig, S., Carroll, T. A., Schöller, M., Ilyin, I. (2015): **The prevalence of weak magnetic fields in Herbig Ae stars: the case of PDS 2**, *MNRAS* 449, L118 .

Järvinen, S. P., Arlt, R., Hackman, T., Marsden, S. C., Küker, M., Ilyin, I. V., Berdyugina, S. V., Strassmeier, K. G., Waite, I. A. (2015): **Doppler images and the underlying dynamo**. The case of AF Leporis, *Astronomy & Astrophysics* 574, A25.

Künstler, A., Carroll, T. A., Strassmeier, K. G. (2015): **Spot evolution on the red giant star XX Triangulum. A starspot-decay analysis based on time-series Doppler imaging**, *Astronomy & Astrophysics* 578, A101.

Liermann, A., Schnurr, O., Kraus, M., Kreplin, A., Arias, M. L., Cidale, L. S. (2014): **A K-band spectral mini-survey of Galactic B[e] stars**, *MNRAS* 443, 947.

Mallon, M., von Essen, C., Weingrill, J., Strassmeier, K. G., Ribas, I., Carroll, T. A., Herrero, E., Granzer, T., Claret, A., Schwope, A. (2015): **Transmission spectroscopy of the inflated exo-Saturn HAT-P-19b**, *Astronomy & Astrophysics* 580, A60.

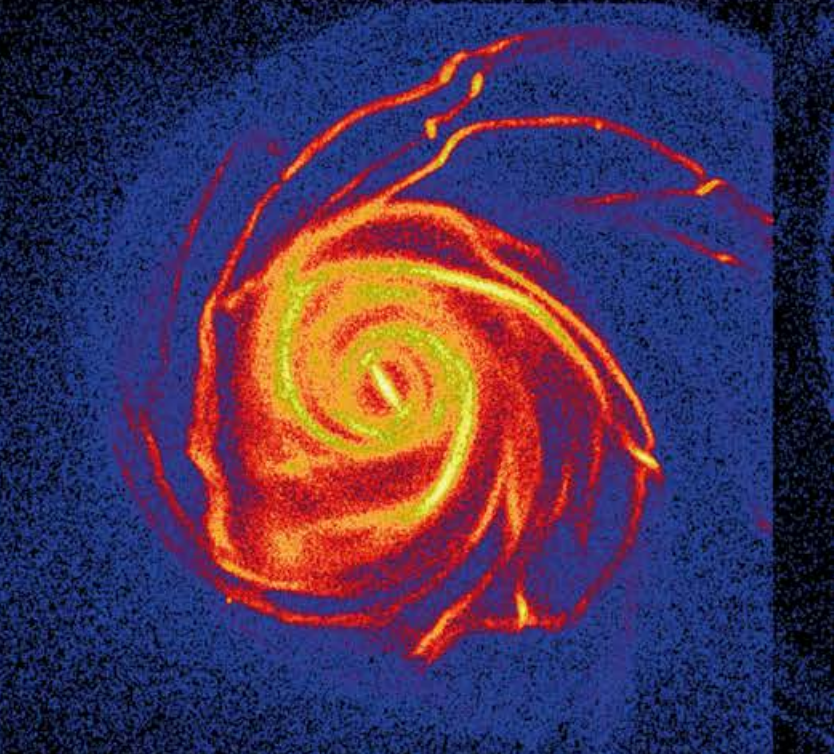
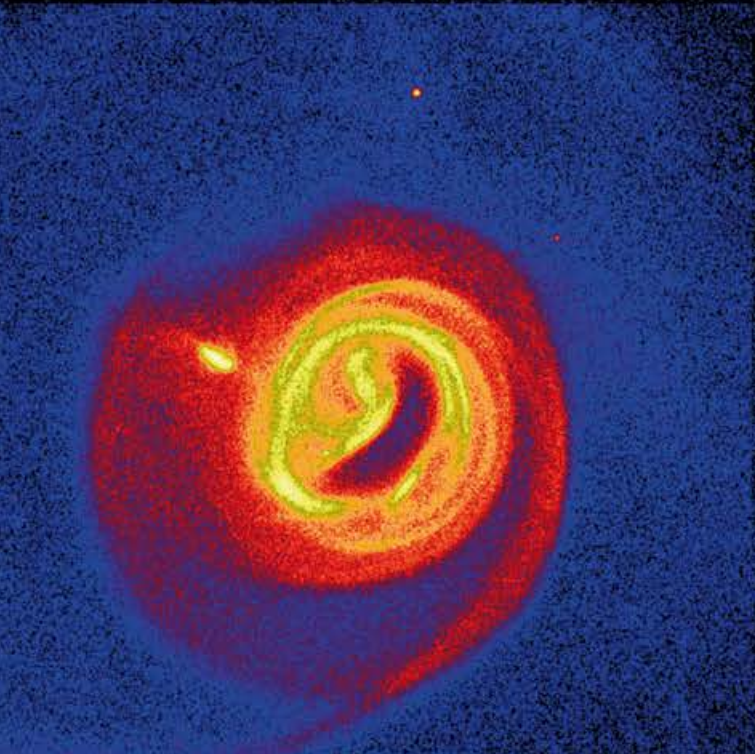
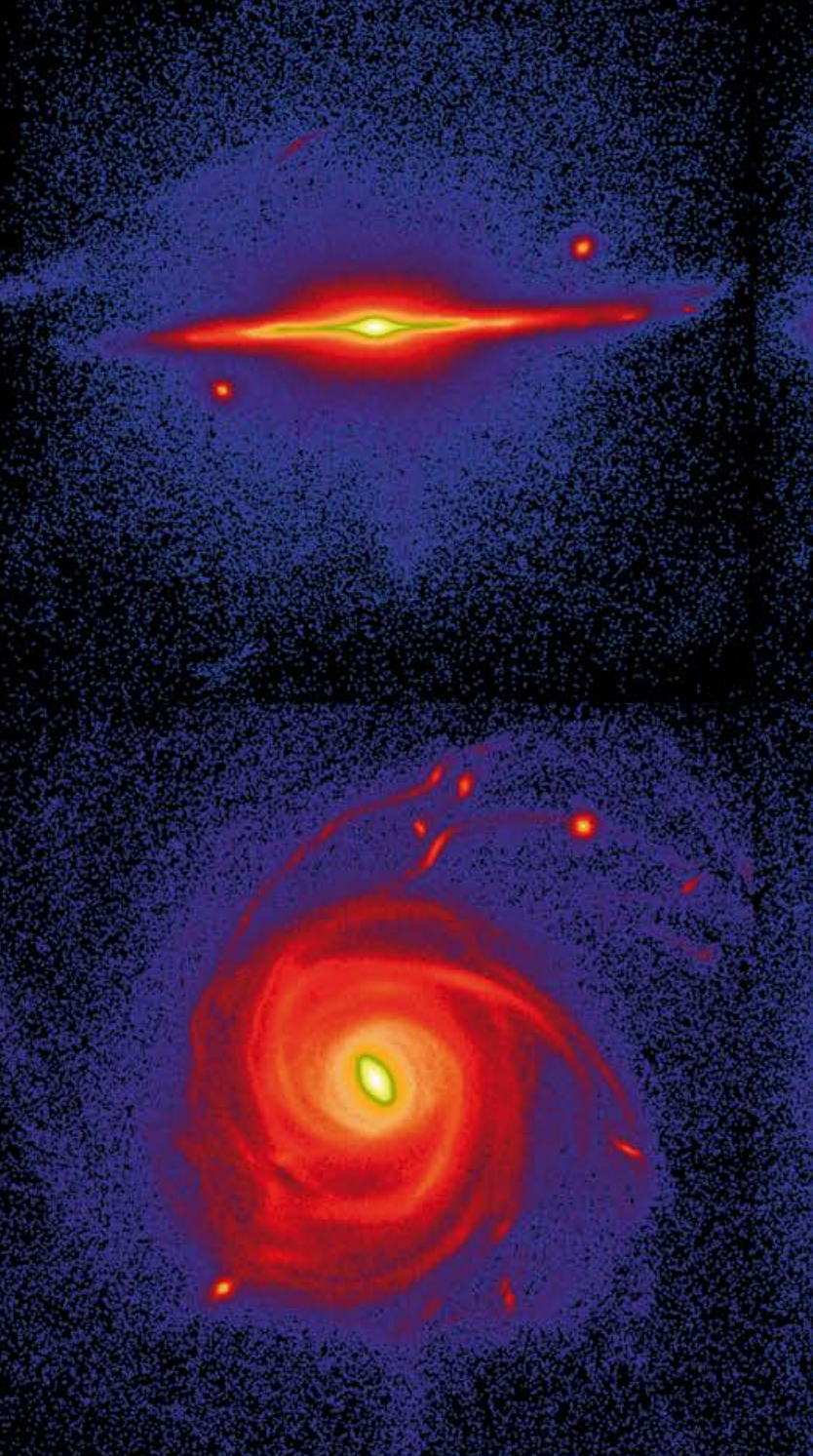
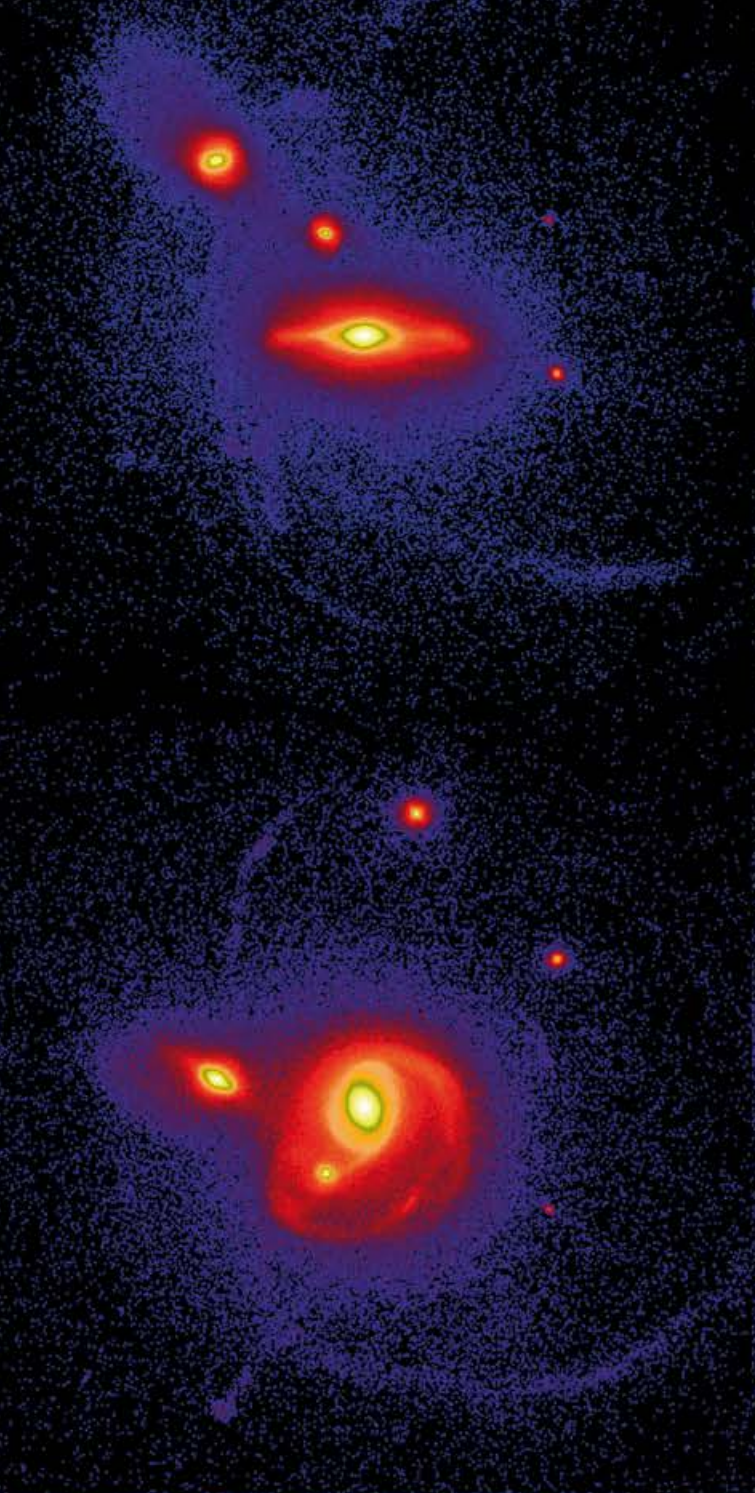
Steffen, M., Prakashavičius, D., Caffau, E., Ludwig, H.-G., Bonifacio, P., Cayrel, R., Kučinskas, A., Livingston, W. C. (2015): **The photospheric solar oxygen project. IV. 3D-NLTE investigation of the 777 nm triplet lines**, *Astronomy & Astrophysics* 583, A57.

Strassmeier, K. G., Carroll, T. A., Weber, M., Granzer, T. (2015): **Evidence for enhanced mixing on the super-meteoritic Li-rich red giant HD 233517**, *Astronomy & Astrophysics* 574, A31.



Starting front left: Silva Järvinen, Dennis Plüschke, Sarah Jane Schmidt, Svetlana Hubrig, Claude Ernest Mack III, Igor Di Varano, Gabriel Bihain, Gohar Harutyunyan, Klaus G. Strassmeier, Andreas Künstler, Gina Fischer, Daniel Sablowski, Michael Weber, Arto Järvinen, Alessandro Mott, Juana Wendt, Jörg Weingrill, Clemens Konrad, Adriane Liermann, Ilya Ilyin, Matthias Steffen, Federico Spada, Manuel Flores-Soriano, Dario Fritzewski, Felix Mackebrandt





Extragalaktische Astrophysik

Galaxien sind fundamentale Bausteine unseres Kosmos. Auf großen Skalen dienen sie als Marker, um die Masseverteilung im Kosmos auszuloten. Hierbei spielen die aktiven Galaxien und Quasare eine besondere Rolle. Nähere Objekte lassen sich räumlich auflösen und in Populationen verschiedener Kinematik, Sternentstehungsgeschichte und chemischen Häufigkeiten zerlegen. Hierbei kommt insbesondere die Methode der 3D-Spektroskopie zum Tragen, einer der Stützpfeiler im Technologieprogramm des Instituts.

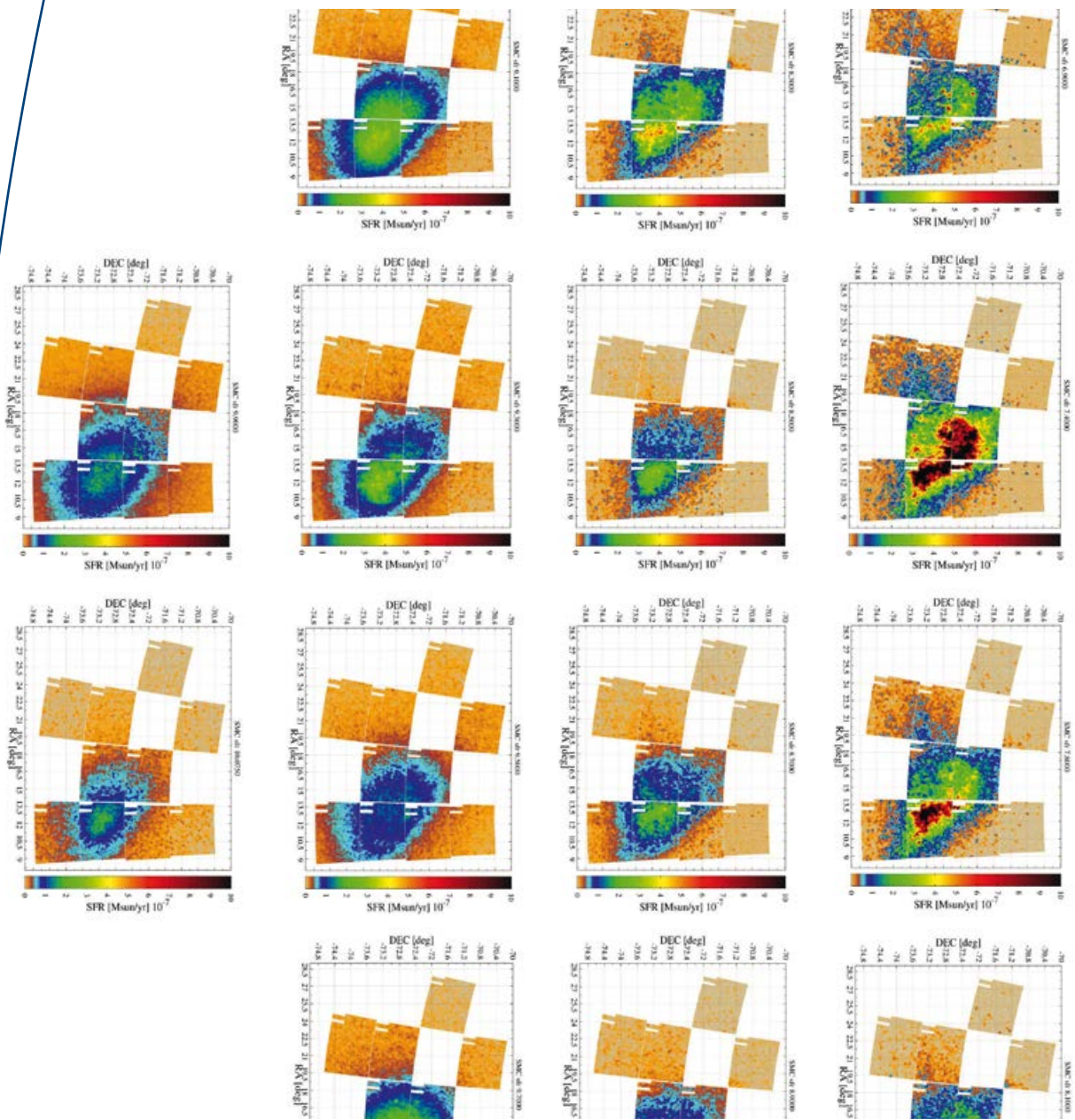
In unserer unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft sowie in unserer Milchstraße können Galaxien in Einzelsterne aufgelöst werden. Da die Sternpopulationen die chemischen und kinematischen Bedingungen zum Zeitpunkt ihrer Bildung konservieren, lässt sich die Entstehungsgeschichte dieser Galaxien erstaunlich detailgetreu rekonstruieren – die Galaxie wird zum kosmologischen Labor. Diese recht neue Forschungsrichtung ist auch unter dem Namen „galaktische Archäologie“ oder „Nahfeld-Kosmologie“ bekannt. Auf Seiten der Theorie werden diese verschiedenen Aspekte extragalaktischer Forschung mittels hochauflösender Computersimulationen verfolgt und verknüpft.

Extragalactic Astrophysics

Galaxies are fundamental cosmic building blocks. They serve as markers to explore the distribution of matter in the Universe on large scales. Active Galaxies and Quasars are particularly important. Nearby objects can be resolved spatially and are allocated to populations of different kinematics, stellar formation history and chemical abundances. Methods of 3D spectroscopy as an integral part of the technology programme of the institute are especially relevant to these objects.

Galaxies in our direct cosmic neighbourhood, and in the Milky Way, can be resolved into individual stars. As stellar populations conserve the chemical and kinematic conditions from the time of their birth, the formation history of those galaxies can be reconstructed in impressive detail and a galaxy becomes a cosmic laboratory. This relatively new field of research is also known as “Galactic Archaeology” or “Near-field Cosmology”. Theoretical studies further examine and link these different aspects of extragalactic research with high-resolution numerical simulations.





Sternentstehungsrate als Funktion der Zeit in der Kleinen Magellanschen Wolke, ermittelt aus Daten des VMC Surveys. Star Formation Rate as function of time in the Small Magellanic Cloud as derived from the VMC survey data (Rubele et al. 2015, MNRAS 449, 639).

Milchstraße und die lokale Umgebung

Milky Way and the Local Volume

Galaxien sind komplexe Systeme aus Sternen, Gas, Staub und anderen Komponenten (wie z. B. der geheimnisvollen „Dunklen Materie“). Die Forschungsabteilung „Milchstraße und die lokale Umgebung“ untersucht die Milchstraße und ihre nächstgelegenen Nachbargalaxien. Diese galaktischen Sternsysteme sind nahe genug, um im Detail, d. h. Stern für Stern und in drei Dimensionen, untersucht zu werden. Die größten spektroskopischen, astrometrischen und asteroseismologischen Durchmusterungen helfen uns, die Struktur und Entstehungsgeschichte der Milchstraße zu verstehen und die stellare Akkretionsgeschichte der jeweiligen Galaxie abzuleiten. Zur Analyse dieser Beobachtungen werden die neuesten chemischen, dynamischen und kosmologischen Evolutionsmodelle herangezogen.

Die Struktur der Milchstraße

Umfangreiche spektroskopische Durchmusterungen ermöglichen die Kinematik, die Entfernungen und die chemische Zusammensetzung von Sternen der Milchstraße zu bestimmen. Das Projekt RAVE (Radial Velocity Experiment) ist eine vom AIP geleitete spektroskopische Durchmusterung von hellen Sternen am südlichen Himmel, die etwa eine halbe Million Spektren von Sternen erfasst hat. Die Sterne der RAVE-Durchmusterung mit der höchsten chemischen Anreicherung zeigen annähernd kreisförmige Orbits, nicht sehr verschieden zu Sternen mit einer chemischen Zusammensetzung ähnlich der Sonne. Diese Sterne bildeten sich aus höher angereichertem Gas, wie es nur in der Nähe des galaktischen Zentrums zu finden ist. Die Befunde liefern damit den Beweis für eine radiale Wanderung der Sterne, wobei ihre Bahnradialen durch von Balken- und Spiralarmen verursachte dynamische Resonanzen ausgeweitet wurden.

Darüber hinaus wurde der RAVE-Datensatz genutzt, um eine neue Massenbestimmung der Milchstraße vorzunehmen. Die Masse der Milchstraße beträgt demnach $1,3^{+0,3}_{-0,2} \times 10^{12} M_{\odot}$.

Eine erste chemodynamische Analyse der Daten des „APOGEE spectroscopic survey“ wurde durchgeführt. Die Studie deckt den größten jemals untersuchten Bereich der Milchstraße ab.

Team 2014/2015:

Friedrich Anders, Samuel Barden, Olga Bellido, Dorothée Brauer, Joar Brynnel, Ismael Carrillo, Gabriele Cescutti, Cristina Chiappini, Maria-Rosa Cioni, Claudia Conrad, Peter Creasey, Roelof de Jong (head), Steffen Frey, Joris Gerssen, Giovanni Guidi, Katja Janssen, Diana Johl, Thiago Junqueira, Georges Kordopatis, Andrea Kunder, Ivan Minchev, Daniel Phillips, Pierre-Antoine Poulhazan, Jan Ruppert, Allar Saviak, Cecilia Scannapieco, Olivier Schnurr, Ralf-Dieter Scholz, Else Starkenburg, Matthias Steinmetz, Jesper Storm, David Streich, Ugur Ural, Marica Valentini, Roland Winkler, Jennifer Wojno, Kris Youakim

Die Daten zeigen, dass mit α -Elementen angereicherte Sterne in den Außenbezirken der Milchstraße seltener auftreten, als in den inneren Regionen des galaktischen Zentrums. Dies weist darauf hin, dass die dicke Scheibe der Milchstraße, die aus diesen angereicherten Sternen besteht, eine kürzere Skalenlänge als die dünne Scheibe besitzt. Eine Kombination von APOGEE-Daten mit asteroseismologischen Daten des CoRoT-Satelliten erlaubte eine akkurate Bestimmung des Alters der Sterne. Es wurde eine Gruppe von scheinbar jungen Roten Riesen gefunden, die, verglichen mit Werten von sonnenähnlichen Sternen, eine hohe Anreicherung von α -Elementen aufweisen. Die Existenz dieser scheinbar jungen Roten Riesen kann nicht mit Hilfe von üblichen chemischen Evolutionsmodellen der Milchstraße erklärt werden (Fig. 1). Normalerweise weist ein hohes Vorkommen von α -Elementen in einem Stern auf relativ ursprüngliches, d.h. aus dem früheren Universum stammendes Gas hin. Deswegen wurde bisher erwartet, dass diese Sterne alt sind. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die Sterne an einem Ort der Ko-Rotation des Balkens entstanden sind, an dem das Gas länger verweilte als in anderen Regionen der Milchstraße, die öfter von vorbeikommenden spiralen Armen zerrüttet wurden und die Sterne dann nach ihrer Entstehung in die solare Nachbarschaft abgewandert sind.

Ein RR Lyrae (variabler) Stern, von dem ursprünglich erwartet wurde, dass er zum sogenannten Bulge der Milchstraße gehört, wurde entdeckt. Es konnte nachgewiesen werden, dass seine Geschwindigkeit $-482 \pm 22 \text{ km s}^{-1}$ relativ zur Galaxis beträgt. Sein Orbit ähnelt damit mehr dem eines Halo-Sterns (Fig. 2) und signalisiert, dass die Kontamination durch solche Sterne in der Region nicht unerheblich ist.

Modellierung milchstraßenähnlicher Galaxien

Computersimulationen der Galaxienentstehung sind ein nützliches Werkzeug, um die dominanten Prozesse zu verstehen, welche die Natur der Galaxien bestimmen. Für die Entstehung der dünnen und der dicken Scheibe wurde ein neues Modell entwickelt. Dieses kombiniert Scheibenentstehung von innen nach außen und Scheibenaufweitung aufgrund von Umwelteffekten und säkularer Evolution. Die geschichteten, aufgeweiteten Sternpopulationen eines Alters geben morphologisch den Anschein einer dünnen und dicken Scheibe mit gleichen Skalenlängen wie sie in externen Galaxien beobachtet werden. Jedoch zeigen sie auch die in der Milchstraße sichtbare Umkehr des Gradienten der chemischen Anreicherung mit der Skalenhöhe der Scheibe (Fig. 3).

Entdeckungen in benachbarten Galaxien

Die neuen Hubble-Space-Teleskop-Bilder der „GHOSTS“-Durchmusterung enthüllen die radiale und vertikale stellare Altersverteilung in sechs „edge-on“-Galaxien. Die Beobachtungen zeigen einen schnellen Zuwachs der stellaren Skalenhöhe mit Zunahme des stellaren Alters. Die Sterne erhöhen ihre Vertikalgeschwindigkeit in den stellaren Scheiben also sehr schnell. Ein überraschendes Ergebnis war, dass keine der sechs Galaxien eine dicke Scheibe mit einer signifikanten Masse (über 1 % der stellaren Masse) zu haben scheint. Dies widerspricht früheren Messungen, die besagen, dass dicke Scheiben allgegenwärtig seien. Die Nah-Infrarot-



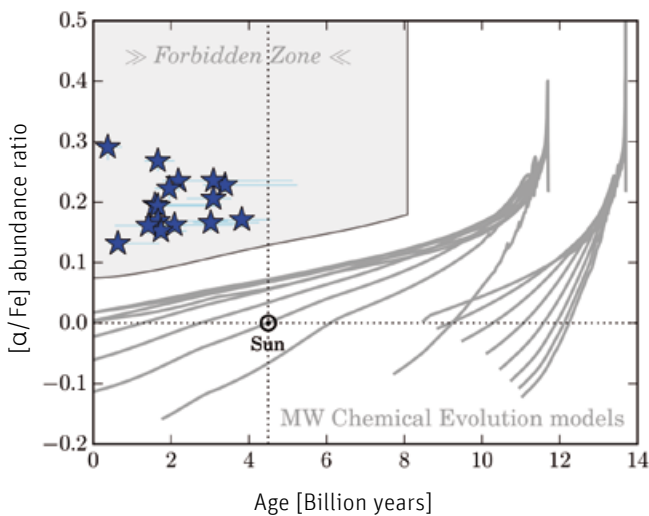


Fig. 1: α -Element Häufigkeitsverhältnisse als Funktion des Alters für eine Anzahl anomaler Sterne aus der kombinierten Stichprobe von APOGEE und CoRoT. Die hohen α -Element Häufigkeitsverhältnisse, die in diesen Sternen beobachtet werden, treten laut den Standardmodellen zur chemischen Evolution der Milchstraße (graue Linien) nur bis vor 10 Milliarden Jahren in der Milchstraße auf, somit befinden sich diese neuentdeckten Sterne in der „verbotenen Zone“ dieses Diagramms. The α -element abundance ratios as function of age for a set of anomalous stars found in the combined APOGEE and CoRoT sample. The high α -element ratios seen in these stars were only present in the Milky Way more than 10 billion years ago according to standard Milky Way chemical evolution models (grey lines), and hence the newly discovered stars are located in the “Forbidden Zone” of this diagram. (Credit: F. Anders/AIP)

Durchmusterungen des „Vista Magellanic Cloud Survey“ (VMC) wurde genutzt, um die Bewegungen verschiedener stellarer Populationen in einer bestimmten Region der Großen Magellanschen Wolke zu messen. Es konnten etwas höhere Eigenbewegungen als bei vorangegangenen Studien mit dem Hubble Space Teleskop gemessen werden, wobei die Eigenbewegungen mit steigendem stellaren Alter leicht abnahmen.

Galaktische Archäologie mit 4MOST

Das AIP ist Projektleiter eines internationalen Konsortiums für das 4MOST- Projekt, das einen Vielkanalspektrographen mit großem Gesichtsfeld für das VISTA 4-Meter-Teleskop der ESO entwickelt. Für diese hochauflösende spektroskopische Durchmusterung wurden die galaktischen Archäologie-Studien und ihre Anforderungen spezifiziert. Als Gegenleistung für die Entwicklung, Konstruktion und den Betrieb des Instruments gewährt das ESO Council dem 4MOST-Konsortium eine garantierte Beobachtungszeit, an der die Studien einen wichtigen Anteil haben werden. Hierzu wurden bereits Managementpläne erstellt, Durchmusterungsstrategien entwickelt und Arbeitsgrup-

pen eingeteilt. Diese sind für die Infrastruktur der Forschungsprojekte zuständig und koordinieren die Aktivitäten zwischen den verschiedenen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen. Das AIP hat die Leitungsrolle für die Entwicklung der Analyse- und Objekt-Klassifizierungs-Pipeline übernommen.

Galaxies are complex systems made of stars, gas, dust, and other components (such as the mysterious “dark matter”). The “Milky Way and the Local Volume” research section studies the Milky Way and its neighbouring galaxies. These nearby galactic stellar systems are close enough to be studied in great detail, star by star. Of prime importance is the study of the Milky Way, the only galaxy we can fully map in three dimensions. The largest spectroscopic, astrometric, and asteroseismology surveys of the Milky Way help us to understand the structure and formation history of the Milky Way. Extensive imaging surveys of nearby disk galaxies allow us to resolve their stellar outskirts and to deduce their stellar accretion history. These observations are analysed with the latest chemical, dynamical, and cosmological galaxy evolution models.

The Structure of the Milky Way

Massive spectroscopic surveys enable us to determine the kinematics, the distances, and the chemical composition of Milky Way stars. The RAVE (Radial Velocity Experiment) project is an AIP-led, spectroscopic census of bright stars in the Southern sky that has obtained spectra of nearly half a million stars. The stars with the highest chemical enrichment in the RAVE sample show fairly circular orbits, not much different from stars with chemical composition similar to the Sun. Such enriched stars must have formed from more enriched gas, which is only present nearer towards the Galactic centre. Thus this finding provides evidence for stellar radial migration, where the orbital radii of these stars have increased by riding on dynamical resonances caused by the bar and spiral arms. The RAVE data set was also used to make a new mass determination of the Milky Way, resulting in a mass estimate of $1.3^{+0.3}_{-0.3} \times 10^{12} M_{\odot}$.

The first chemo-dynamical analysis of the APOGEE spectroscopic survey data was performed, covering a larger area of the Milky Way than ever before. The data shows that α -elements enriched stars are rarer towards the Milky Way outskirts than towards the Galactic centre compared to non-enriched stars, indicating that the thick disk, consisting of such enhanced stars, has a shorter scale length than the thin disk. Combining APOGEE data with asteroseismology data from the CoRoT space mission allows determination of accurate stellar ages. A group of apparently young red-giant stars was discovered exhibiting enhanced α -element abundance ratios with respect to solar values. Their existence cannot be explained by standard chemical evolution models of the Milky Way (Fig. 1), because such an α -element enhanced signature is only present in fairly pristine gas found in the early Universe. Hence, such stars are expected to be old. A possible explanation could be that these stars are formed at the location of bar co-rotation, a region where gas can be kept inert for longer times than in other regions in the Milky Way that are more frequently shocked by the

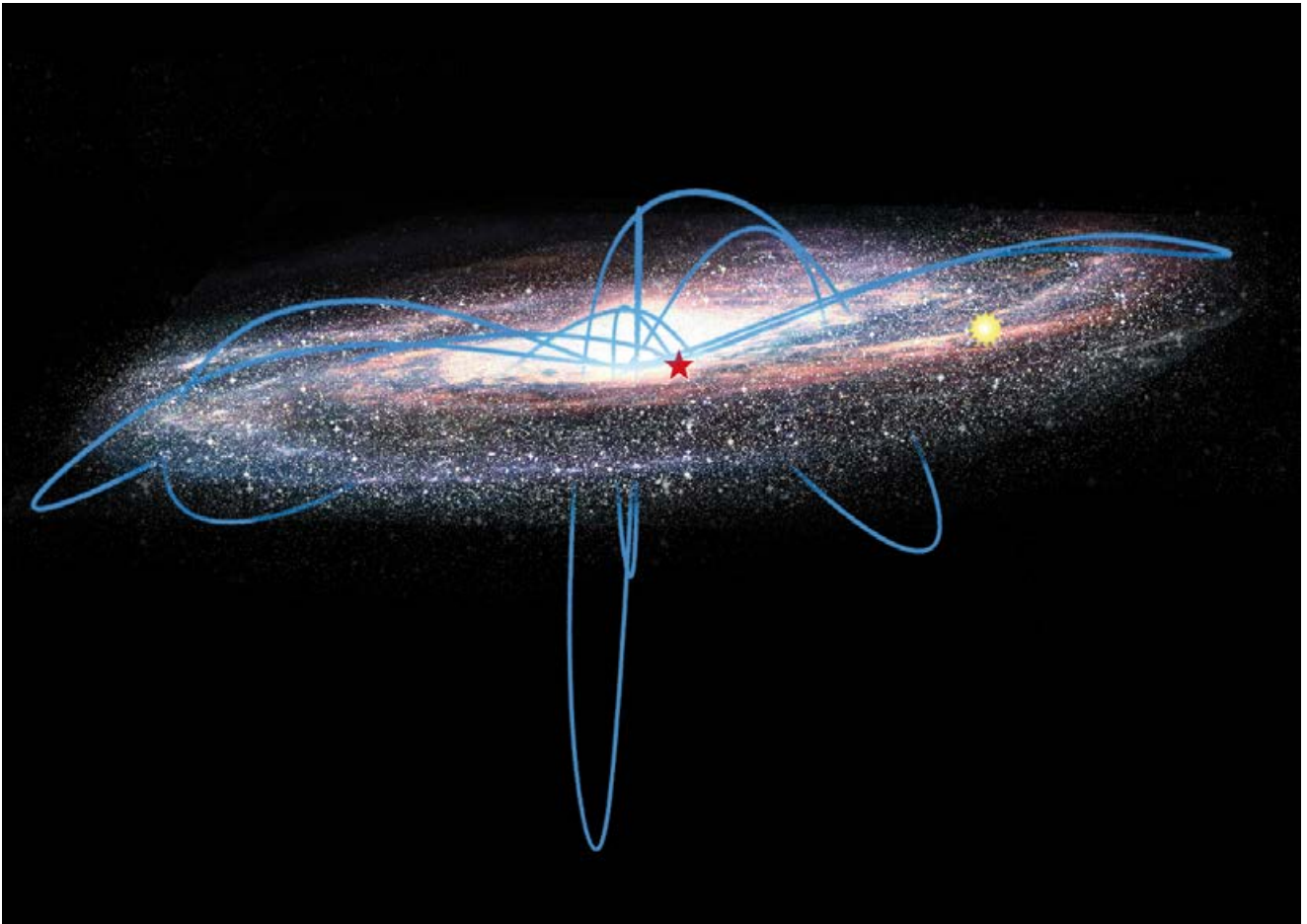


Fig. 2: Die berechnete Bewegung eines RR Lyrae Sterns (blau) über die letzten eine Milliarde Jahre. Der Stern (rot) wurde nahe dem galaktischen Zentrum entdeckt, bewegt sich aber anders als unsere Sonne (gelb) mit rasender Geschwindigkeit weit über die Scheibe der Milchstraße hinaus. One of the possible orbits (blue) over the last billion years of a high velocity RR Lyrae star discovered in the central bulge region of the Milky Way. The yellow figure represents the position of the Sun and the red asterisk the current position of the newly discovered star. (Credit: AIP/J. Fohlmeister, A. Kunder)

passage of spiral arms, and after their formation migrated to the solar neighbourhood.

An RR Lyrae variable star was discovered that originally was assumed to belong to the Milky Way bulge population. However, it was found that its true space velocity is $-482 \pm 22 \text{ km s}^{-1}$ relative to the Galactic rest frame, making its orbit more consistent with that of a halo star (Fig. 2) and signalling that the contamination of such stars in the bulge region is not insignificant.

Modelling Milky Way type galaxies

Computer simulations of galaxy formation are a powerful tool to understand the dominant processes that determine the nature of galaxies. A new model for the thin and thick disk formation was developed, combining inside out disk formation with disk flaring due to environmental effects and secular evolution. The stacked,

flaring mono-age populations give morphologically the appearance of a thin and thick disk with equal scale lengths as observed in external galaxies, while showing at the same time the reversal in chemical abundance gradients with disk scale height seen in the Milky Way (Fig. 3).

Discoveries in neighbouring galaxies

New Hubble Space Telescope imaging of the GHOSTS survey revealed the radial and vertical stellar age distribution in six edge-on galaxies. The observations point to a rapid increase in stellar scale height with stellar age, meaning that stars very rapidly increase their vertical velocity in stellar disks. A surprising result was that none of these six galaxies seem to have a thick disk of any significant mass (more than 1% of the total stellar mass), contrary to previous measurements in the literature claiming that thick disks are ubiquitous. The near-infrared observations of the Vista



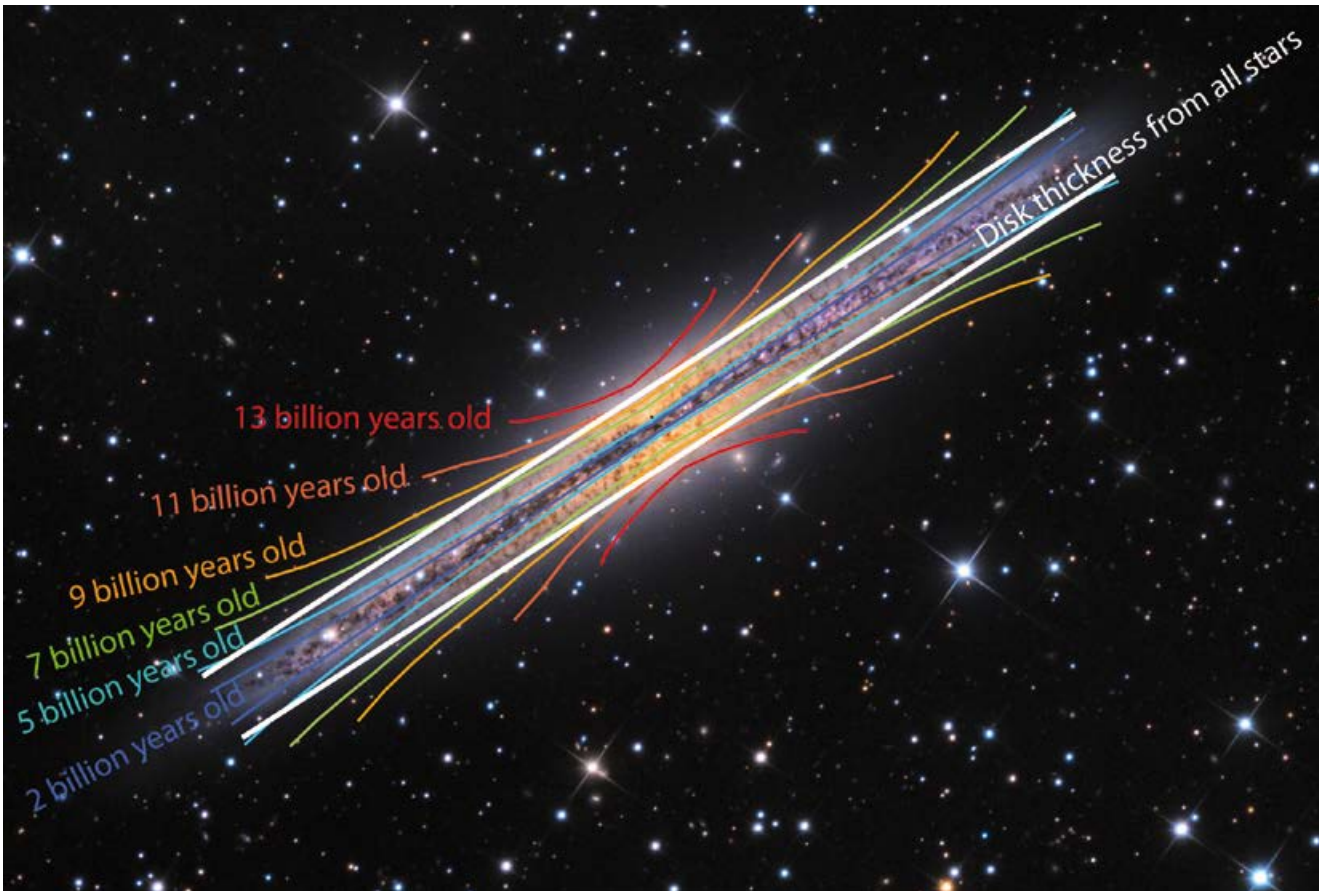


Fig. 3: Schematische Abbildung eines neuen Modells der dicken Scheibe. Im Hintergrund zu sehen ist NGC891, eine der Milchstraße ähnliche Scheiben-Galaxie. Die farbigen Linien markieren Sternengruppen gleichen Alters. Alle Sterne zusammen ergeben eine konstante Dicke, dargestellt durch die geraden weißen Linien. Schematic picture of a new thick disk model. Overlaid on NGC891, a Milky Way analogue edge-on galaxy, are colour curves that show the flares from groups of stars with similar ages. When all stars are put together, the disk has constant thickness, shown by the straight white lines. (Credit: Adam Block, Mt. Lemmon SkyCenter, University of Arizona/Ivan Minchev, AIP).

Magellanic Cloud (VMC) survey were used to measure the proper motion of different stellar populations in one field in the Large Magellanic Cloud. A somewhat higher proper motion was found than in previous studies with the Hubble Space Telescope, with proper motion slightly decreasing with increasing stellar age.

Galactic Archaeology with 4MOST

The Galactic Archaeology surveys and their requirements were specified for 4MOST, the wide-field, high-multiplex spectroscopic survey facility, which is under development for the European Southern Observatory by an international consortium led by the

AIP. These surveys will fill an important fraction of the Guaranteed Time Observations that was granted to the 4MOST consortium by the ESO Council in return for developing, constructing, and operating the facility. The survey management plans were developed and survey strategies explored. Also the Infrastructure Working Groups, which coordinate activities between the different surveys were installed. A leading role is played by the AIP in developing the stellar analysis pipelines and the object classification pipeline.

Ausgewählte Publikationen

Selected publications

Anders, F.; Chiappini, C.; Santiago, B. X.; Rocha-Pinto, H. J.; Girardi, L.; da Costa, L. N.; Maia, M. A. G.; Steinmetz, M.; Minchev, I.; et al. (2014): **Chemodynamics of the Milky Way. I. The first year of APOGEE data**, *Astronomy & Astrophysics* 564, 115.

Chiappini, C.; Anders, F.; Rodrigues, T. S.; Miglio, A.; Montalbán, J.; Mosser, B.; Girardi, L.; Valentini, M.; Noels, A.; Morel, T.; Minchev, I.; Steinmetz, M.; et al. (2015): **Young $[\alpha/\text{Fe}]$ -enhanced stars discovered by CoRoT and APOGEE: What is their origin?**, *Astronomy & Astrophysics* 576, L12.

Cioni, M.-R. L., Girardi, L., Moretti, M. I., Piffl, T., Ripepi, V., Rubele, S., Scholz, R.-D., Bekki, K., Clementini, G., Ivanov, V. D., Oliveira, J. M., van Loon, J. Th. (2014): **The VMC survey. IX. Pilot study of the proper motion of stellar populations in the LMC from 2MASS and VISTA data**, *Astronomy & Astrophysics* 562, A32.

Kordopatis, G.; Binney, J.; Gilmore, G.; Wyse, R. F. G.; Belokurov, V.; McMillan, P. J.; Hatfield, P.; Grebel, E. K.; Steinmetz, M.; Navarro, J. F.; Seabroke, G.; Minchev, I.; et al. (2015): **The rich are different: evidence from the RAVE survey for stellar radial migration**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, 3526.

Kordopatis, G.; Wyse, R. F. G.; Gilmore, G.; Recio-Blanco, A.; de Laverny, P.; Hill, V.; Adibekyan, V.; Heiter, U.; Minchev, I.; et al. (2015): **The Gaia-ESO Survey: characterisation of the $[\alpha/\text{Fe}]$ sequences in the Milky Way discs**, *Astronomy & Astrophysics* 582, A122.

Kunder, Andrea; Rich, R. M.; Hawkins, K.; Poleski, R.; Storm, J.; et al. (2015): **A High-velocity Bulge RR Lyrae Variable on a Halo-like Orbit**, *The Astrophysical Journal* 808, 12.

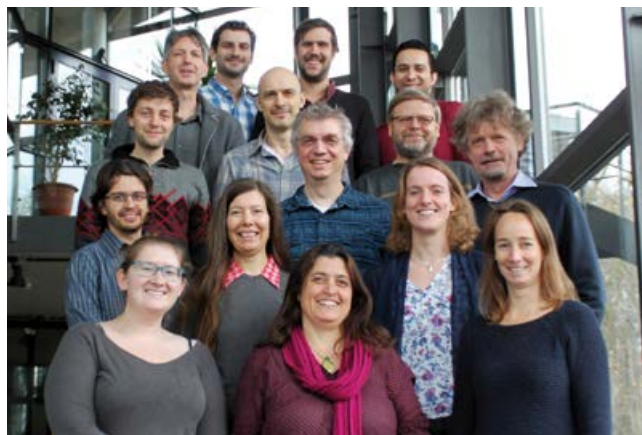
Minchev, I.; Chiappini, C.; Martig, M. (2014): **Chemodynamical evolution of the Milky Way disk. II. Variations with Galactic radius and height above the disk plane**, *Astronomy & Astrophysics* 572, A92.

Minchev, I.; Chiappini, C.; Martig, M.; Steinmetz, M.; de Jong, R. S.; Boeche, C.; Scannapieco, C.; Zwitter, T.; Wyse, R. F. G.; Binney, J. J.; Bland-Hawthorn, J.; Bienaymé, O.; Famaey, B.; Freeman, K. C.; Gibson, B. K.; Grebel, E. K.; Gilmore, G.; Helmi, A.; Kordopatis, G.; et al. (2014): **A New Stellar Chemo-Kinematic Relation Reveals the Merger History of the Milky Way Disk**, *The Astrophysical Journal Letters* 781, L20.

Minchev, I.; Martig, M.; Streich, D.; Scannapieco, C.; de Jong, R. S.; Steinmetz, M. (2015): **On the Formation of Galactic Thick Disks**, *The Astrophysical Journal Letters* 804, L9.

Piffl, T.; Scannapieco, C.; Binney, J.; Steinmetz, M.; Scholz, R.-D.; Williams, M. E. K.; de Jong, R. S.; Kordopatis, G.; Matijević, G.; et al. (2014): **The RAVE survey: the Galactic escape speed and the mass of the Milky Way**, *Astronomy & Astrophysics* 562, A91.

Scholz, R.-D. (2014): **Neighbours hiding in the Galactic plane, a new M/L dwarf candidate for the 8 pc sample**, *Astronomy and Astrophysics* 561, A113.



From back to front, starting left: Kristopher Youakim, Georges Kordopatis, Ismael Carrillo Rivas, Roelof de Jong, Ivan Minchev, Ralf-Dieter Scholz, Friedrich Anders, Matthias Steinmetz, Jesper Storm, Thiago Junqueira, Maria-Rosa Cioni, Else Starkenburg, Jennifer Wojno, Cristina Chiappini, Katja Weingrill



Die frühe Milchstraße

The early Milky Way

Nur in unserer Milchstraße und einigen umliegenden Galaxien können Sterne einzeln aufgelöst beobachtet werden. Sterne tragen lebenslang den chemischen Fingerabdruck ihrer Geburtswolke in sich; ebenso enthalten sie für lange Zeit kinematische Informationen. Das heißt, durch das Studium der heutigen Sterne können wir viel über die Vergangenheit lernen. Die Arbeit der Forschungsgruppe „Die frühe Milchstraße“ konzentriert sich auf die Untersuchung der ältesten Sterne und darauf, die früheste Geschichte unserer Milchstraße aufzudecken und zu analysieren.

Wie findet man die ältesten Sterne?

Kurz nach dem Urknall gab es keine chemischen Elemente, die schwerer als Lithium waren. Die ersten Sterne setzten sich nur aus Wasserstoff, Helium und Lithium zusammen, verschmolzen allerdings selbst schwerere Elemente in ihren Kernen. Diese Elemente wurden anschließend in gewaltigen Supernova-Explosionen wieder ausgestoßen. Über viele Sternengenerationen entwickelten sich dadurch immer mehr schwere Elemente im Universum. Wenn ein Stern sehr ursprünglich („Pristine“) ist, d. h. seine Atmosphäre nicht mit schwereren Elementen verschmutzt ist, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass er als einer der ersten in seiner Umgebung geboren wurde.

Logischerweise sind diese ursprünglichen Sterne heute in der Unterzahl und die Suche nach ihnen gleicht der Suche nach der berühmten Nadel im Heuhaufen. Nur sehr wenige dieser ersten Sterne sind uns bekannt und einige ihrer Eigenschaften sind bis heute rätselhaft. Mithilfe der „Pristine“-Himmeldurchmusterung (Principal Investigators Else Starkenburg und Nicolas Martin)



Else Starkenburg

wird im galaktischen Halo jetzt mit effizienten Mitteln nach diesen Sternen gesucht. Dazu wird ein Schmalbandfilter der Weitwinkelkamera des 4-Meter-Canada-France-Hawaii Teleskops genutzt. Der Filter ist auf sehr starke Kalziumabsorptionslinien zentriert, die die meisten Sterne zeigen. In den Atmosphären der gesuchten ursprünglichen Sterne ist eher wenig Kalzium vorhanden, so dass sie sehr schmale Absorptionslinien zeigen, wohingegen durchschnittliche Sterne wie unsere Sonne sehr starke Absorptionslinien aufweisen. Durch den Vergleich von Aufnahmen im Schmalbandfilter mit Breitbandbildern aus dem Sloan Digital Sky Survey, können aussichtsreiche Kandidaten isoliert werden.

Der (chemische) Fingerabdruck des frühen Universums

Im nächsten Schritt werden die Spektren dieser Sterne untersucht, um die Häufigkeiten verschiedener chemischer Elemente in ihren Atmosphären zu analysieren. Ein Stern der ersten Generation, dessen Atmosphäre nur Wasserstoff, Helium und Lithium enthält, wurde bisher nicht entdeckt, und es ist unklar, ob ein solcher Stern bis zum heutigen Tag überlebt haben könnte. Die Sterne, die nicht der ersten Generation angehören, sondern etwas später entstanden, werden uns jedoch viel über die Eigenschaften der ersten Sterne lehren. Sie ermöglichen uns, auf das Ende der kosmischen „dunklen Zeiten“ zurückzublicken.

Darüberhinaus ist es mit der „Pristine“-Himmeldurchmusterung möglich, die Verteilung der ursprünglichen Sterne in verschiedenen Teilen der Galaxie zu studieren und damit die frühe Geschichte des Aufbaus der Milchstraße zu entschlüsseln.

Fazit

Hauptziel unserer Forschungsgruppe ist, durch die Analyse des chemischen Fingerabdrucks und die Verteilung der sehr ursprünglichen Sterne zu einem besseren Verständnis der Entstehung von Galaxien wie unserer Milchstraße zu gelangen. Dafür werden sowohl Beobachtungsdaten als auch Vorhersagen aus kosmologischen Simulationen genutzt. Weitere wertvolle Erkenntnisse über die frühe Galaxienentwicklung in verschiedenen Regionen werden durch den Vergleich der Eigenschaften der ursprünglichen Sterne in der Milchstraße, mit den in den umliegenden kleineren Satellitenzwergegalaxien gewonnen.

Only in our Milky Way and some surrounding galaxies we can resolve and observe individual stars. Because stars keep the chemical fingerprint of their birth cloud during their lives and also

preserve kinematical information for long times, studying the present-day stars can teach us about the past. The work in our research group focuses on the study of the earliest history of the Milky Way galaxy by uncovering and analyzing its oldest stars.

How to find the oldest stars

Just after the Big Bang, no heavier chemical elements than lithium were present in the Universe. The very first stars were thus just made out of hydrogen, helium and lithium, but they were fusing heavier elements in their cores. These elements were subsequently released in the violent supernovae explosions of their deaths. Over generations of stars living and dying, the abundance of heavier elements has increased. Therefore the more “pristine” a star is (its atmosphere unpolluted with heavier elements), the more likely this star was born in one of the earliest generations in its environment.

Naturally, by today the most pristine stars are outnumbered by younger generations and the task of finding them can be compared with finding a needle in a haystack. Very few extremely pristine stars are known and some of their properties are puzzling. With the “Pristine survey” the Galactic halo is mined for these stars in a very efficient way. A narrow-band colour filter on the wide-field imager of the 4-meter Canada-France-Hawaii Telescope is centered on very strong calcium absorption lines that most stars show. More pristine stars with very little calcium in their atmospheres will show very small absorption lines – whereas more average stars like our Sun will show very strong lines. By taking an image in this narrow-band filter and comparing this to other broader band images from the Sloan Digital Sky Survey, very pristine candidate stars can be isolated.

The (chemical) fingerprint of the early Universe

A second step is to take spectra for these stars and study the abundance of various chemical elements in their atmospheres. A very first star, with just hydrogen, helium and lithium in its atmosphere has never been observed yet and it is unclear if they can have survived until the present day. However, even studying the stars that belong not to the very first generation, but are formed somewhat later, will teach us much about the properties of the first stars. They allow us to look back in time all the way to the end of the cosmical “dark ages”.

Additionally, the “Pristine survey” allows to study the distribution of very pristine stars across much of the galaxy, thereby showing the early history of the buildup of the Milky Way galaxy.

Bringing it all together

Our overall aim is to use both the distribution and chemical fingerprint of very pristine stars to make significant progress in our understanding of the formation of galaxies like the Milky Way. In pursuing this aim we bring together information from observations, as described above, but also compare this to predictions from fully cosmologically motivated simulations. Additional valuable insights on early galaxy evolution in different environments are obtained by comparing the properties of the most pristine stars in the Milky Way to those in its surrounding smaller satellite dwarf galaxies.

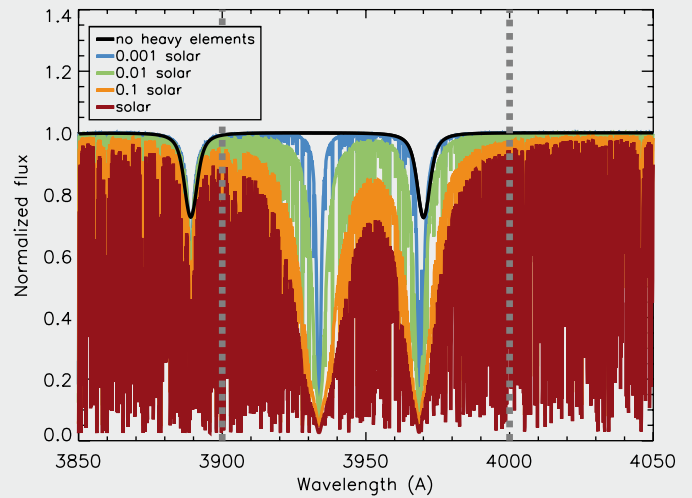


Fig. 1: Illustration zur Funktionsweise des Schmalbandfilters. Abgebildet sind simulierte Sternspektren mit unterschiedlichem Vorkommen von schweren Elementen. Durch Messung des Lichts in einem schmalen Wellenlängenbereich mit diesem Filter (zwischen den beiden grauen Linien) wird die Stärke dieser Linien gemessen und so der Kalziumgehalt in der Atmosphäre dieser Sterne ermittelt.

Illustration of the narrow-band filter. Shown are simulated spectra for stars with different contents of heavy elements. By measuring the light in between the two grey lines, we effectively measure how strong the two big calcium features are; which tells us how much calcium the stars have in their atmospheres.

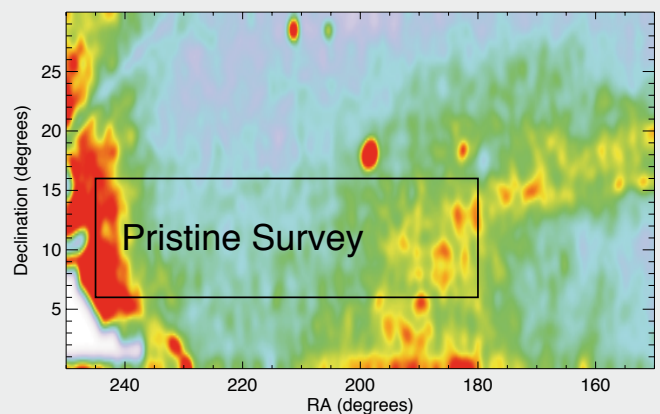
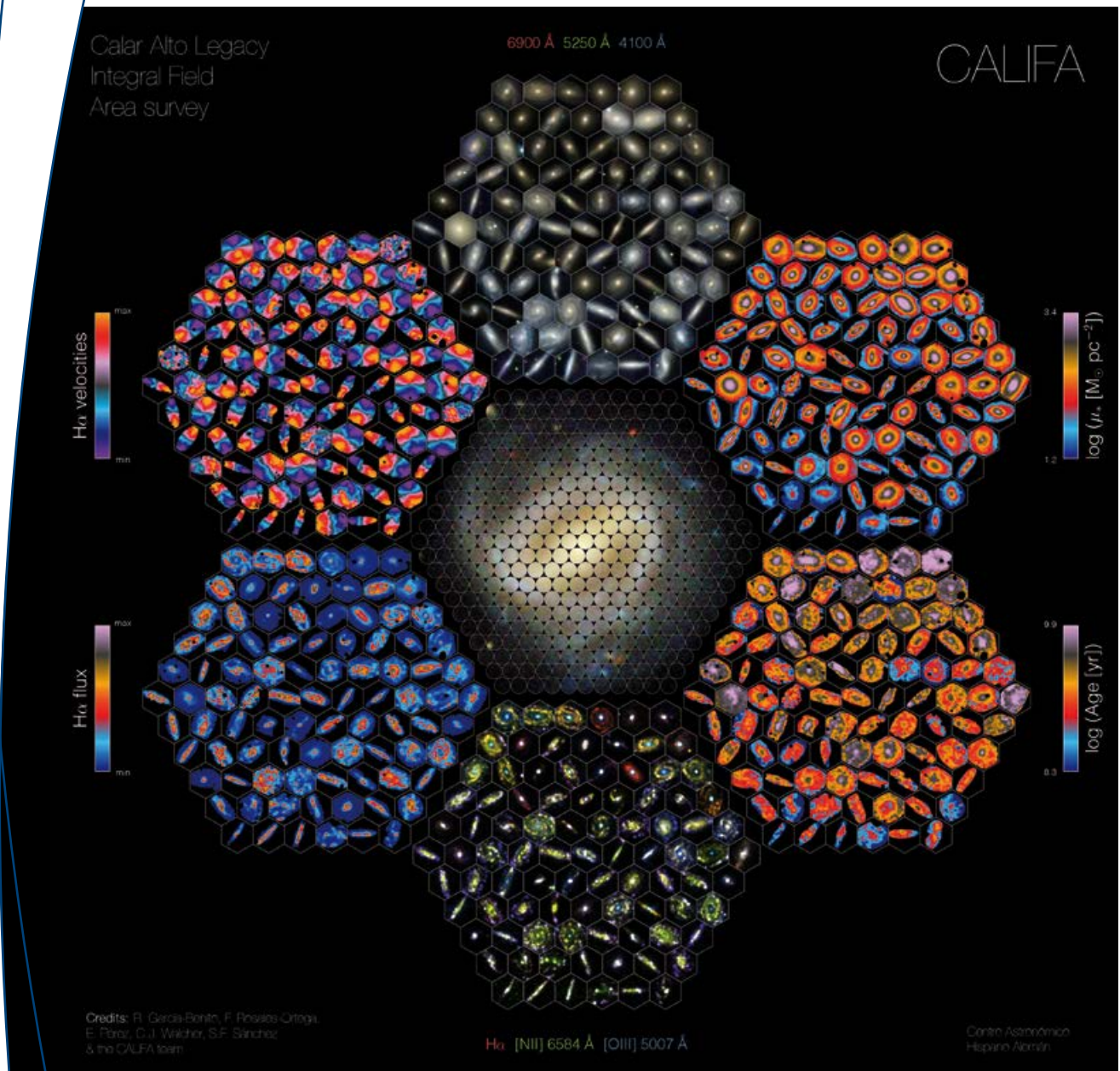


Fig. 2: Bereich der „Pristine“-Himmelsdurchmusterung über einer Dichte-Strukturkarte der Milchstraße basierend auf dem Sloan Digital Sky Survey. Eine Vielzahl von unterschiedlichen galaktischen Umgebungen wird untersucht: sehr dichte mit vielen Sternen nahe der galaktischen Scheibe (linke Seite), sehr dünne Umgebungen (mittig) und mit stellarem Strom (wie der Sagittarius-Strom, rechts). Region of the Pristine survey in 2015 on top of a Milky Way structure density map as seen by the Sloan Digital Sky survey using turn-off stars. We purposely probe a variety of different Galactic environments: from very sparse to very dense (and including the Sagittarius stellar streams shown here on the right).





Physikalische Eigenschaften der Galaxien hergeleitet aus CALIFA-Daten (oben Mitte, dann im Uhrzeigersinn): Verteilung des Sternenlichts, stellare Massendichte, Sternentalter, relative Stärke der Emissionslinien, Wasserstoffemission, Radialgeschwindigkeit. Overview of the physical properties of galaxies derived by the CALIFA survey. Each hexagon shows the spatial distribution of a different quantity; in clockwise order starting at the top: Distribution of stellar light, stellar mass density, stellar age, relative strengths of emission lines, H-alpha flux, radial velocity. (Credits: R. García Benito, F. Rosales Ortega, E. Pérez, C.J. Walcher, S.F. Sánchez & the CALIFA team)

Galaxien und Quasare

Galaxies and Quasars

Galaxien sind hochkomplexe Systeme aus Sternen, Gas und weiteren Bestandteilen einschließlich der mysteriösen „Dunklen Materie“. Die Untersuchung der Entstehung von Galaxien in der Frühphase des Kosmos und ihrer nachfolgenden Entwicklung bis hin zu der heute beobachteten Formen- und Farbenvielfalt stellt eines der zentralen Forschungsfelder der modernen Astrophysik dar. Ist das Erscheinungsbild 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?

Die Verteilungsfunktion der Rotationsgeschwindigkeiten von Galaxien

Die Geschwindigkeiten, mit denen sich Sterne in einer Galaxie auf ihren Bahnen bewegen, hängen wesentlich von der Masse der Galaxie ab. Aus dem spektroskopisch ermittelten Rotationsverhalten von Galaxien (Fig. 1 oben) lassen sich somit Rückschlüsse auf die Galaxienmassen und ihre statistische Verteilung ziehen. Anhand von Daten der internationalen CALIFA-Durchmusterung wurden die Geschwindigkeitsmuster einer repräsentativen Stichprobe von fast 300 Galaxien analysiert und in Beziehung zu den Leuchtkräften dieser Galaxien gesetzt (die sogenannte „Tully-Fisher-Relation“). Durch die Kombination dieser Stichprobe mit weiteren Daten gelang zum ersten Mal eine vollständige Rekonstruktion der statistischen Verteilungsfunktion der Rotationsgeschwindigkeiten von Galaxien (Fig. 1 unten). Im Vergleich zwischen der beobachteten Verteilungsfunktion und verschiedenen theoretischen Prognosen ergeben sich deutliche Diskrepanzen, die auf grundlegende Defizite im gegenwärtigen theoretischen Verständnis der Galaxienentstehung hinweisen.

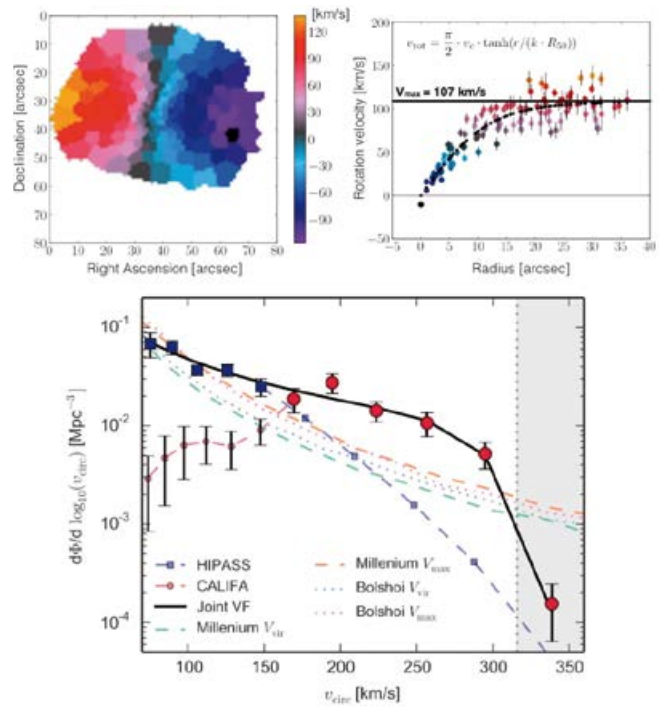


Fig. 1: Links oben: Geschwindigkeitsfeld der CALIFA Galaxie NGC 4210. Die Radialgeschwindigkeiten wurden über die gesamte Ausdehnung der Galaxie gemessen. Rechts oben: Radiale Rotationskurve von NGC 4210. Unten: Kombination der Geschwindigkeitsverteilungsfunktion von CALIFA (rot) und HIPASS (blau). Gestrichelte und gepunktete Linien: Vorhersagen numerischer Simulationen. Top left: Velocity field of the CALIFA galaxy NGC 4210, with radial velocities, measured across the extent of the galaxy. Top right: Radial rotation curve of the same galaxy. Bottom: Combined CALIFA (red symbols) and HIPASS (blue symbols) velocity distribution function. Dashed and dotted lines mark predictions from numerical simulations.

Team 2014/2015:
 Simona Bekeraite, Joseph Caruana, Omar Choudhury, Catrina Diener, Francis Fortin, Maria Haupt, Christian Herenz, Jana Hundro, Sanja Jonic, Josephine Kerutt, Davor Krajnovic, Mirko Krumpe, Daniel Kupko, Georg Lamer, Felix Mackebrandt, Adriana Mancini Pires, Alexey Mints, Justus Neumann, Heike Pruskowsky, Andreas Rabitz, Phila Rembold, Oliver Rieger, Barry Rothberg, Rikke Lund Saust, Kasper Borello Schmidt, Gabriele Schönherr, Robert Schwarz, Axel Schwoppe, Pascal Seeler, Antje Timmermann, Thomas Timon, Sabine Thater, Iris Traulsen, Ugur Ural, Tanya Urrutia, Iva Vilovic, Jakob Walcher, Peter Weilbacher, Maria Werhahn, Lutz Wisotzki (head), Hauke Wörpel

Nachweis extrem leuchtschwacher Galaxien mit MUSE

Die leuchtschwächsten bisher bekannten Galaxien wurden mit dem Hubble-Weltraumteleskop durch Langzeitbelichtungen in ausgewählten Himmelsregionen, sogenannten „Deep Fields“, entdeckt. Allerdings liefert das Hubble-Teleskop von diesen Galaxien nur Bilder, keine Spektren und somit auch keine genauen Entfernungen (Rotverschiebungen). Mit dem neuen hochempfindlichen MUSE-Instrument konnten nun erstmals extrem leuchtschwache Galaxien spektroskopisch erfasst und typisiert werden. Mit einer einzigen 30-stündigen MUSE-Aufnahme des „Hubble Deep Field South“ (Fig. 2) konnten knapp 200 neue Rotverschiebungen in dieser Region ermittelt werden. Bisher waren nur acht davon bekannt. Zusätzlich wurden 26 neue Galaxien entdeckt, die zuvor nicht einmal das Hubble-Teleskop nachgewiesen hat. Damit eröffnete MUSE ein neues Fenster zur Untersuchung der Entstehung und Entwicklung von Galaxien.

Gashüllen um junge Galaxien

Die Entstehung von Galaxien ist ein gradueller Prozess, der kurz nach dem Urknall begann und bis heute anhält. Seit längerem gibt



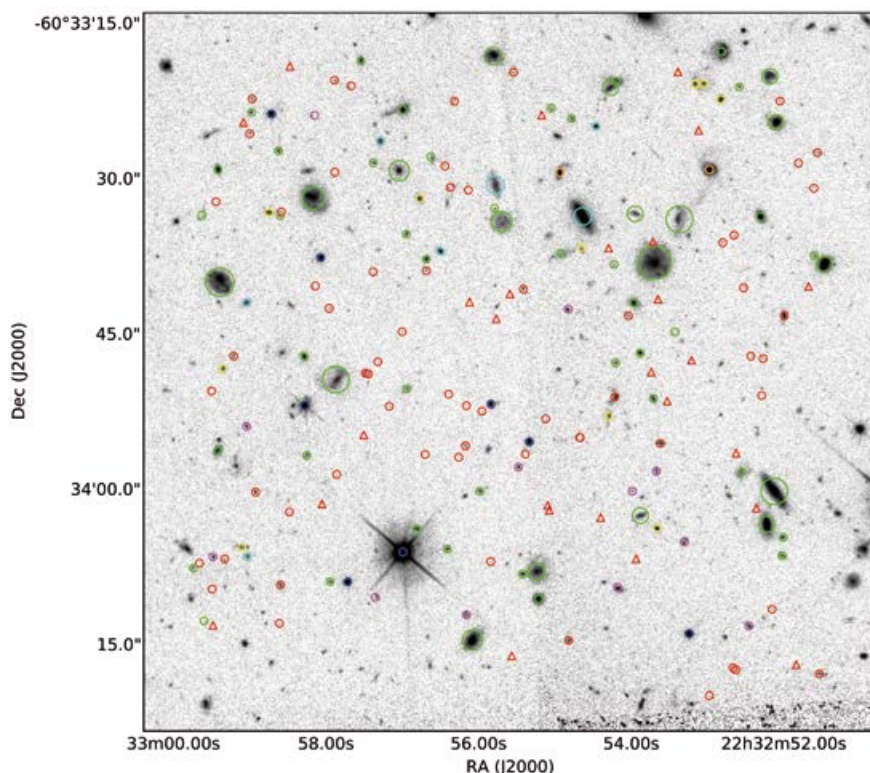


Fig. 2: Mit MUSE neu gemessene galaktische Rotverschiebungen im Hubble Deep Field South. Verschiedene Symbole und Farben markieren unterschiedliche Quelltypen und Rotverschiebungsbereiche. Rote Dreiecke: lichtschwache Galaxien wie sie nur mit MUSE beobachtet werden können. Newly measured galaxy redshifts in the Hubble Deep Field South obtained by the MUSE instrument, superimposed on an image taken with the Hubble Space Telescope. Different symbols and colours represent different source types and redshift ranges; red triangles indicate the locations of galaxies too faint to be detected even by Hubble and only visible through MUSE.

es Hinweise, dass Galaxien – insbesondere im jungen Universum – umgeben sind von erheblichen Gasmengen; allerdings war ein direkter bildhafter Nachweis des „zirkumgalaktischen“ Gases aufgrund unzureichender Empfindlichkeit der Instrumente bisher nicht möglich. Beobachtungen des „Hubble Deep Field South“ mit MUSE (Fig. 2) brachten jetzt den Durchbruch: In einer repräsentativen Stichprobe von Galaxien mit Rotverschiebungen von $z > 3$ wurden in allen Fällen sehr weit ausgedehnte Gashüllen gefunden, die im Licht der Lyman- α -Linie des neutralen Wasserstoffs strahlen (Fig. 3). Diese Hüllen sind im Schnitt mindestens zehnmal größer als die Galaxien selbst und stellen vermutlich das Gasreservoir dar, aus dem sich das Material für das weitere Wachstum dieser jungen Galaxien rekrutiert.

Neutronensterne: Die glorreichen Sieben

Die „glorreichen Sieben“ – benannt nach einem Western der 1960er Jahre – bilden die einzigen bekannten Neutronensterne, bei denen die Neutronenstern-Photosphäre direkt sichtbar ist, ohne Kontamination durch Strahlung aus der Magnetosphäre. Für einen dieser Sterne (mit der Bezeichnung RXJ1605) wurden nun erstmals erfolgreich periodische Helligkeitsschwankungen nachgewiesen. Möglich war dies durch eine ununterbrochene 16-stündige Beobachtung mit dem europäischen Röntgensatelliten XMM-Newton. Aufgrund der aus diesen Daten bestimmten Rotationsperiode von 3,39 Sekunden und der aus der Abbremsrate der Rotation erschließbaren Magnetfeldstärke von $7 \times 1.013 \text{ G}$ unterscheidet sich der Stern deutlich von den anderen Objekten dieser Gruppe und stellt

offenbar ein Verbindungsglied zwischen den Magnetaren – sehr jungen Neutronensternen mit superstarken Magnetfeldern – und den „normalen“ alten Pulsaren dar (Fig. 4).

Galaxies are complex systems made of stars, gas, and other components, in particular the mysterious ‘Dark Matter’. Understanding the formation of galaxies in the early Universe, and their subsequent evolution into the multitude of forms and colours that we observe today, is one of the central challenges of modern astrophysics. 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 nearby galaxies, 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?

The velocity distribution function of galaxies

The motion of stars in a galaxy and their orbital velocities depend strongly on the mass of the galaxy. The rotational behaviour of galaxies, measurable through spectroscopic observations (Fig. 1 top), thus gives clues about the masses of the observed galaxies and their statistical distribution. Using data from the international CALIFA Survey, the rotational patterns of a representative sample of nearly 300 galaxies was analysed and related to their luminosities (the so-called “Tully Fisher Relation”). Combining this sample with other data

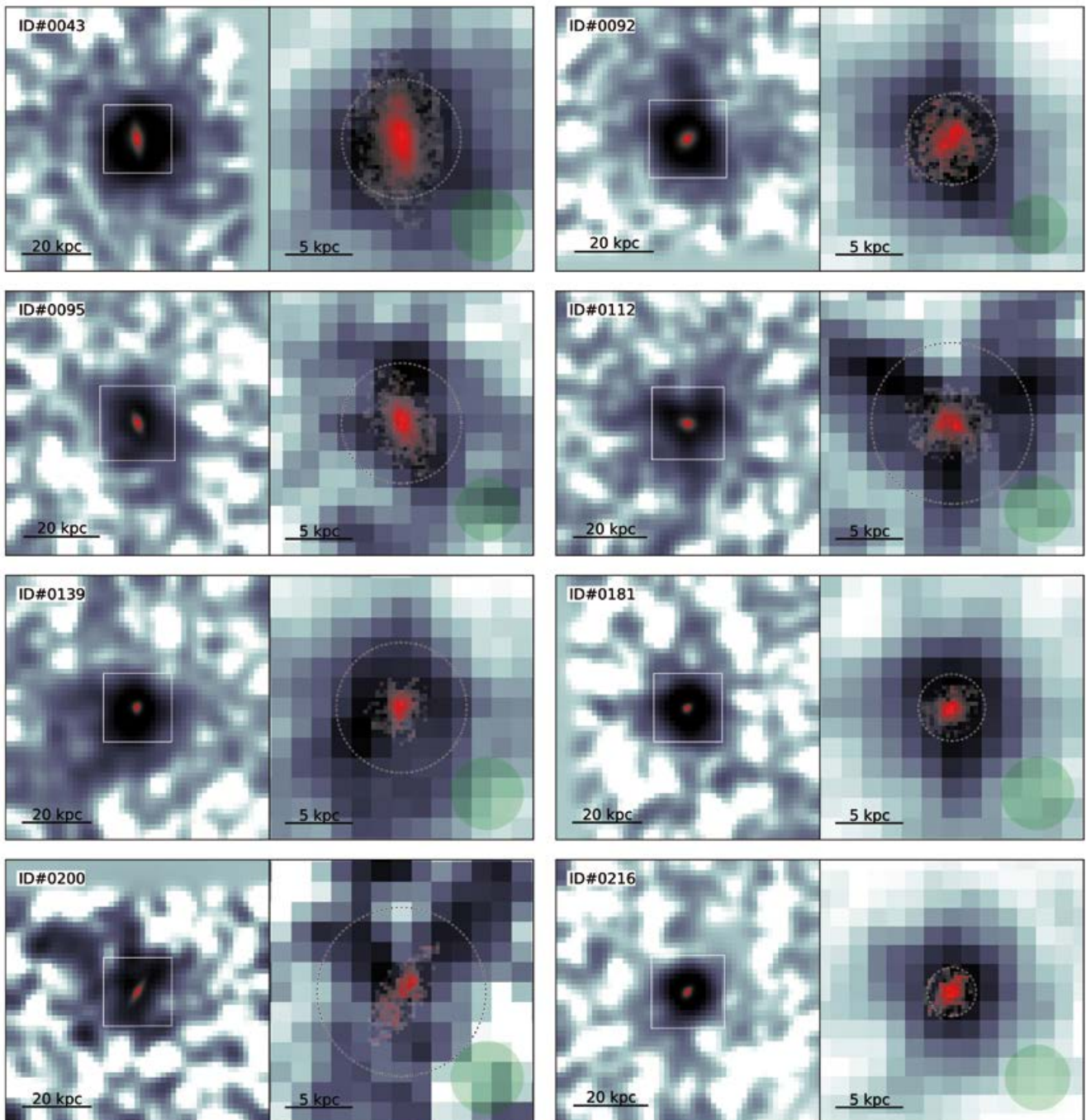


Fig. 3: Beispiele für ausgedehnte Gas-Haloes um hochrotverschobene Galaxien, aufgenommen mit MUSE. Grau: Lyman-alpha-Emission. Rot: Sternenlicht. Jede Galaxie ist zweimal dargestellt. Links: Gesamtansicht. Rechts: Vergrößerung des zentralen Bereichs.

Example of extended gaseous haloes around high-redshift galaxies detected by MUSE. The Lyman alpha emission of the haloes is represented by the grey-scale images, while the stellar light seen by HST is shown in red. Each galaxy is presented twice. Left: a full-field view. Right: zoom view of the central $20 \times 20 \text{ kpc}^2$.



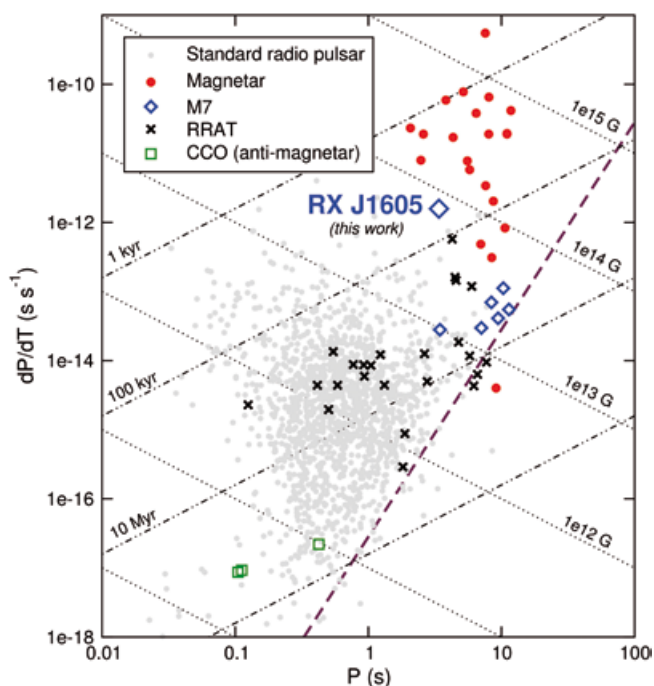


Fig. 4: Beobachtete Beziehung zwischen Rotationsperiode und – pause für verschiedene Arten von Neutronensternen in Relation zu theoretischen Vorhersagen für unterschiedliche Alter und Magnetfeldstärken. Neue Messungen für den Stern RXJ1605 sind blau markiert. Observed relation between rotational period and period braking rate for neutron stars of various types, together with the theoretically expected behaviour for different ages and magnetic field strengths. Our new measurement of the star RXJ1605 is marked by the large blue symbol.

permitted for the first time a reconstruction of the full distribution function of rotational velocities (Fig. 1 bottom). A comparison between the observed distribution and theoretical predictions reveals marked differences, indicating fundamental shortcomings in the current theoretical understanding of galaxy formation.

Ultra-faint galaxies detected with MUSE

The faintest currently known galaxies were discovered by the Hubble Space Telescope through very long exposures in selected regions of the sky (so-called “Deep Fields”). However, Hubble only delivers images of these galaxies, no spectra, so that their accurate distances (redshifts) remain unknown. The new hypersensitive MUSE instrument now facilitated for the first time the spectroscopic classification of such extremely faint galaxies. A single 30-hours exposure with MUSE in the “Hubble Deep Field South” (Fig. 2) yielded almost 200 new redshifts (previously known were eight), including 26 galaxies so faint that even Hubble had not detected them. MUSE has thus opened a new window to study the formation and evolution of galaxies.

Gaseous haloes around young galaxies

The formation of galaxies is a gradual process that started shortly after the Big Bang and continues until today. While several observations indicate that galaxies, especially in the young Universe, are surrounded by substantial amounts of gas, it has so far been impossible to detect this “circumgalactic” gas in emission and map its spatial distribution, because of the insufficient sensitivity of existing instruments. Observations with MUSE of the “Hubble Deep Field South” (Fig. 2) now lead to a breakthrough: In a representative sample of galaxies at

redshifts $z > 3$, all objects were found to have hugely extended gaseous envelopes shining in the light of the Lyman α -line of neutral hydrogen (Fig. 3). These envelopes are on average at least ten times larger than the galaxies themselves, and presumably they constitute the gas reservoir feeding the further growth of these young galaxies.

Neutron stars: The Magnificent Seven

The “Magnificent Seven” – named after a Western of the 1960s – are the only known neutron stars where the bare neutron star photospheres can be inspected, uncontaminated by magnetospheric emission. In one of these stars (named RXJ1605) periodic brightness variations were recently detected, enabled by a continuous 16-hours observation using the XMM-Newton satellite, ESA’s flagship high-energy mission. Given the measured rotation period of 3.38 seconds and the magnetic field strength of about 7×10^{13} G, inferred from the period braking rate, this star is set apart from the other members of this group, constituting a missing link between the magnetars – young neutron stars with superstrong magnetic fields – and the “regular” old pulsars (Fig. 4).

Ausgewählte Publikationen

Selected publications

Bacon, R., ..., Wisotzki, L., ..., Herenz, C., ... Kerutt, J., ... Krajinovic, D., ... Steinmetz, M., Urrutia, T., Weilbacher, P., ... (2015): **The MUSE 3D view of the Hubble Deep Field South**, *Astronomy & Astrophysics* 575, 32.

Kamann, S., Wisotzki, L., Roth, M. M., Gerssen, J., Husser, T.-O., Sandin, C., Weilbacher, P. (2014): **The central dynamics of M3, M13, and M92: stringent limits on the masses of intermediate-mass black holes**, *Astronomy & Astrophysics* 566, 58

Krajinović, D., Weilbacher, P. M., Urrutia, T., ..., Steinmetz, M. (2015): **Unveiling the counter-rotating nature of the kinematically distinct core in NGC 5813 with MUSE**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 2.

Krumpe, M., Miyaji, T., Husemann, B., Fanidakis, N., Coil, A. L., Aceves, H. (2014): **The Spatial Clustering of ROSAT All-Sky Survey Active Galactic Nuclei. IV. More Massive Black Holes Reside in More Massive Dark Matter Halos**, *The Astrophysical Journal* 815, 23.

Kyba, C. C. M., ..., Schwobe, A. D., ... (2014): **Worldwide variations in artificial skyglow**, *Nature Scientific Reports* 5, 8409.

Pires, A. M., Haberl, F., Zavlin, V. E., Motch, C., Zane, S., Hohle, M. M. (2014): **XMM-Newton reveals a candidate period for the spin of the "Magnificent Seven" neutron star RX J1605.3+3249**, *Astronomy & Astrophysics* 563, 12.

Schulze, A., Wisotzki, L. (2014): **Accounting for selection effects in the BH-bulge relations: no evidence for cosmological evolution**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 438, 3422.

Schwobe, A., Thinius, B. D. (2014): **On the ephemeris of HU Aqr**, *Astronomische Nachrichten* 335, 357.

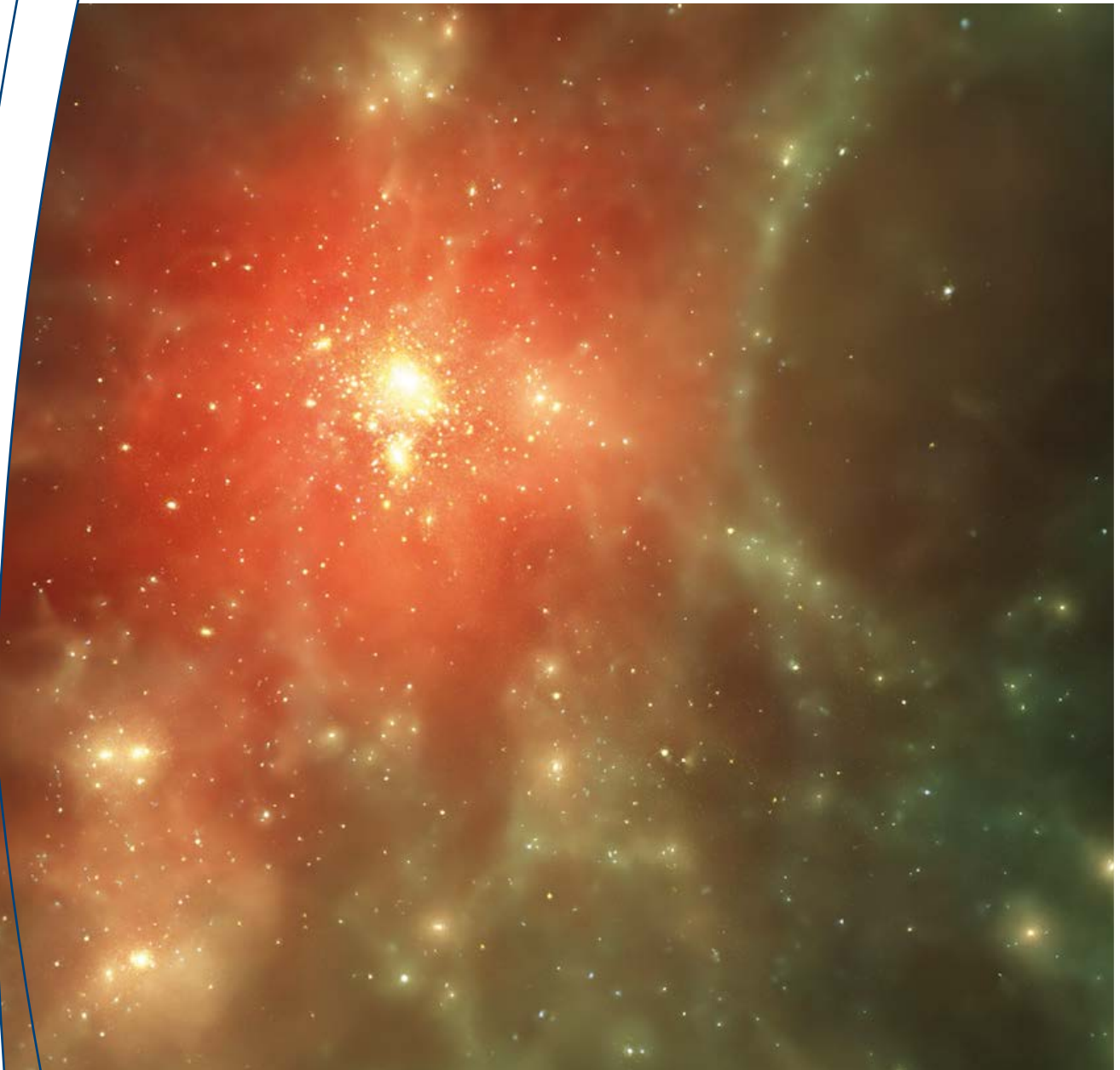
Walcher, C. J., Wisotzki, L., Bekeraité, S., Husemann, B., ..., Backsmann, N., ..., Monreal Ibero, A., ..., Roth, M. M., ... (2014): **CALIFA: a diameter-selected sample for an integral field spectroscopy galaxy survey**, *Astronomy & Astrophysics* 569, 18.

Walcher, C. J., Coelho, P. R. T., Gallazzi, A., Bruzual, G., Charlot, S., Chiappini, C. (2015): **Abundance patterns in early-type galaxies: is there a "knee" in the [Fe/H] vs. [α/Fe] relation?** *Astronomy & Astrophysics* 582, 20.



Front row: Davor Krajinovic, Andreas Rabitz, Kasper Schmidt, Jakob Walcher, Georg Lamer, Omar Choudhury, Catrina Diener, Hauke Wörpel, Khadiga Mahmoud, Rikke Saust, Sabine Thater
Second row: Lutz Wisotzki, Iva Vukovic, Josie Kerutt, Peter Weilbacher, Sanja Jonic, Martin Mitzkus, Adriana Pires, Mirko Krumpe, Iris Traulsen, Antje Timmermann, Axel Schwobe, Samet Ok





*Hydrodynamische Simulation eines Galaxienhaufens.
Hydrodynamical simulation of a galaxy cluster. (Credit:Gustavo Yepes (UAM))*

Kosmologie und großräumige
Strukturen

Cosmology and Large-scale
Structures

Die Kosmologie ist die Wissenschaft, die den Ursprung und die Entwicklung des Universums als Ganzes erforscht. Die heute beobachteten kosmischen Strukturen entstanden in den letzten 13,8 Milliarden Jahren aus einem ursprünglich nahezu homogenen Medium. Die Galaxien sind entlang eines Netzes von Filamenten aufgereiht, das riesige kosmische Leerräume umspannt: das „Cosmic Web“. An dessen Knotenpunkten häufen sich Dunkle und leuchtende Materie in Halos an. Die Existenz der Dunklen Materie kann nur über ihre gravitative Wirkung nachgewiesen werden, während die leuchtende Materie (auch „baryonische Materie“ genannt) direkt in der Vielfalt der Galaxien beobachtet wird. Die wissenschaftlichen Untersuchungen basieren sowohl auf Computersimulationen, als auch auf Beobachtungen der Entwicklung der kosmischen Strukturen von den ersten Galaxien, die das Universum re-ionisiert haben, bis zu den heutigen Galaxienpopulationen und den Eigenschaften des intergalaktischen Mediums. In den Simulationen ist zu sehen, wie Ansammlungen von Dunkler und baryonischer Materie aufgrund der anziehenden Wirkung der Gravitation wachsen und hydrodynamische Prozesse im Gas letztendlich zur Entstehung von Sternen führen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Rückwirkung – auch als „feedback“ bezeichnet – der entstandenen Sterne und Schwarzen Löcher auf die Eigenschaften des kosmischen Gases. Die aufwendigen Computersimulationen werden auf europäischen Supercomputern und einem Computercluster am AIP gerechnet und ausgewertet.

Nahfeld-Kosmologie mit CLUES-Simulationen

Die Lokale Gruppe und ihre Umgebung sind das am besten beobachtete Gebiet des Universums. Nur in unserer unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft kann man die Strukturentstehung auf so kleinen Skalen wie denen der massearmen Zwerggalaxien studieren. Das Hauptziel des CLUES-Projektes (CLUES steht für Constrained Local Universe Simulations) ist es, die Entwicklung des lokalen Universums numerisch zu simulieren und auf diese Weise mit einzigartiger Genauigkeit die komplexen Prozesse zu studieren, die zur Entstehung von Galaxien führen. Die Vorhersagen der Computersimulationen können direkt mit den detaillierten Beobachtungen unserer kosmischen Nachbarschaft verglichen werden. In den vergangenen Jahren sind neue Beobachtungsdaten verfügbar geworden: die Positionen und Ge-

Team 2014/2015:

Metin Ata, Maria del Pilar Bonilla-Tobar, Philipp Busch, Peter Creasey, Chia-Hsun Chuang, Stefan Gottlöber (head), Giovanni Guidi, Quan Guo, Anne Hutter, Steffen Heß, Ondrej Jaura, Francisco Shu Kitaura, Noam Libeskind, Martin Lüders, Umberto Maio, Volker Müller, Jan Peter Mückel, Juan Carlos Munoz-Cuertas, Sebastián E. Nuza, Isha Pahwa, Pierre-Antoine Poulhazan, Cecilia Scannapieco, Jenny Sorce, Isabel Suárez-Velasquez, Matthias Steinmetz, Maneenate Wechakama

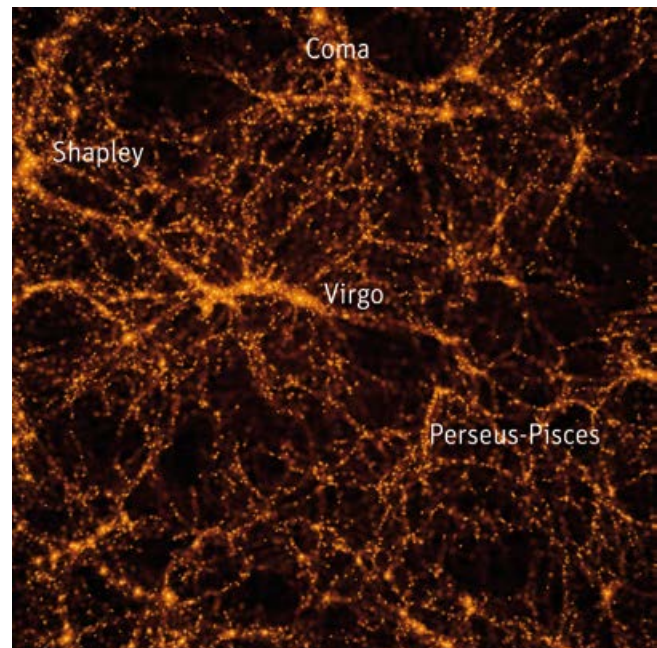


Fig. 1: Heutige Verteilung der Dunklen Materie in einer Scheibe von 1,5 Milliarden Lichtjahren Seitenlänge in der Umgebung der Milchstraße. Einige bekannte Galaxienhaufen (Virgo, Coma, Shapley und Perseus-Pisces) sind markiert. Dark matter distribution at present within a slice of 1.5 billion light years around the Milky Way which is in the centre of the plot. A few well known clusters of galaxies (Virgo, Coma, Shapley and Perseus-Pisces) are marked.

schwindigkeiten von mehr als 3.000 Galaxien bis zu einer Entfernung von 400 Millionen Lichtjahren und von weiteren 2.000 Galaxien mit einer Entfernung von bis zu 600 Millionen Lichtjahren. Auf Grundlage dieser Beobachtungsdaten kann die Entstehung des lokalen Universums rekonstruiert und sogenannte Nahfeld-Kosmologie betrieben werden. Fig. 1 zeigt die simulierten Strukturen und numerischen Gegenstücke einiger bekannter Galaxienhaufen in der Umgebung der Milchstraße.

Zwerggalaxien in der Lokalen Gruppe

Die Analyse der besten verfügbaren Daten über die Bewegung von Galaxien in unserer Nachbarschaft führte zur Entdeckung einer Brücke aus Dunkler Materie, die sich von der Lokalen Gruppe bis hin zum Virgohaufen erstreckt (Fig. 2). Diese Brücke hat eine Masse von etwa 2.000 Galaxien und befindet sich in ungefähr 50 Millionen Lichtjahren Entfernung. Sie ist auf jeder Seite von riesigen Leerräumen umgeben, die keinerlei Galaxien enthalten. Dank dieser Entdeckung konnte ein 40 Jahre altes Problem gelöst werden, das die merkwürdige Verteilung von sehr lichtschwachen Zwerggalaxien betrifft, wie sie in der Umgebung großer Galaxien wie unserer Milchstraße häufig vorkommen. Besonders faszinierend ist die Tatsache, dass diese Satellitengalaxien nicht zufällig herumfliegen, sondern sich in einer riesigen, flachen und möglicherweise rotierenden Scheibe bewegen. Solche Strukturen ergeben



sich nicht aus dem kosmologischen Modell mit kalter Dunkler Materie, das ansonsten, wie die meisten Kosmologen glauben, die Entstehung von Galaxien im Universum korrekt beschreibt. Die neuentdeckten flachen Strukturen stellen die gegenwärtige Lehrmeinung daher zur Diskussion. Zum ersten Mal konnte durch Beobachtungen verifiziert werden, dass sich Zwerggalaxien entlang gewaltiger Brücken aus Dunkler Materie bewegen. Diese kosmischen „Superautobahnen“ bieten den dahinrasenden Satelliten eine Rampe, entlang derer sie in Richtung Milchstraße, Andromeda oder Centaurus A gebeamt werden.

Die Entwicklung der Milchstraße

Hydrodynamische Simulationen, die die Entwicklung der baryonischen und der Dunklen Materie im Universum verfolgen, sind ein sehr leistungsfähiges Werkzeug, um die Beziehung zwischen einzelnen Galaxieneigenschaften wie ihrer Morphologie oder Sternentstehungsrate, der Häufigkeit und Bedeutung von Verschmelzungsprozessen oder ihre Gasakkretion zu studieren. Die Umgebung, in der die Galaxien leben, spielt eine wichtige Rolle bei der Bestimmung ihrer Eigenschaften. Galaxien, wie unsere Milchstraße oder Andromeda, die in einer Gruppe von Galaxien leben, haben im Vergleich zu Galaxien in isolierten Gebieten des Universums höhere Sternentstehungsraten (Fig. 3). Das ist ein Hinweis darauf, dass in ihrer Umgebung mehr Gas

vorhanden ist, das auf die Galaxie einströmen kann. Demgegenüber scheint die Morphologie nicht wesentlich durch die großräumige Umgebung beeinflusst zu sein, sondern eher von der speziellen Verschmelzungs- und Akkretionsgeschichte der Galaxie, die das Überleben oder die Zerstörung von Scheiben im Laufe der kosmischen Zeit bestimmt.

Die Natur der Dunklen Materie

Das heutige Verständnis des Universums beruht auf der Annahme, dass die Dunkle Materie kalt ist, d.h. keine thermische Eigenbewegung hat. Ihr Kollaps führt zur Entstehung von kosmologischen Strukturen. In diesem einfachen Modell werden allerdings mehr Satellitengalaxien und Substrukturen vorhergesagt als sie beobachtet werden. Wenn man annimmt, dass die Dunkle Materie warm ist, also aus Teilchen mit kleinen thermischen Eigenbewegungen besteht, kann man diesen Widerspruch lösen. In Fig. 4 wird das im frühen Universum vorausgesagte „Cosmic Web“ als Temperaturkarte sowohl für ein Modell mit kalter als auch warmer Dunkler Materie dargestellt. Die fundamentale Natur der Dunklen Materie hat tiefgreifende Auswirkungen für viele astrophysikalische und kosmologische Beobachtungen, wie etwa die Statistik von Gravitationslinsen, das Clustering der Galaxien, die Gestalt von Halos und Subhalos, die Eigenschaften von kosmischen Filamenten, die Struktur des intergalaktischen

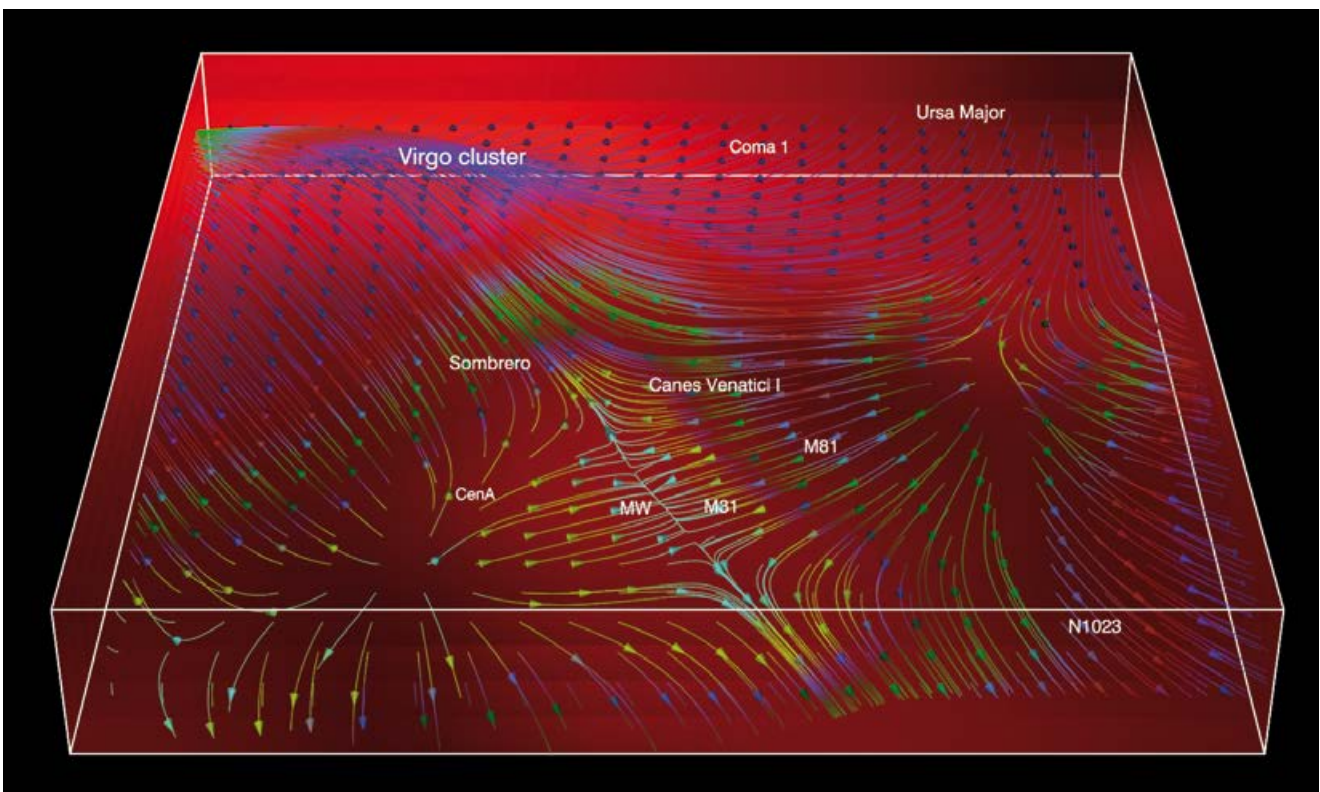


Fig. 2: Die kosmischen „Autobahnen“ entlang der Brücke zwischen Milchstraße (MW) und Andromeda (M31) in Richtung Virgo.
The cosmic highways of motion along the bridge from Milky Way (MW) and Andromeda (M31) towards Virgo.

Gases, die Re-Ionisation und die Entstehung der ersten frühzeitlichen Galaxien.

Baryonische Akustische Oszillationen (BAO)

Die Verteilung der Galaxien auf sehr großen Skalen beinhaltet kostbare Information über den Ursprung und das Schicksal des Universums. Die Beobachtungsdaten können mittels aufwendiger kosmologischer Simulationen interpretiert werden. Die Entwicklung neuer schneller Algorithmen ermöglicht es, die Strukturentstehung im Universum und die komplexe Beziehung zwischen der Galaxienverteilung und dem zugrundeliegenden Feld aus Dunkler Materie präzise zu modellieren. Diese Techniken erlauben es, tausende synthetische Galaxienkataloge zu erzeugen, die die Clusterbildung roter leuchtkräftiger Galaxien des BOSS Surveys reproduzieren. Die Kataloge wurden verwendet, um die sogenannten baryonischen akustischen Oszillationen und Verzerrungen im Rotverschiebungsraum zu analysieren.

Cosmology is science at the largest scales, examining the origin and fate of the Universe as a whole. Over the past 13.8 billion years of cosmic history, large-scale structures grew out of an almost homogeneous medium – when the Universe was in its infancy – into a vast network of filaments and voids known as the cosmic web, as seen today. Within this framework, matter collapses into haloes that consist of dark and luminous components. The existence of dark matter is inferred by its gravitational effect on luminous (also termed baryonic) matter, seen today as a rich and diverse population of galaxies. The research program “Cosmology and Large-scale Structures” is based on simulations and observations of the evolution of cosmic structures from the first galaxies that formed and then re-ionised the Universe, to the present galaxy population and the intergalactic medium. Such simulations follow the gravitational clustering of dark and baryonic matter, hydrodynamic processes associated with gas, the formation of stars and black holes and their back reaction known as “feedback”. The required computationally expensive simulations are performed on European supercomputers as well as on the AIP computer cluster.

Near Field Cosmology with Constrained Simulations

The Local Group and its environment is the most well observed region of the Universe. Only in this unique environment can one study structure formation on scales as small as low mass dwarf galaxies. The main goal of the CLUES (Constrained Local Universe Simulations) project is to simulate the evolution of the local Universe. Such simulations are used for unprecedented analysis of the complex dark matter and gas-dynamical processes governing the formation of galaxies. The predictions of these computer experiments can easily be compared with the detailed observations of our galactic neighbourhood. Recently new observational data became available: the positions and velocities of more than 3,000 galaxies within a distance of up to 400 million light years and another 2,000 galaxies with distances of up to 600 million light years. Based on these observational data the formation of the local Universe can be reconstructed to study the near field cosmology. Fig. 1 shows the simulated structure

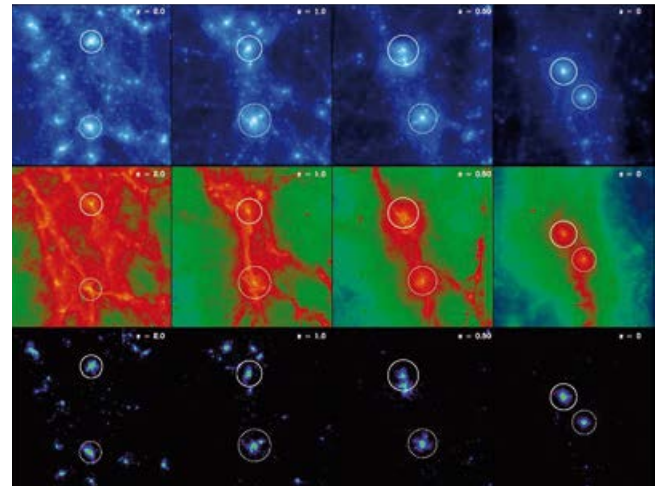


Fig. 3: Die simulierten dunklen, gasförmigen und stellaren Materiekomponenten (von oben nach unten) in der Umgebung der Milchstraße (Kreis) und Andromeda (gestrichelter Kreis) zum heutigen Zeitpunkt sowie vor 5, 8 und 10,5 Milliarden Jahren (von rechts nach links). The simulated dark, gaseous and stellar (from top to bottom) matter components around the Milky Way (solid circle) and Andromeda (dashed circle) at present and 5 billion years ago, 8 billion years ago, 10.5 billion years ago (from right to left).

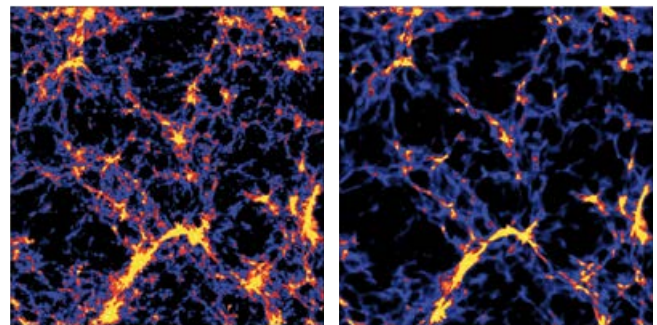


Fig. 4: Temperaturkarten des kosmischen Gases in Strukturen, die sich in einem Universum mit kalter (links) oder warmer (rechts) Dunkler Materie etwa eine Milliarde Jahre nach dem Urknall formten. Die Gastemperaturen schwanken zwischen unter 100 K (blau), 1.000 K (rot) und bis 10.000 K (gelb). Temperature maps of cosmic gas in structures formed in a cold (left) or warm (right) dark-matter Universe about 1 billion years after the Big Bang. Gas temperatures vary from below 100 K (blue) to 1,000 K (red) or 10,000 K (yellow).



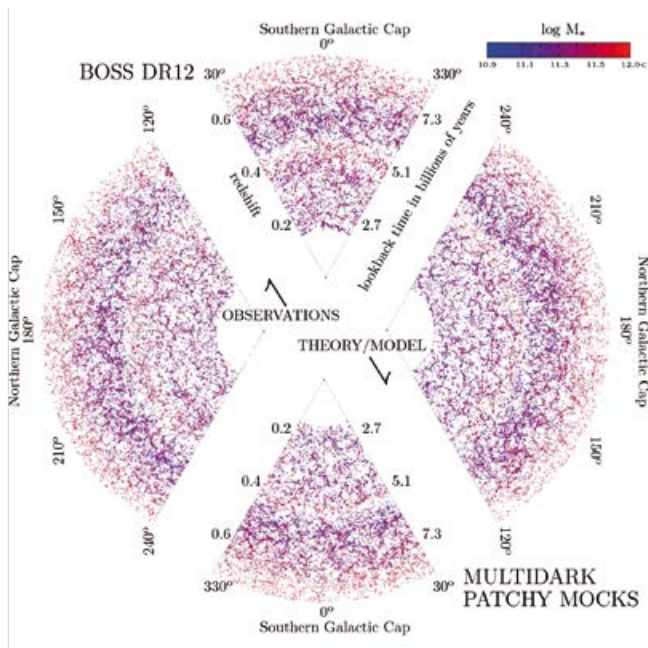


Fig. 5: Das obere und linke Viertel des Kreisdiagramms zeigen eine Scheibe der beobachteten Galaxienverteilung im Vergleich zur simulierten Verteilung in den anderen zwei Quadranten. Die radiale Entfernung der Objekte entspricht der seit der Ausstrahlung des Lichtes vergangenen Zeit bzw. der Rotverschiebung der Galaxien. The upper and left quarter of the pie chart show a slice of the observed distribution of galaxies which can be compared to the modelled one in the other two quarters. The radial distance of objects corresponds to the look-back time resp. redshift of the galaxies.

and numerical counterparts of a few well known clusters around the Milky Way.

Dwarf Galaxies in the Local Group

Using the best available data of galactic traffic in our neighbourhood, a bridge of dark matter stretching from our Local Group all the way to the Virgo cluster has been discovered (Fig 2). This bridge consists of a huge mass of some 2,000 galaxies roughly 50 million light years away and is bound on either side by vast bubbles completely devoid of galaxies. This discovery helps to understand a 40 year old problem regarding the curious distribution of the dim dwarf galaxies in our neighbourhood. They are often found swarming around larger galaxies like our own Milky Way. A particularly fascinating aspect of their existence is that these satellites do not just fly around randomly, but are instead compressed onto vast, flat, possibly spinning, planes. Such structures are not a naive outcome of the Cold Dark Matter model that most cosmologists believe is responsible for how the Universe forms galaxies. These structures are thus a challenge to the current doctrine. This is the first time one has had observational verification that

large filamentary super highways are channelling dwarf galaxies across the cosmos along magnificent bridges of dark matter. This cosmic “super highway” gives the speeding satellites an off ramp along which they can be beamed towards the Milky Way, Andromeda or Centaurus A.

The evolution of the Milky Way

Hydrodynamical simulations which follow the evolution of the baryonic and dark matter components of the Universe are a very powerful tool to investigate the relation between galaxy properties like their morphology or star formation rate and the occurrence and importance of mergers and gas accretion. The environment of galaxies plays an important role in the determination of these properties. Galaxies like the Milky Way or Andromeda which live in a group-like environment (Fig. 3) have higher star formation rates compared to galaxies in more isolated regions of the Universe, which is an indication of the higher levels of gas available for accretion. In contrast, their morphology does not seem to be strongly affected by the environment at large scales, but rather to the particular merger and accretion history that determines the survival or destruction of disks along cosmic time.

The nature of Dark Matter

The most common understanding of the Universe relies on the assumption that dark matter is cold, i.e. it has no thermal velocity. Its collapse leads to the formation of cosmological structures at all times. In this simple model the number of satellites and substructures is overpredicted with respect to observations. However, if dark matter were made by warm particles that have a small thermal velocity this discrepancy can be solved. An example of the expected primordial 'cosmic web' simulated for both a cold and a warm dark matter Universe is given in the temperature maps of Fig. 4. The fundamental nature of dark matter has profound implications for many astrophysical and cosmological observations, like lensing statistics, clustering of galaxies, shape of haloes and sub-haloes, properties of cosmic filaments, structure of intergalactic gas, re-ionisation and the primordial galaxy formation.

Baryonic Acoustic Oscillations (BAO)

The distribution of galaxies on very large scales encodes valuable information about the origin and fate of the Universe. The observed information can be interpreted with expensive cosmological simulations. The development of new fast algorithms allows to accurately model structure formation and the biased relation between the galaxy distribution and the underlying dark matter field. In particular, these new techniques helped to generate thousands of synthetic galaxy catalogues reproducing the clustering of the BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey) luminous red galaxies. These catalogues are being used to analyze the baryon acoustic oscillations and the redshift space distortions from the data.

Ausgewählte Publikationen

Selected publications

Nuza, S. E.; Kitaura, F.-S.; Heß, S.; Libeskind, N. I.; Müller, V. (2014), **The cosmic web of the Local Universe: cosmic variance, matter content and its relation to galaxy morphology**, MNRAS 445, 998.

Libeskind, N. I.; Knebe, A.; Hoffman, Y.; Gottlöber, S. (2014), **The universal nature of subhalo accretion**, MNRAS 443, 1274.

Nuza, S. E.; Parisi, F.; Scannapieco, C.; Richter, P.; Gottlöber, S.; Steinmetz, M. (2014), **The distribution of gas in the Local Group from constrained cosmological simulations: the case for Andromeda and the Milky Way galaxies**, MNRAS 441, 2593,

Watson, W. A.; Iliev, I.T.; Diego, J. M.; Gottlöber, S.; Knebe, A.; Martínez-González, E.; Yepes, G. (2014), **Statistics of extreme objects in the Juropa Hubble Volume simulation**, MNRAS 437, 3776.

Sorce, J. G.; Courtois, H. M.; Gottlöber, S.; Hoffman, Y.; Tully, R. B. (2014), **Simulations of the Local Universe constrained by observational peculiar velocities**, MNRAS 437, 358.

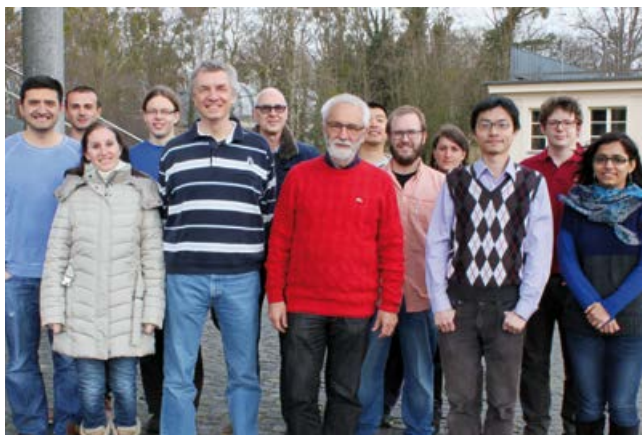
Maio, U.; Tescari, E. (2015), **Origin of cosmic chemical abundances**, MNRAS 453, 3798.

Guo, Q.; Tempel, E.; Libeskind, N. I. (2015), **Galaxies in Filaments have More Satellites: The Influence of the Cosmic Web on the Satellite Luminosity Function in the SDSS**, MNRAS 800, 112.

Benítez-Llambay, A.; Navarro, J. F.; Abadi, M. G.; Gottlöber, S.; Yepes, G.; Hoffman, Y.; Steinmetz, M. (2015), **The imprint of reionization on the star formation histories of dwarf galaxies**, MNRAS 450, 4207.

Kitaura, F.-S.; Gil-Marín, H.; Scóccola, C. G.; Chuang, C.-H.; Müller, V.; Yepes, G.; Prada, F. (2015), **Constraining the halo bispectrum in real and redshift space from perturbation theory and non-linear stochastic bias**, MNRAS 450, 1836.

Creasey, P.; Scannapieco, C.; Nuza, S. E.; Yepes, G.; Gottlöber, S.; Steinmetz, M. (2015), **The Effect of Environment On Milky Way-Mass Galaxies in a Constrained Simulation of the Local Group**, APJ 800, 4.



Metin Ata, Giovanni Guidi, Cecilia Scannapieco, Martin Lüders, Matthias Steinmetz, Jan Peter Mückel, Stefan Gottlöber, Quan Guo, Noam Libeskind, Jenny Sorce, Chia-Hsun Chuang, Pierre-Antoine Poulhazan, Isha Phawa



Galaxientstehung

Galaxy Formation

Beobachtungen der Galaxien-Populationen im Universum zeigen, dass die Morphologien, Sternentstehungsgeschichten und dynamischen und chemischen Eigenschaften von Galaxien sehr vielfältig sind. Im kosmologischen Modell der kalten Dunklen Materie (Lambda-Cold Dark Matter Model) ist der Prozess der Strukturbildung hierarchisch: Galaxien wachsen durch die Anhäufung von Materie und über Verschmelzungsprozesse. Die kleinsten Galaxien bilden sich zuerst, gefolgt von immer massereicheren Systemen, so dass hierarchische Strukturen entstehen, die sich hochgradig nichtlinear entwickeln. Dank numerischer Simulationen kann die Entwicklung von Galaxien von einer sehr frühen Epoche aus bis zum heutigen Tag studiert werden.

Die Entwicklung der Galaxien-Morphologie

Galaxien können durch zwei Hauptkomponenten beschrieben werden: „Scheiben“, in denen sich die leuchtende Materie in einer durch die Zentrifugalkraft gestützten, rotierenden scheibenartigen Struktur aus Gas und Sternen anordnet und „Bulges“, in denen sich die leuchtende Materie in einer durch zufällige Bewegungsmuster geprägten sphärischen Struktur verteilt. Die relativen Beiträge der Scheibe und des „Bulge“ zur gesamten Leuchtkraft entscheiden schließlich, ob eine Galaxie zur Klasse der (Scheiben-dominierten) Spiralgalaxien oder zu den (Bulge-dominierten) elliptischen Galaxien gehört. Unsere Simulationen haben gezeigt, dass morphologische Übergänge möglich sind: als Konsequenz interner Instabilitäten der Scheibe, wie

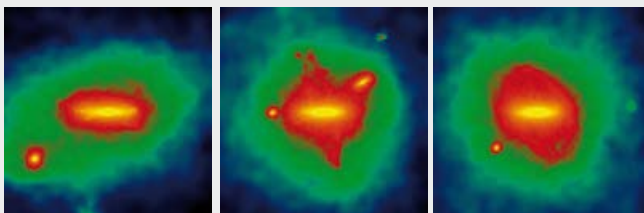


Fig. 1: Verformung einer Scheibengalaxie in ein eher sphärisches System, nachdem sie mehrere Verschmelzungsprozesse erfahren hat. Die Farben repräsentieren die Masseverteilung der Sterne und entsprechen kosmischen Zeiten von 8,3, 11,9 und 13,4 Milliarden Jahren (heute). Illustration of how a disk galaxy is transformed into a more spheroidal system after it experiences various merger events. The colours represent the stellar mass density distribution and correspond, respectively, to cosmic times of 8.3, 11.9 and 13.4 billion years (present-day).

beispielsweise der Ausbildung eines Balkens oder durch extern getriebene Instabilitäten wie Verschmelzungsprozesse, Wechselwirkungen mit anderen Galaxien oder fehlgeleitete Akkretion von Gas des Interstellaren Mediums. Im Allgemeinen führen alle diese Prozesse zu einer teilweisen oder gänzlichen Zerstörung stellarer Scheiben.

Morphologie und Umgebung

Verschmelzungsprozesse und Akkretion von Gas sind allgegenwärtige Prozesse. Ihr Vorkommen und ihr Einfluss hängen von der kosmischen Zeit und von der Umgebung ab. Galaxien in Umgebungen mit hoher Dichte erfahren Verschmelzungsprozesse mit höherer Frequenz und sollten daher, statistisch betrachtet, im Vergleich zu isolierteren Galaxien weniger Scheiben-dominiert sein. Unsere Milchstraße ist gemeinsam mit einer weiteren Scheibengalaxie vergleichbarer Masse, der Andromeda-Galaxie, in der so genannten „Lokalen Gruppe“ beheimatet. Simulationen der Galaxien der Lokalen Gruppe zeigen, dass in ihnen mehr Sterne entstehen als in Galaxien in isolierterer Umgebung. Dieses Phänomen erklärt sich dadurch, dass Galaxien in Gruppen ihren Gasvorrat durch Akkretion leichter wieder auffüllen können. Im Gegensatz zu Verschmelzungsprozessen, deren Effekte mehr von den lokalen Prozessen im Zentrum der Galaxien abhängen, ist Akkretion ein übergreifender Prozess, der als Bindeglied zwischen den internen Eigenschaften von Galaxien und der Verteilung von Materie auf großen Skalen fungiert.

Dynamische und chemische Eigenschaften von simulierten und beobachteten Galaxien

Ein wichtiger Aspekt beim Studium der Galaxientstehung mit Hilfe von Simulationen ist der direkte Vergleich simulierter und beobachteter Galaxien. Dieser erlaubt, über den Erfolg oder Misserfolg eines Modells zu entscheiden und zu verstehen, welche physikalischen Prozesse im Laufe eines Galaxienlebens relevant sind. Galaxieneigenschaften wie Magnituden, Farben, Sternentstehungsraten, Gas- und Stern-Metallizitäten und Sternalter können für simulierte Galaxien berechnet und mit Beobachtungsdaten verglichen werden. Beobachtungen unterliegen jedoch immer gewissen Selektionseffekten. Darum ist es für einen soliden Vergleich grundlegend, diese Auswahl-effekte zu berücksichtigen. Unser Team erstellte daher synthetische Datenkuben auf der Grundlage von Strahlungstransportrechnungen und produzierte geeignete Bilder und Spektren simulierter Galaxien für die Gegenüberstellung mit Beobachtungsdaten.

Chemische Eigenschaften von Galaxien

In den letzten Jahrzehnten gab es erhebliche Fortschritte in der Bestimmung der chemischen Eigenschaften von Sternen in der

Milchstraße und von Sternpopulationen und interstellarem Gas in anderen Galaxien. Die chemische Entwicklung von Galaxien wird in Simulationen untersucht, die die Produktion von chemischen Elementen im Inneren von Sternen und ihre Freisetzung in das interstellare Medium verfolgen. Die Hauptkanäle der chemischen Anreicherung sind Typ II und Typ Ia Supernova-Explosionen und Sterne in der AGB-Phase, die in den Simulationen modelliert werden. Die chemischen Häufigkeiten eines Sterns stehen bereits zum Zeitpunkt seiner Entstehung fest – daher können wir über die chemischen Eigenschaften von Sternen unterschiedlichen Alters Galaxien aus verschiedenen kosmischen Epochen „sehen“. Die chemischen Eigenschaften des Gases sind hingegen eine Momentaufnahme der Galaxie und geben Auskunft über den aktuellen physikalischen Zustand eines Systems. Unsere chemischen Modelle zeigen, wie ein gegebener physikalischer Prozess die chemischen Eigenschaften von Galaxien beeinflusst und geben damit Auskunft über die chemische Entwicklung des Universums.

Observations of the galaxy population in the Universe show that galaxies have a wide variety of morphologies, star formation histories and dynamical and chemical properties. In the context of the prevailing cosmological paradigm, the Lambda-Cold Dark Matter model, structure formation is hierarchical, and galaxies grow via aggregation of matter and mergers. The smallest galaxies form first, and increasingly more massive systems form later on, creating a hierarchy of structures that evolve in a highly non-linear manner. Numerical simulations are a powerful tool to investigate how galaxies form, offering the possibility to study their evolution from very early epochs to the present time.

The evolution of galaxy morphology

Galaxies come in a wide range of types, and are usually well described by a superposition of two main components: “disks”, in which the luminous mass is arranged in a centrifugally supported rotating disk of gas and stars, and “bulges”, where luminous mass is arranged in a basically featureless spheroidal structure supported by random motion. The relative contribution of disks and bulges to the total light is what ultimately divides galaxies into (disk-dominated) “Spirals” and (bulge-dominated) “Ellipticals”. Morphology is however a non permanent feature of a galaxy; our simulations have shown that morphological transformations can occur as a result of internal disk instabilities such as bar formation and of externally-driven instabilities such as mergers, interactions with other galaxies, and misaligned accretion of gas from the intergalactic medium. In general, all these processes produce the total or partial destruction of stellar disks.

Morphology and environment

Mergers and gas accretion are ubiquitous processes, and their occurrence and importance depends on cosmic time and on environment. Galaxies in higher density environments have a higher frequency of mergers, and therefore are expected to be statistically less disk-dominated compared to galaxies that are more isolated. Our Milky Way lives in a small group, the so-called Local Group, with Andromeda, another massive spiral of a similar mass. Constrained simulations can be used to describe the formation of a region of the Universe similar to the Local Group, opening up the possibility to compare the

Cecilia Scannapieco



properties of galaxies in loose groups to those in more quiet environments. Our group has performed constrained simulations of the Local Group galaxies, and finds that these have higher levels of star formation compared to galaxies in more isolated environments. This is explained as galaxies in groups could more easily replenish their gas reservoirs via accretion. Contrary to mergers whose effects depend on more local processes in the center of the galaxies, accretion is a larger-scale process which serves as a link between the internal properties of galaxies and the distribution of matter at large scales.

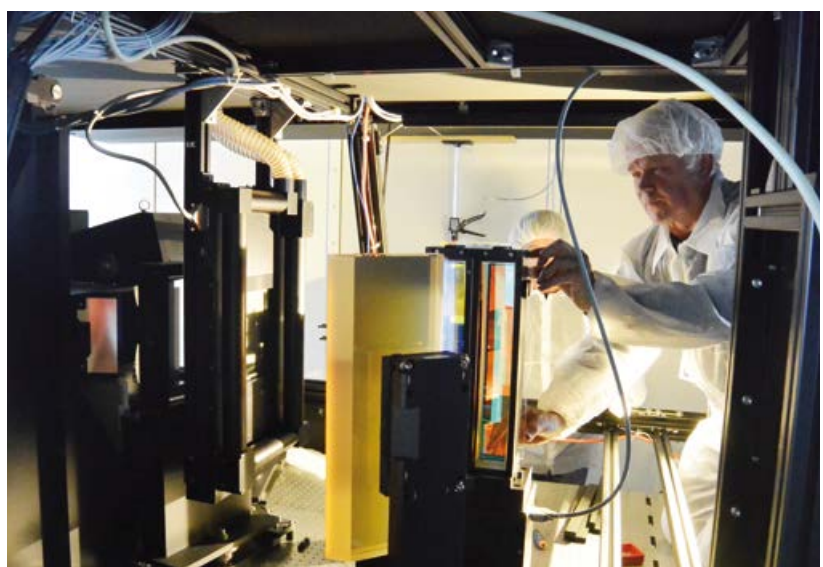
Comparing dynamical and chemical properties of simulated and observed galaxies

An important aspect of studies of galaxy formation using simulations is the comparison of simulated and observed galaxies, as these allow us to decide on the failures/successes of a model, providing the possibility to understand which are the most relevant physical processes occurring during a galaxy's lifetime. Galaxy properties such as magnitudes, colors, star formation rates, gas/stellar metallicities and stellar ages, can be calculated in simulated galaxies, and compared to observational data. However, as observations suffer from a number of biases related to the observational setup, it is important that comparisons between observations and simulations take these biases into account, in order to make the comparison reliable. In our group we create synthetic datacubes using radiative transfer calculations, and produce images and spectra of simulated galaxies that can be properly contrasted to observational data.

Chemical properties of galaxies

During the last decades, significant progress has been made in the determination of the chemical properties of stars in the Milky Way and of stellar populations and interstellar gas in external galaxies. The chemical evolution of galaxies is studied in the simulations by following the production of chemical elements in stellar interiors and their release into the interstellar medium; the main channels of chemical enrichment are Type II and Type Ia SN explosions, and stars in the AGB phase, which we model in our simulations. The chemical abundance of a star is a permanent feature which is set at its formation time; therefore the chemical properties of stars of different age allow us to “see” the galaxy at different cosmic epochs. On the other hand, the chemical properties of the gas show an instantaneous view of the galaxy, providing information on the current physical state of a system. Our chemical model allows us to show how a given physical process affects the chemical properties of galaxies, and to gain insight in its relevance for the chemical evolution of the Universe.







Entwicklung von Forschungsinfrastruktur und -technologie

Die Größe des Kosmos und der darin gefundenen Objekte erlauben es nicht, die Interaktion der Himmelskörper im Labor nachzustellen oder physikalische Experimente mit diesen durchzuführen.

Die Beobachtung mit immer besseren Instrumenten ist die einzige Möglichkeit, physikalische Eigenschaften von kosmischen Objekten zu verifizieren. Astrophysikerinnen und Astrophysiker beobachten mit einer kleinen Zahl von sehr großen Teleskopen. Diese befinden sich in Gebieten mit optimalen atmosphärischen Bedingungen in Arizona, Chile oder im Weltraum. Um ihre Beobachtungsinstrumente zu verbessern, erweitert die Astrophysik beständig die Grenzen des technisch Machbaren. Zusätzlich werden heute die leistungsfähigsten Großrechner für Simulationen zum Testen von astrophysikalischen Theorien und für die Interpretation von Beobachtungen herangezogen.

Auf Grund der Komplexität astrophysikalischer Systeme werden auch hier höchste Ansprüche gestellt und Astrophysiker zählen seit Jahrzehnten zu den anspruchsvollsten Nutzern nationaler und internationaler Höchstleistungsrechner.

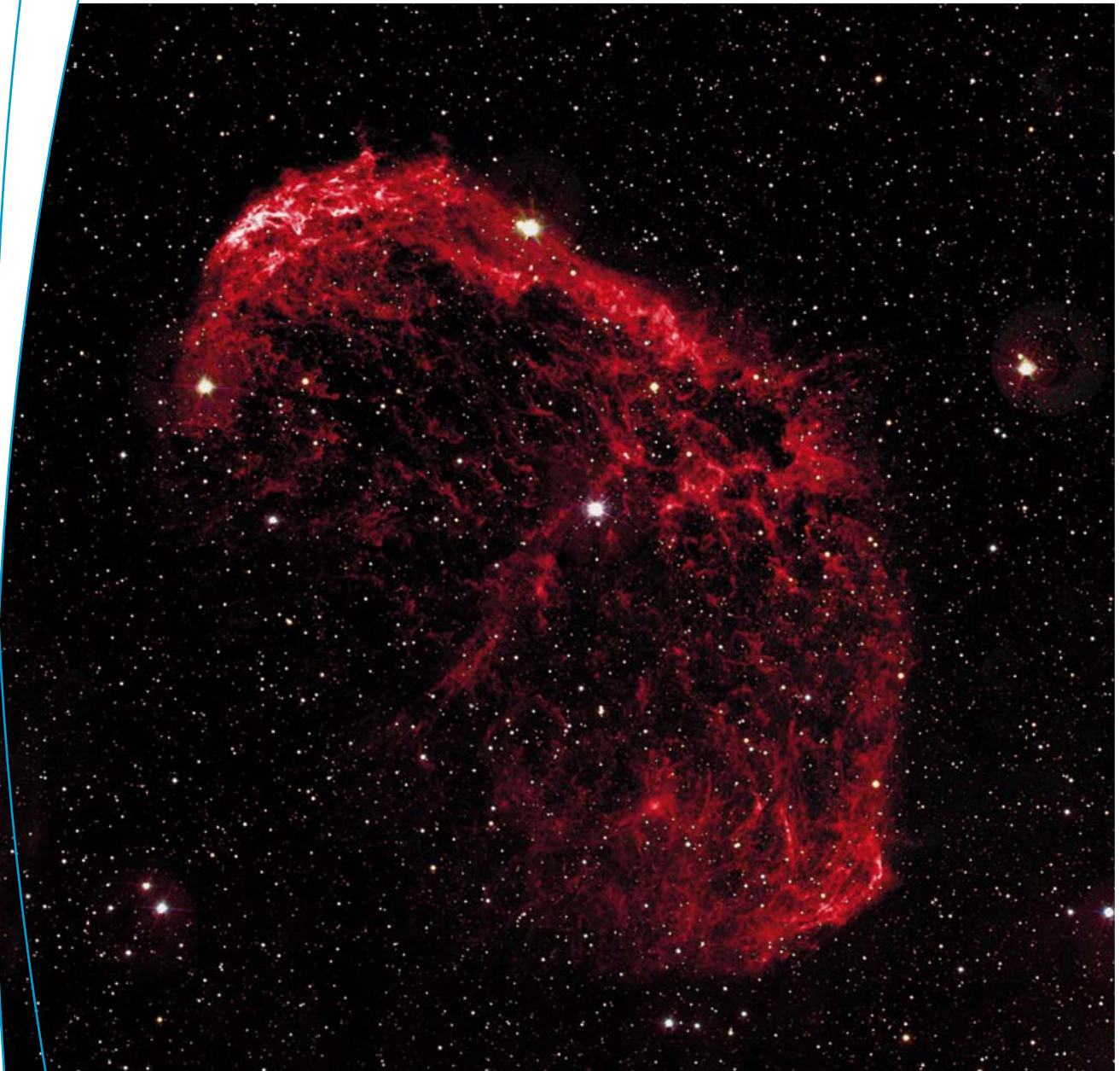
Development of Research Technology and Infrastructure

Owing to the size of the cosmos and the objects within, it is rarely possible to emulate cosmic conditions in terrestrial labs, let alone perform physical experiments with astrophysical objects.

Ever improving observations provide the only way to verify the properties of these objects. Astrophysicists observe the sky, mostly using a small number of very large telescopes, which are placed on sites with nearly optimum atmospheric conditions such as Arizona, Chile, or in space. Astrophysics continually pushes the limits of technological feasibility. And today, powerful computer simulations allow us to test astrophysical theories and interpretation of observations.

As astrophysical systems are very complex, the demands on the available computer hardware and software are extreme, and astrophysicists have always been amongst the power-users of national and international supercomputer centres.





*Der Crescent Nebel (NGC 6888) beobachtet mit STELLA-I und WiFSIP;
4-Farben-Zusammensetzung aus B, V, R' und H α . The Crescent Nebula (NGC 6888)
observed with STELLA-I and WiFSIP; 4-color composite from B, V, R', and H α .*

Teleskopsteuerung und Robotik

Telescope Control and Robotics

Die Abteilung Teleskopsteuerung und Robotik fokussiert sich auf die Entwicklung autonomer Teleskope und robotischer Observatorien mittels innovativer Softwarelösungen. Außerdem wird Hardware zur Teleskopkontrolle gebaut, die über das Standard-equipment weit hinausgeht. Das AIP war eines der ersten Institute weltweit, das eine robotische Sternwarte baute, das STELLA Observatorium auf Teneriffa. Zwei 1,2 m Teleskope, STELLA-I für hochpräzise Photometrie und Bildgebung, STELLA-II für hochauflösende Spektroskopie, werden dort ohne menschliches Zutun betrieben. Beide Teleskope arbeiten auf einer gemeinsamen Software-Plattform, dem STELLA Control System SCS.

STELLA-I/WiFSIP erhält Off-Axis Nachführung

Bei STELLA-I konnte durch die Installation eines „Off-Axis Guiders“ die Langzeitstabilität der Nachführung entscheidend verbessert werden. Die ursprüngliche Nachführung mittels eines Leitfernrohres erwies sich bei Langzeitaufnahmen als zu ungenau. Aus diesem Grunde wurde eine nur 30 x 30 mm große handelsübliche Videokamera im Gehäuse der Verschlussautomatik verbaut. Die Kamera deckt ein Gesichtsfeld von 4 x 2 Bogenminuten ab. Durch geschickte Wahl des Rotationswinkels kann die nutzbare Fläche auf 0,15 Quadratgrad gesteigert werden, ausreichend um einen Stern mit entsprechender Helligkeit ins Gesichtsfeld zu bekommen. Die Abbildungen zeigen NGC 4565 (Fig. 1) und NGC 6888 (Eingangsbild), die zu Demonstrationszwecken aufgenommen wurden.

Neuer Nachführalgorithmus für STELLA-II/SES

Ein entscheidender Fortschritt wurde durch einen verbesserten Algorithmus zur Nachführung von STELLA-II erreicht. Der Algorithmus verwendet den hohen Kontrast am Rande der Lochblende im Gegensatz zum Restlicht des Leitsterns. Das Teleskop kann nun an Signalen nachgeführt werden, die nur noch ein S/N Verhältnis von 0,1 (also ein zehnmal schwächeres Signal als das Hintergrundrauschen) pro Pixel besitzen. Damit konnten die Lichtverluste an der Eintrittsöffnung des STELLA Echelle Spektrographen SES von 43 % auf 27 % gesenkt werden (Fig. 2, links). Fig. 2 zeigt als Beispiel auch ein typisches CCD-Bild der Nachführkamera.

Automatische WiFSIP Datenreduktion und Analyse

Um die Datenmenge der STELLA Open Cluster Survey (SOCS) bewältigen zu können, wurde eine automatische Pipeline entwickelt. Zuerst wird aus langbelichteten Aufnahmen ein Katalog aus allen stellaren Quellen im Gesichtsfeld erstellt. Je nach Ausdehnung des offenen Sternhaufens werden zwischen einem und neun Felder aufgenommen. In einem einzelnen Feld



Fig. 1: Die Spiralgalaxie NGC 4565, aufgenommen mit STELLA-I/WiFSIP mit einer Belichtungszeit von 1.200 Sekunden in Johnson B. Die Aufnahme demonstriert die exzellente Nachführung, die mit STELLA-I erreicht wird. The edge-on spiral galaxy NGC 4565 observed with STELLA-I/WiFSIP with an exposure time of 1,200 seconds in Johnson B. It demonstrates the excellent guiding now achieved with STELLA-I.

können bis zu 4.000 Sterne identifiziert werden. In Summe werden pro Sternhaufen im Survey zwischen 8.000 und 12.000 Sterne automatisch registriert.

Eine Aufnahmeserie besteht aus etwa 200 Aufnahmen pro Feld mit bis zu vier Aufnahmen pro Nacht. Um Lichtkurven zu erstellen, werden in jeder Aufnahme die Sterne entsprechend der Aufnahmeepochen aus dem Katalog identifiziert. Im nächsten Schritt wird die Qualität der Lichtkurven evaluiert und jede Lichtkurve mit unterschiedlichen Methoden nach periodischen Signalen untersucht. Einige Beispiele für die entdeckten Lichtkurven sind in Fig. 3 zu sehen.

Scharfe Augen für das LBT: ARGOS hatte erstes Licht

GLAO (Ground Layer Adaptive Optics) konnte am LBT mit Hilfe von Laserleitsternen erzielt werden. Das System nennt sich ARGOS und wird federführend vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching entwickelt. Es wurde 2014/15 installiert. Bereits erste Tests (Fig. 4, links) konnten zeigen, dass die Schärfe der Aufnahmen um einen Faktor zwei über das natürliche Seeing hinausgeht. Das AIP hat für ARGOS den tip-tilt Sensor für die hochfrequente (1 kHz) Teleskopnachführung gebaut. Der gesamte Sensor besteht aus Mikrooptiken (siehe Fig. 4, rechts), optischen Fasern, Avalanche Dioden, die einzelne Photonen detektieren können, sowie unterstützender Mechanik und Elektronik.

Team 2014/2015:

Igor DiVarano, Thomas Granzer (head), Arto Järvinen, Jesper Storm, Klaus G. Strassmeier, Jörg Weingrill



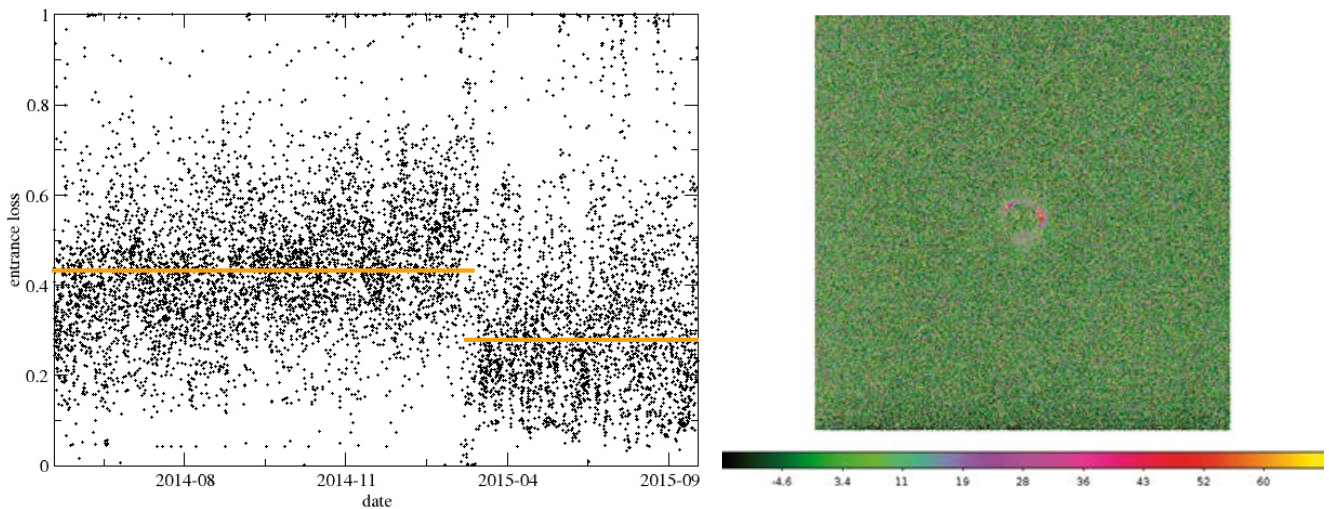


Fig. 2: Effizienz der neuen STELLA-II/SES-Nachführung. Links: Abnahme des Lichtverlustes an der Eintrittsöffnung der Faser. Rechts: Falschfarben-Signalverstärkung aus 400 gemittelten STELLA-II nachgeführten Aufnahmen. Rund 80 % des Lichts geht durch die Eintrittsöffnung, nur sehr geringe Verluste sind an den Rändern der Faser erkennbar (in der Mitte des Bildes). Efficiency of the new STELLA-II/SES guiding. Left: The decrease of light loss on the fibre entrance. Right: A false-color enhancement of an average of 400 STELLA-II guiding frames. Approximately 80 % of the light enters the fibre pinhole, very little losses can be seen at the edges of the fibre (in the center of the image).

Von 8,4 m auf 100 µm: die PFUs für PEPsi

Zwei Kopien der AGW (Einheiten zur Akquisition, Nachführung und Wellenfrontmessung mittels Leitsternen) wurden in den permanenten Fokalstationen (PFU; Fig. 5) von PEPsi installiert. Damit kann das Licht der beiden 8,4 m großen Hauptspiegel in die nur 100 µm großen Lichtleiter gekoppelt werden. Im Jahr 2014 wurden diese Einheiten auch softwaretechnisch in das Standardsystem des LBT zur Nachführungs- und Wellenfrontkontrolle integriert.

Eine polarimetrische Fokalstation für den E-ELT HIRES Spektrographen

Als Ergänzung zum hochauflösenden Spektrographen HIRES des Europäischen Extremely Large Telescope (E-ELT) wurde eine spektral-polarimetrische Fokalstation vorgeschlagen (Fig. 6). In enger Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie und gefördert durch die BMBF Verbundforschung, wird momentan eine Phase-A Studie erarbeitet. Nach diesem Konzept kann für mindestens zwei der vier HIRES Spektrographen polarisiertes Licht bereitgestellt werden (Wellenlängenbereich 450 – 1.800 nm bei einer spektralen Auflösung von $R = 100.000$).

BMK10k – eine neue robotische Einrichtung für ESA/PLATO

Als Teil unseres Engagements in der bodengebundenen PLATO 2.0 Unterstützung, wurde die Ballistische Messkammer (BMK) vom geodätischen Observatorium der TU München an das AIP gebracht (Fig. 7). Dort wird sie momentan renoviert und mit der robotischen STELLA Teleskopsoftware ausgestattet. Ursprünglich war sie zur photographischen Vermessung von Satellitenbahnen

verwendet worden. Die BMK wurde von Zeiss in Oberkochen gebaut. Das Teleskop ist ein 0,3 m, f/2,5 Astrotopar-System mit einem außergewöhnlich großen, ebenen Gesichtsfeld von $13,6^\circ \times 13,6^\circ$. Kombiniert mit einem 10 k x 10 k CCD-Chip aus dem PEPsi-Projekt (folglich BMK10k), ist das Gesichtsfeld noch immer $7,2^\circ \times 7,2^\circ$, also knapp 52 Quadratgrad groß. Damit erreicht es beinahe das Gesichtsfeld des Super-WASP Mosaik Teleskopes, das als eines der erfolgreichsten bodengebundenen Planetenjäger bekannt wurde, überflügelt selbiges aber beim Pixel-Sampling mit 2,5 Bogensekunden pro Pixel um den Faktor 5.

Telescope Control and Robotics focuses on the development of autonomous telescopes and robotic observatories through innovative software solutions. We provide special-purpose hardware for telescope control significantly beyond the standard equipment. The AIP was one of the first institutes to build a truly robotic observatory, the STELLA robotic observatory on Tenerife. There, we operate an imaging and a spectroscopic 1.2-meter telescope in fully unattended mode. Both telescopes run on a common software platform, the STELLA Control System SCS.

STELLA-I/WiFSIP guiding now off axis

The implementation of an off-axis guider allowed a significant increase of the long-term guiding performance of STELLA-I. The original guiding technique utilizing a piggy-back refracting telescope proved to be inaccurate for long-term exposures. Thus, an off-the-shelf video camera with dimensions of just 30 x 30 mm was placed in the mounting frame of the shutter mechanism. The

field-of view of the camera is 4x2 arc minutes. By using different presets of the telescope's image derotator, the accessible field for the camera is increased to 0.15 square degrees, an area normally sufficient to find a suitable guide star. Two demonstration images are shown on the cover picture (NGC 6888) and in Fig. 1 (NGC 4565), respectively.

New guiding algorithm for STELLA-II/SES

A significant increase of the STELLA-II guiding efficiency was possible with a new algorithm that utilizes the high contrast between the edge of the pinhole and the guide star rest light. Only very little signal is needed, a S/N ratio of only ~ 0.1 per pixel is sufficient (i.e., a signal that is ten times weaker than the background noise). Lower signal demands lead to shorter exposure times on the guider camera which, in turn, allows for a higher exposure cadence and correspondingly for a much smoother guiding of the telescope. Figure 2 (left) shows the effect on the SES light-losses at its fibre pinhole; the median value decreased from 43 % to 27 %. Figure 2 also shows an example of a typical guiding CCD image.

Automated WiFSIP data reduction and analysis

The vast amount of data produced by the STELLA Open Cluster Survey (SOCS) demands an automated pipeline. From a well-exposed master frame, a catalog of the stellar sources within the field is extracted. Per exposure up to 4,000 stars can be identified; each cluster, consisting of one to nine fields, comprises 8,000 to 12,000 stars. From series of roughly 200 exposures, light curves are constructed by matching stars in individual exposures to the master catalog. After assessment of the data quality, different methods are used to mine the light curves for periodic signals. Figure 3 shows a few examples of modulated light curves.

Sharp eyes for the LBT: ARGOS had first light

ARGOS is the laser guide star facility for the LBT (P.I. MPE Garching) that enables ground layer adaptive optics (GLAO). It was installed in 2014-15, commissioning has started (Fig. 4, left). Already the first tests on sky showed that the system dramatically improves the sharpness of the LUCI science images by a factor of two over natural seeing. The AIP contribution to ARGOS is the design and construction of the tip-tilt sensors for the rapid (1 kHz) guiding of the telescope and involves micro-optics (Fig. 4, right), optical fibres, photon counting avalanche diodes, and associated mechanics and control electronics.

From 8.4 m to 100 μm : the PFUs for PEPSI

Two copies of the AGWs (acquisition, guiding and wave-front-sensing units) were installed within PEPSI's Permanent Fiber Units (PFUs; Fig. 5) at the LBT. These units couple the telescope's 8.4 m diameter beam into the spectrograph's 100- μm diameter fibres. The systems were integrated with the LBT telescope control system in 2014 and now allow the use of the LBT standard guiding and wave-front sensing system.

A polarimetric focal station for the E-ELT HIRES spectrograph

A visionary addition of a spectro-polarimetric focal station (Fig. 6) was proposed to ESO as part of the high resolution (HIRES) spectrograph for the European Extremely Large Telescope (E-ELT).

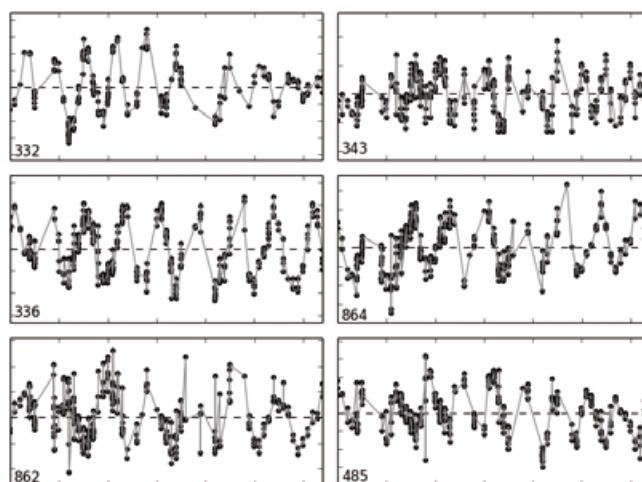


Fig. 3: Lichtkurven von sechs Sternen mit bestimmter Rotationsperiode im offenen Haufen M48. Six examples of light-curves of stars from the open cluster M48 with a determined rotation period.

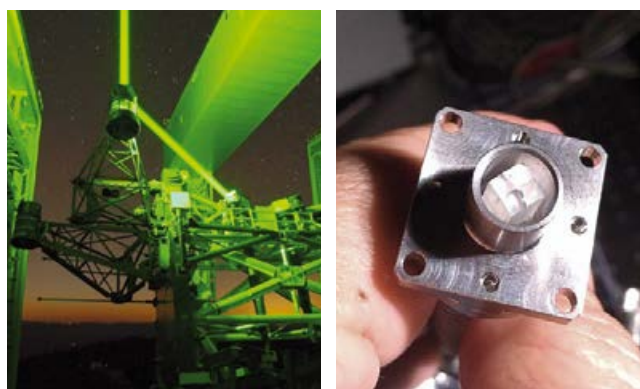


Fig. 4: Links: Der Rayleigh-Laser während der Installation am LBT (ARGOS/MPE-Team). Rechts: Das Mikrolinsen-Array ist das optische Kernstück des ARGOS tip-tilt-Sensors. Die vier Quadranten speisen einzelne Fasern. Unterschiede in der Signalmessung erlauben eine schnelle Korrektur der Nachführung. Left: The Rayleigh lasers in action during installation at the LBT (courtesy ARGOS/MPE team). Right: The lenslet array is the core optical part of the ARGOS tip-tilt sensor. The four quadrants feed individual fibres, differences in the signal measured allow for fast guiding correction.



The complex Phase-A study of the polarimeter and its focal station continues in close collaboration with industry and with funds from the BMBF through its “Verbundforschung”. The concept allows at least two of the four HIRES spectrographs to receive polarized light of the full Stokes vector simultaneously, thereby covering the wavelength range 450 – 1,800 nm at a spectral resolution of $R = 100,000$.

BMK10k – a new robotic facility for ESA/PLATO

As part of our involvement in the ground-based PLATO 2.0 support, the Ballistische Messkammer (BMK) was acquired from the Geodetic Observatory of the TU Munich in 2015 (Fig. 7). It is currently being renovated at AIP and equipped with our STELLA robotic telescope control system. The 0.3 m, f/2.5 BMK telescope was built by Zeiss Oberkochen for satellite tracking. It is an Astrotopar optical system with an enormous planar field of view of 13.6° squared. Combined with a 10k x 10k CCD from the PEPSI project (thus now called BMK10k), it sees 7.2° x 7.2° on the sky, i.e., 52 square degrees on the CCD. This makes the BMK10k almost the same field-of-view as the mosaiced Super-WASP telescope, which is among the most successful ground-based planet hunters, but at a five times better pixel sampling (2.5 arcsec/pix).



Fig. 5: Die zwei PEPSI PFUs (weiße Kästen, die zu den jeweiligen Hauptspiegeln gerichtet sind) werden am LBT montiert. The two PEPSI PFUs (the white boxes facing the respective primary mirrors) are being installed at the LBT.

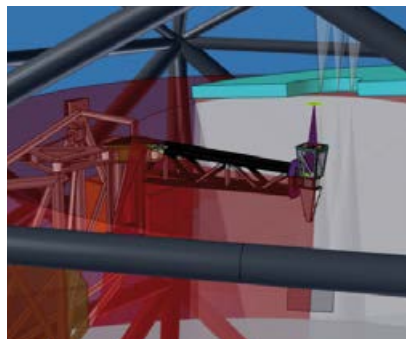
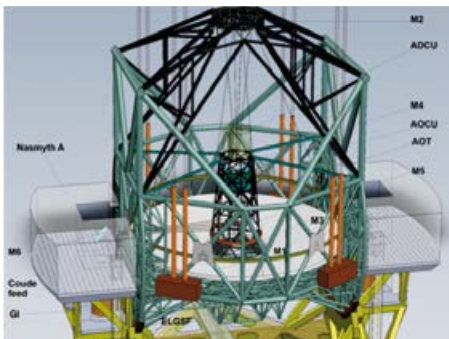


Fig. 6: Entwurf einer polarimetrischen Fokalstation für das 39m E-ELT. Links: zentraler Turm mit adaptiver Optik und Polarimeter unterhalb des Spiegels M4. Rechts: Ansicht des HIRES-Polarimeters im Betriebsmodus. Design of a polarimetric focal station for the 39m E-ELT. Left: The central E-ELT adaptive-optics tower containing the polarimeter just beneath mirror M4. Right: Perspective view of the HIRES polarimeter in operating mode.



Fig. 7: Die Ballistische Messkammer (BMK) von Zeiss auf ihrem Weg von Wettzell, Bayern zum AIP. The Zeiss Ballistische Messkammer (BMK) on its way from Wettzell, Bavaria to AIP.

Ausgewählte Publikationen

Selected publications

Alonso, R., Moutou, C., Endl, M., ... Weingrill, J. and 47 coauthors (2014), **Transiting exoplanets from the CoRoT space mission. XXVI. CoRoT-24: a transiting multiplanet system**, *Astronomy & Astrophysics* 567, A112.

Krskovics, L., Kóvári, Zs., Vida, K., Granzer, T., Oláh, K. (2014), **Lithium enrichment on the single active K1-giant DI Piscium. Possible joint origin of differential rotation and Li enrichment**, *Astronomy & Astrophysics* 571, A74.

Mallonn, M., Nascimbeni, V., Weingrill, J., von Essen, C., Strassmeier, K. G., Piotta, G., Pagano, I., and 9 coauthors (2015), **Broad-band spectrophotometry of the hot Jupiter HAT-P-12b from the near-UV to the near-IR**, *Astronomy & Astrophysics* 583, A138.

Oláh, K., Moór, A., Kóvári, Zs., Granzer, T., Strassmeier, K. G., Krskovics, L., Vida, K. (2014), **Magnitude-range brightness variations of overactive K giants**, *Astronomy & Astrophysics* 572, A94.

Rauer, H., Catala, C., Aerts, C., Appourchaux, T., Benz, W., Brandeker, A., Christensen-Dalsgaard, J., Deleuil, M., Gizon, L., Goupil, M.-J. and 150 coauthors (2014), **The PLATO 2.0 mission**, *Experimental Astronomy* 38, 249.

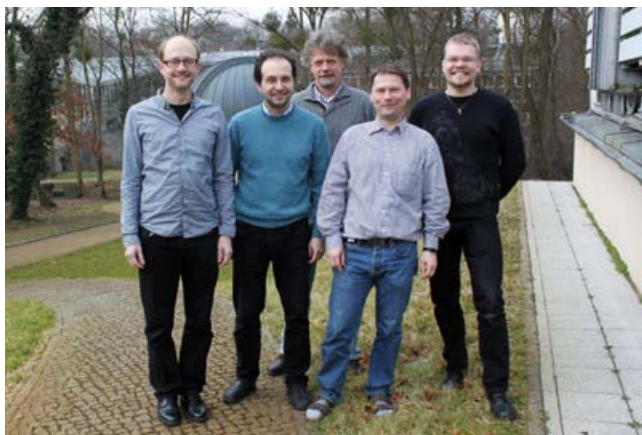
Schwope, A. D., Scipione, V., Traulsen, I., Schwarz, R., Granzer, T., Pires, A. M., Thorstensen, J. R. (2014), **XMM-Newton observations of the low-luminosity cataclysmic variable V405 Pegasi**, *Astronomy & Astrophysics* 561, A121.

Schwope, A. D., Mackebrandt, F., Thinius, B. D., Littlefield, C., Garnavich, P., Oksanen, A., Granzer, T. (2015), **Multi-epoch time-resolved photometry of the eclipsing polar CSS081231:071126+440405**, *Astronomische Nachrichten* 336, 115.

Strassmeier, K. G., Weingrill, J., Granzer, T., Bihain, G., Weber, M., Barnes, S. A. (2015): **Stellar rotation, binarity, and lithium in the open cluster IC 4756**, *Astronomy & Astrophysics* 580, A66.

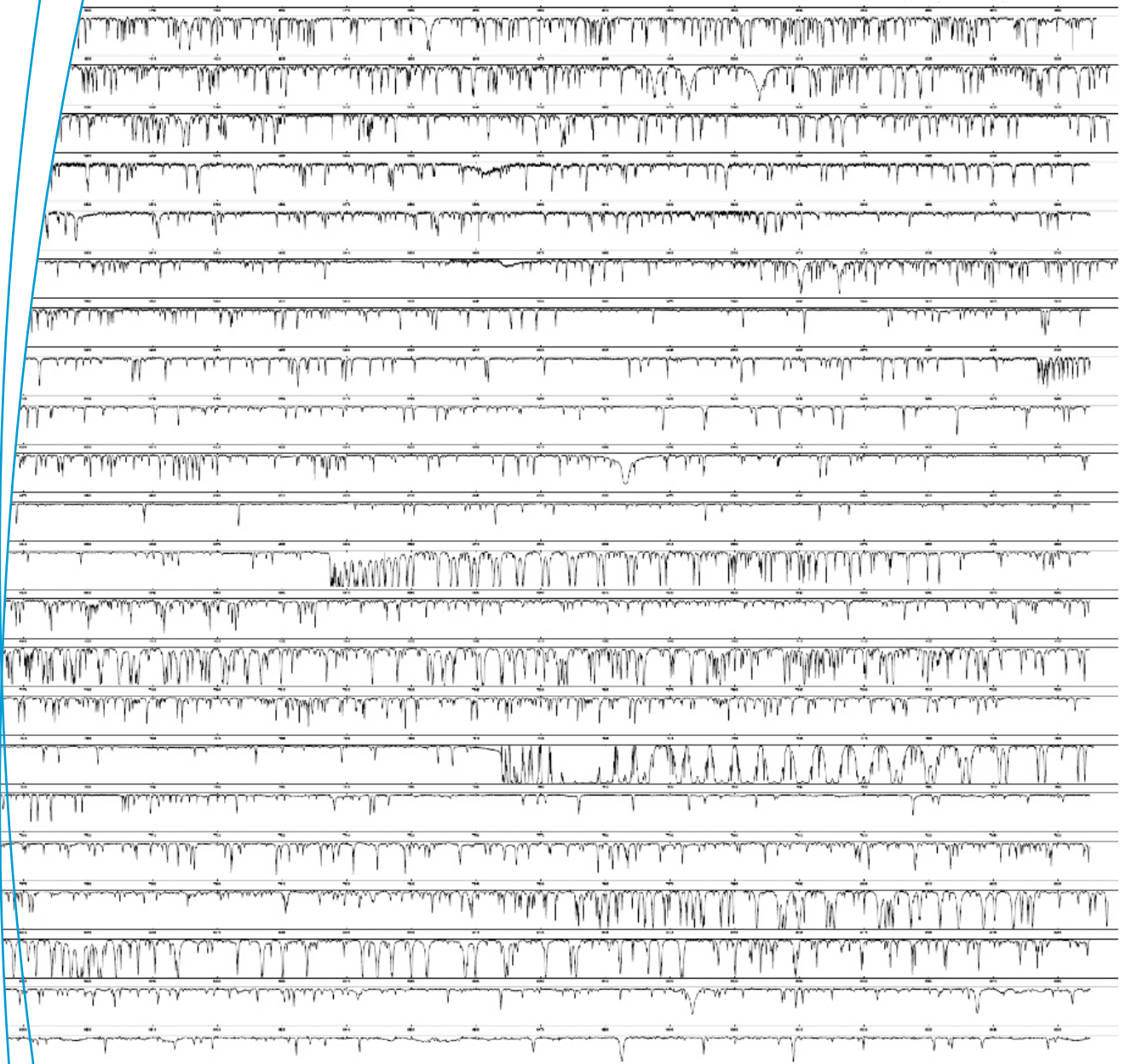
von Essen, C., Czesla, S., Wolter, U., Breger, M., Herrero, E., Mallonn, M., Ribas, I., Strassmeier, K. G., Morales, J. C. (2014), **Pulsation analysis and its impact on primary transit modeling in WASP-33**, *Astronomy & Astrophysics* 561, A48.

Weingrill, J. (2015), **CoRoT data reduction by example**, *Astronomische Nachrichten* 336, 125.



Jörg Weingrill, Igor DiVarano, Jesper Storm, Thomas Granzer, Arto Järvinen





Ausschnitt eines PEPSI-Spektrums der Sonne als Stern. Detail of a PEPSI spectrum of the Sun-as-a-star.

Hochauflösende Spektroskopie und Polarimetrie

High-resolution Spectroscopy
and Polarimetry

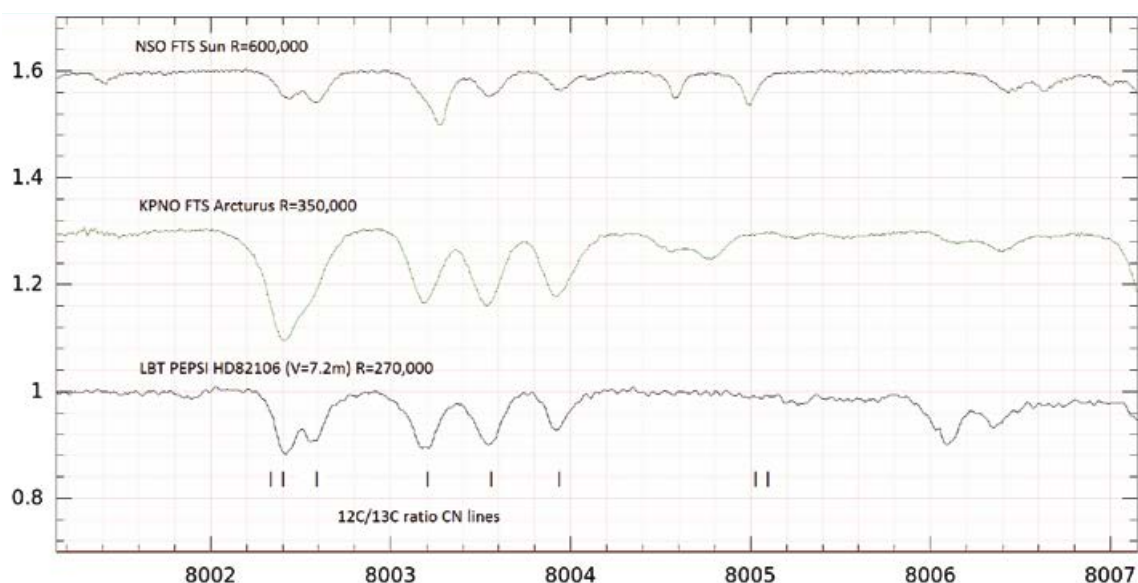


Fig. 1: Erstes LBT-Licht für PEPSI: Spektrum eines moderat hellen Sterns (HD 82106, K3V, $V = 7,2$ mag, $R = 270.000$; unteres Spektrum) im Vergleich zu einem FTS-Spektrum der Sonne (G2V, $R = 600.000$; Wallace et al., oberes Spektrum) und einem Spektrum von Arcturus (K2III, $R = 350.000$, Hinkle et al., mittleres Spektrum). Dies demonstriert die Leistungsfähigkeit der Kombination von PEPSI mit dem LBT. First-light LBT/PEPSI spectrum of a moderately bright star (HD 82106, K3V, $V = 7.2$ mag, $R = 270.000$; bottom spectrum) compared with the FTS spectrum of the Sun (G2V, $R = 600.000$; Wallace et al., top spectrum) and a spectrum of Arcturus (K2III, $R = 350.000$, Hinkle et al., middle spectrum). It demonstrates the power of the combination LBT with PEPSI.

Hochauflösende Spektrographen und Polarimeter an Großteleskopen eröffnen neue astrophysikalische Möglichkeiten, indem bewährte Techniken der Sonnenphysik auf Sternphysik angewandt werden. Durch die Beteiligung am Bau des Large Binocular Telescope (LBT) haben Wissenschaftler des AIP bald Zugang zu hochauflösender Spektralpolarimetrie an einem Teleskop der 12 m-Klasse. Der Spektrograph PEPSI des AIP ist das einzige hochauflösende Spektralpolarimeter der Welt an einem Teleskop mit einer Öffnung über 4 m. Die Gruppe arbeitet aktuell an einem Entwurf für ein Spektralpolarimeter für das geplante 39 m European Extremely Large Telescope (E-ELT) der ESO.

PEPSI Spektrograph zum LBT geliefert

PEPSI ist das Lichtfaser-gespeiste, Luftdruck- und Temperatur-stabilisierte Potsdam Echelle Polarimetric and Spectroscopic Instrument für das 2 x 8,4-Meter Large Binocular Telescope (LBT). Der Spektrograph wurde 2014 geliefert, die Inbetriebnahme begann 2015, und die beiden Stokes-Polarimeter folgen im Sommer 2016. Der ultra-hohe Auflösungsmodus von PEPSI liefert eine beispiellose spektrale Auflösung von bis zu $R = 270.000$ in einem Wellenlängenbereich von 383 – 907 nm ohne adaptive Optik oder einen kleinen Spalt zu benötigen. Neben seinem polarimetrischen Stokes IQUV-Modus setzt die Möglichkeit, den gesamten Wellenlängenbereich von 383 bis 907 nm in drei Belichtungen bei Auflösungen von 32.000, 120.000 oder 270.000 abzudecken, einen neuen Standard im Sinne des Produktes von Lichtsammelfläche und Wellenlängenabdeckung.

Erstes LBT Licht für PEPSI am 1. April 2015

Schon das dritte Spektrum, das PEPSI aufnahm (2014 noch mit Licht vom VATT-Teleskop, der Spektrograph noch nicht vollständig justiert und mit einem Image-Slicer Prototypen bei einer Auflösung von 120.000) entdeckte das bislang geringste $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -Isotopenverhältnis bei einem Li-reichen Stern (Fig. 1). Zur gleichen Zeit versorgte das robotische Solar Disk Integration (SDI) Teleskop den Spektrographen mit Sonnenlicht, täglich wurden dutzende Sonnenspektren aufgezeichnet, analysiert und inspiziert. Das

Team 2014/2015:

Stuart Barnes, Ilya Ilyin, Arto Järvinen, Dennis Plüschke, Daniel Sablowski, Klaus G. Strassmeier, Michael Weber (head), Manfred Woche



Titelbild dieses Abschnitts zeigt ein solches mit PEPSI aufgenommenes Sonnenspektrum. Es besteht aus insgesamt 735.000 Punkten mit einer durchschnittlichen Dispersion von $7 \text{ m\AA}/\text{Punkt}$.

“To boldly go where no one has gone before”

Nach der Feinjustierung funktionierte der Spektrograph nahezu so gut wie die Vorhersagen aus dem Zemax-Modell mit einem Fokus von 2,2 Pixeln (bei einem rms von 0,2 Pixel). Fig. 1 zeigt das Spektrum um die CN-Linien bei $800,3 \text{ nm}$ des K3-Zwergsternes HD 82106 (Belichtungszeit ist $3 \times 300 \text{ s}$, max. $S/N = 480:1$). Als Vergleich ist das $R = 600.000$ Spektrum aus dem NSO-Sonnenatlas und ein Spektrum aus dem Arcturus-Atlas zu sehen. Man sieht, dass PEPSI vergleichbare Spektren liefern kann, jedoch von einem Stern mit lediglich $7,2 \text{ mag}$ Helligkeit. Teil der künftigen Aufgaben von PEPSI wird die Messung präziser chemischer Häufigkeiten sein, insbesondere von Elementen die anderswo schwierig zu erhalten sind. Fig. 2 zeigt eine 240 s lange Belichtung des hellen Gaia-benchmark Sternes $\mu \text{ Leo}$, welche ausreichend war, um bei einem S/N von $2.000:1$ das Seltenerd-Element Dysprosium zu detektieren. Ein weiteres Objekt, das beobachtet wurde ist die Nova Sagittarius 2015b (Fig. 3), was einen Eindruck über die Möglichkeiten des Instruments liefert.

450 m Faseranbindung zum VATT

Wir installierten eine 450 m lange Lichtleitfaser zwischen dem LBT und dem Vatican Advanced Technology Telescope (VATT), welche nun das VATT mit dem PEPSI-Spektrographen verbindet. Mit Hilfe dieser Glasfaser ist es möglich, den Spektrographen auch während Zeiten zu nutzen, zu denen keine LBT-Zeit für PEPSI verfügbar ist oder keine angefragt wurde. Diese Faseranbindung wurde zur Inbetriebnahme von PEPSI verwendet, sowie ab April 2015 auch zum Sammeln wissenschaftlicher Daten.

STELLA Echelle Spektrograph (SES)

Mit dem Einbau eines Bildteilers, einer größeren Faser und eines atmosphärischen Dispersionskorrektors konnte der erste Teil des SES-Umbaus im April 2014 abgeschlossen werden (siehe auch Programm „Teleskopsteuerung und Robotik“). Die Effizienz stieg von einem medianen Wert von $1,5\%$ auf $5,25\%$, was einer Verdopplung des Teleskopdurchmessers entspricht. Die neue Transferoptik bildet den Faserausgang nun direkt auf den Bildteiler ab. Um auch noch ein gleichzeitiges Kalibrationssignal für Präzisions-Radialgeschwindigkeit messen zu können, wurde noch eine zweite Faser in die Optik aufgenommen.

Der GREGOR@Nacht-Spektrograph

Für zukünftige Nachtbeobachtungen mit dem GREGOR-Sonnenteleskop entwickeln wir einen neuen Echelle-Spektrographen, der für die Messung von Radialgeschwindigkeiten optimiert ist. Er wird in einem Vakuumgefäß installiert, um die Stabilität zu erhöhen und mit Hilfe einer optischen Lichtleitfaser vom F2-Fokus des GREGOR-Teleskopes versorgt zu werden. Der Betrieb des Spektrographen und des Teleskopes wird vollautomatisiert geschehen, basierend auf dem STELLA Control System (SCS) der Abteilung „Teleskopsteuerung und Robotik“ des AIP.

GRAPE – das GRAntecan PolarimEter

Das spanische Gran Telescopio Canarias (GTC) hat eine Apertur von $10,4 \text{ m}$ und wird bald mit dem High Optical Resolution Spectrograph (HORS) des Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) ausgestattet sein. GRAPE wird vom AIP entwickelt und gebaut und soll vom Cassegrain Fokus des GTC aus HORS mit den vier Stokes-Vektoren versorgen. GRAPE ist der Prototyp des HIRES Polarimeters für das Extremely Large Telescope der ESO (E-ELT, siehe auch „Teleskopsteuerung und Robotics“ in diesem Bericht).

High-resolution spectrographs and polarimeters on large telescopes open up new possibilities for astrophysics by transferring well-proven techniques of solar physics to stellar physics, which historically used completely independent instrumentation. With AIP's involvement in the construction of the Large Binocular Telescope (LBT), AIP scientists will soon have access to high resolution spectropolarimetry on a 12 metre class telescope facility. AIP's spectrograph PEPSI is the only high-resolution spectropolarimeter in the world for a telescope with an aperture larger than 4 m . The group is also working on a design for a spectropolarimeter for ESO's 39 metre European Extremely Large Telescope (E-ELT).

PEPSI spectrograph delivered to the LBT

PEPSI is the bench-mounted fibre-fed and stabilized Potsdam Echelle Polarimetric and Spectroscopic Instrument for the $2 \times 8.4 \text{ m}$ LBT. The spectrograph was delivered and installed in 2014 and commissioning started in 2015. The two Stokes-polarimeters will follow in summer 2016. PEPSI's ultra-high-resolution mode provides an unprecedented spectral resolution of up to $R = 270,000$ for the wavelength range $383 - 907 \text{ nm}$ without the need for adaptive optics or a narrow slit. Besides its Stokes IQUV mode, the capability to cover the entire optical range in three exposures at resolutions of $32,000$, $120,000$ or $270,000$ sets a new standard in terms of light-gathering power times spectral-coverage product.

PEPSI-LBT first light on April 1, 2015

Already the third ever taken spectrum with PEPSI in 2014 (still with the VATT, spectrograph not yet fully aligned, and with the engineering Image Slicer #1 at $R = 120,000$), recorded the lowest $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ isotope ratio of any Li-rich giant star known to date (Fig. 1). In parallel, the robotic Solar Disk Integration (SDI) telescope provided sunlight to the spectrograph on a daily basis and dozens of Sun-as-a-star spectra were already recorded, reduced, and inspected. The cover picture to this section shows such a solar spectrum with PEPSI. It comprises $735,000$ pixels with an average dispersion of $7 \text{ m\AA}/\text{pix}$.

To boldly go where no one has gone before

After fine alignment, the spectrograph already performed close to the predictions from the Zemax model with a focus of 2.2 pixels (and an rms of 0.2 pixels). Fig. 1 shows a section of a spectrum around the CN 800.3 nm lines of the K3 dwarf star HD 82106 (exposure time $3 \times 300 \text{ s}$, peak $S/N \approx 480:1$). For comparison, we plot the $R = 600,000$ spectrum from the NSO

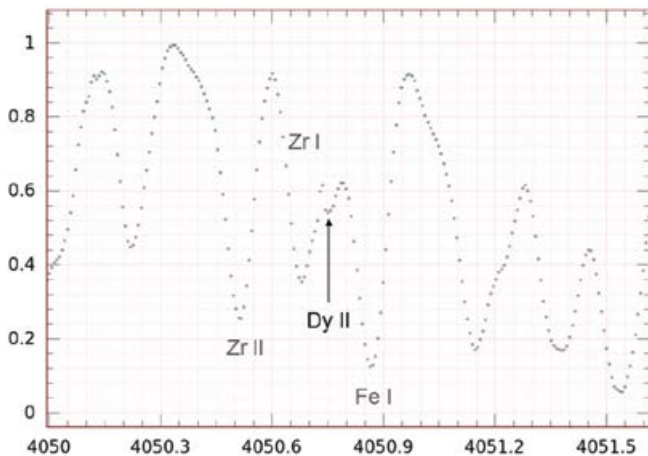


Fig. 2: Detektion des auf der Erde seltenen Elements Dysprosium in μ Leo ($V = 3,9$ mag). Der Name „Dysprosium“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet „unzugänglich“. Die einfach ionisierte Dy-Linie bei 4050,75Å ist durch einen Pfeil markiert. PEPSI-Spektrum vom April 2015, 4 x 60s Integrationszeit, $R = 250.000$, max. S/N des kombinierten Spektrums ist 2.000:1. Gesamtbeobachtungszeit des Zielobjekts umfasste 24 Minuten. Detection of the rare-Earth element dysprosium in μ Leo ($V = 3.9$ mag). Dysprosium’s name comes from greek dusprositos and means “hard to get at”. The singly-ionized Dy line at 4050.75Å is indicated with an arrow. PEPSI spectrum from April 2015, 4 x 60s integration, $R = 250,000$, peak S/N of the combined spectrum is 2,000:1. Total time on target was 24 min.

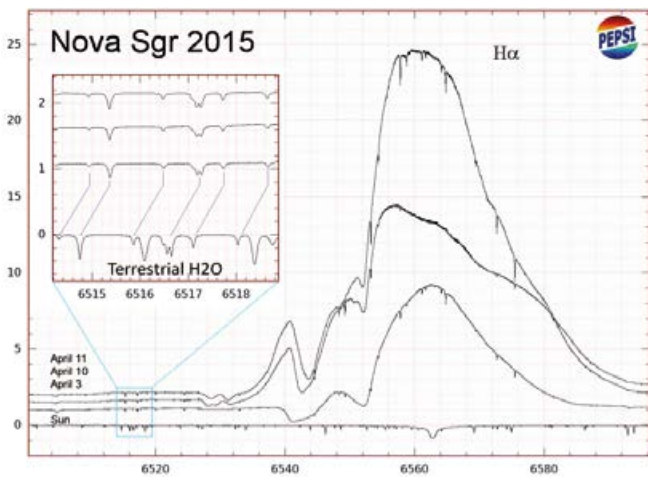


Fig. 3: Nova Sgr 2015b (drei obere Spektren) im Vergleich zu einem Sonnenspektrum (unteres Spektrum). Dargestellt ist ein vergrößerter Ausschnitt in $H\alpha$, der die Entwicklung der Nova über drei Nächte beschreibt. Das S/N-Verhältnis im Kontinuum geht bis zu 800:1 ($V = 6,5$ mag, $R = 270.000$, Integrationszeit 2 x 420s). Im Bildausschnitt sind die scharfen tellurischen Wasserdampflinien im Vergleich zu einem Sonnenspektrum hervorgehoben, um die Qualität der PEPSI-Spektren zu demonstrieren. Nova Sgr 2015b (upper three spectra) in comparison with a spectrum of the Sun (bottom spectrum). Shown is a zoom into $H\alpha$ depicting the nova evolution during three nights. S/N ratio in the continuum is up to 800:1 ($V = 6.5$ mag, $R = 270,000$, integration time 2 x 420s). The insert highlights sharp telluric water vapor lines compared to a spectrum of the Sun. It demonstrates the quality of the PEPSI spectra.

solar atlas and a spectrum from the Arcturus atlas. It shows that PEPSI can deliver comparable spectra but for a star of 7.2 magnitudes!

Among the future deliverables of PEPSI will be precision chemical abundances, in particular of elements that are otherwise “hard to get at”. Fig. 2 shows a 240-s spectrum of the bright Gaia benchmark star μ Leo (K2IIIb), which was enough to detect the rare-Earth element dysprosium at an S/N ratio of 2,000:1. Another type of target was the Nova Sagittarius 2015b (Fig. 3) that adds another glimpse towards the instrument’s capabilities.

The 450 m VATT fibre feed

A 450 m long optical fibre was pulled from the LBT building to the Vatican Advanced Technology Telescope (VATT) and now

connects the VATT telescope with the PEPSI spectrograph. With this fibre link it is possible to use the spectrograph during times when no LBT time is available or requested for PEPSI. Use for this was made during commissioning of the spectrograph in 2014/15 and, from April 2015 on, also for scientific data gathering.

STELLA Echelle Spectrograph (SES) upgrade

With the implementation of an image slicer, a bigger fibre and an atmospheric dispersion corrector the first part of the SES upgrade was finished in April 2014 (see also program „Telescope control and robotics“). The jump in efficiency equals a doubling of the effective telescope mirror. The new transfer optics image the fibre exit now directly onto the entrance of the slicer. In order to record a simultaneous calibration signal for precise radial velocity measurements, a second fibre was added which is also imaged onto the slicer entrance.



The GREGOR@night spectrograph

For future night-time observations with the GREGOR solar telescope, we are designing a new echelle spectrograph optimized for radial-velocity work. It will be put inside a vacuum vessel for increased stability, and be fed via an optical fibre from the F2 focus of GREGOR. The operation of the spectrograph and the telescope will be fully automated and will be based on the STELLA Control System SCS from AIP’s “Telescope Control and Robotics” group.

GRAPE – the GRAntecan PolarimEter

The Spanish Gran Telescopio Canarias (GTC) has an aperture of 10.4 m and soon will host the High Optical Resolution Spectrograph (HORS) provided by the Instituto de Astrofísica de Canarias. The GRAPE polarimeter is designed and built at AIP and is foreseen for the Cassegrain focus of the GTC in order to feed the full Stokes vector to HORS. GRAPE itself is the prototype for the HIRES polarimeter for ESO’s Extremely Large Telescope (see program “Telescope Control and Robotics”).

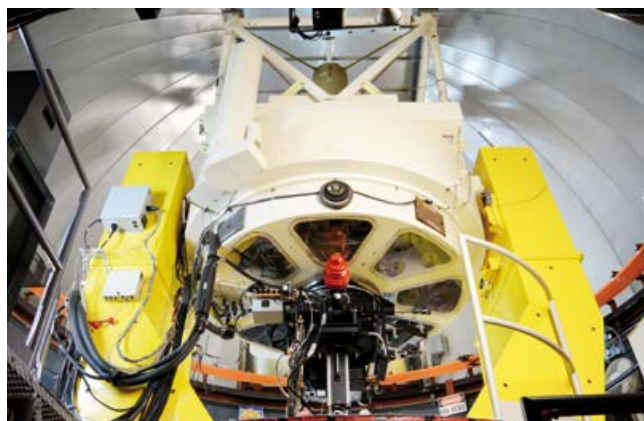
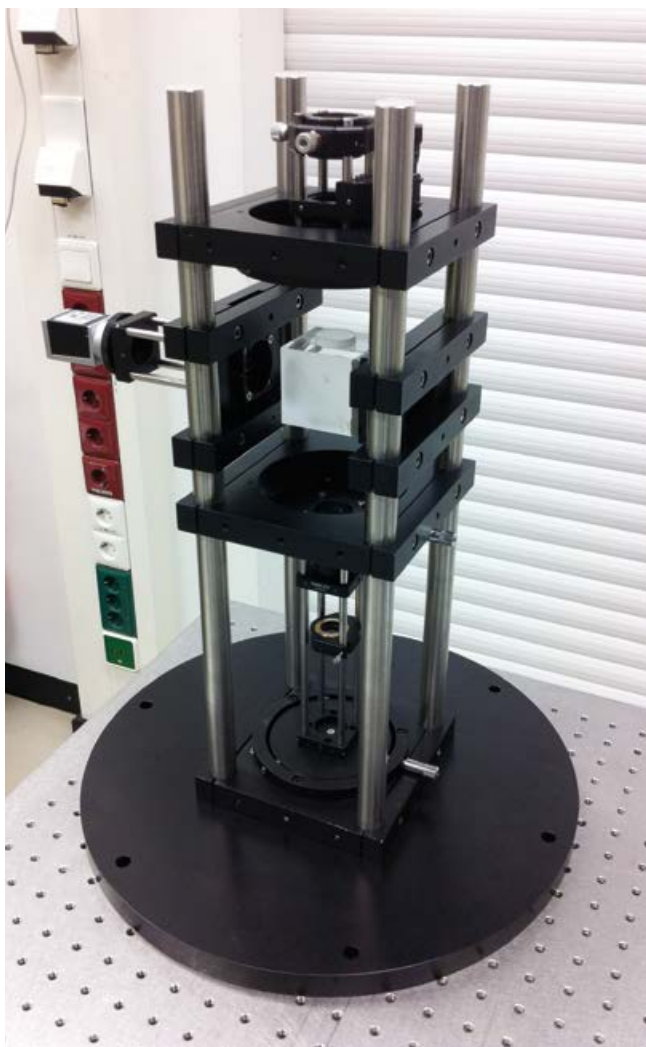


Fig. 4: Der PEPSI-Faser-Koppler am VATT:
 Links: VATT-Adapter zur Nachführung und Lichteinspeisung des Sternenlichts am VATT in die 450m Faser zum LBT. Oben rechts: VATT-Adapter am Teleskop. Unten rechts: Blick vom VATT auf das LBT als die Faser in das Rohr gezogen wurde, das sich unterhalb der Straße zum LBT befindet.
 The PEPSI fibre coupler at the VATT:
 Left: the VATT adapter used to guide and feed the starlight on the VATT into the 450m fiber to the LBT. Top right: VATT adapter at the telescope. Bottom right: The view from the VATT towards the LBT as the fibre was pulled through the conduit below the road to the LBT.

Ausgewählte Publikationen

Selected publications

Caffau, E., Mott, A., Steffen, M., Bonifacio, P., Strassmeier, K. G., Gallagher, A., Faraggiana, R., Sbordone, L. (2015): **Chemical composition of a sample of bright solar-metallicity stars**, *Astronomische Nachrichten* 336, 968.

Cole, E. M., Hackman, T., Käpylä, M. J., Ilyin, I., Kochukhov, O., Piskunov, N. (2015), **Doppler imaging of LQ Hydrae for 1998-2002**, *Astronomy & Astrophysics* 581, A69.

Flores Soriano, M., Strassmeier, K. G., Weber, M. (2015): **Chromospheric activity and lithium line variations in the spectra of the spotted star LQ Hydrae**, *Astronomy & Astrophysics* 575, 57.

Hubrig, S., Schöller, M., Kholtygin, A. F., Tsumura, H., Hoshino, A., Kitamoto, S., Oskinova, L., Ignace, R., Todt, H., Ilyin, I. (2015), **New multiwavelength observations of the Of?p star CPD -28° 2561**, *MNRAS* 447, 1885.

Järvinen, S. P., Carroll, T. A., Hubrig, S., Schöller, M., Ilyin, I., Korhonen, H., Pogodin, M., Drake, N. A. (2015), **HARPS spectropolarimetry of three sharp-lined Herbig Ae stars: New insights**, *Astronomy & Astrophysics* 584, A15.

Lehmann, L. T., Künstler, A., Carroll, T. A., Strassmeier, K. G. (2015): **Magnetic field measurements of ϵ Eridani from Zeeman broadening**, *Astronomische Nachrichten* 336, 258.

Strassmeier, K. G., Carroll, T. A., Mallonn, M. (2014): **Biosignatures from circular spectropolarimetry: key science for ELTs?**, online at <http://www.ebi2014.org>, id.4.7.

Strassmeier, K. G., Ilyin, I., Järvinen, A., Weber, M., Woche, M., Barnes, S. I., Bauer, S.-M., Beckert, E., Bittner, W., Bredthauer, R., and 18 coauthors (2015): **PEPSI: The high-resolution échelle spectrograph and polarimeter for the Large Binocular Telescope**, *Astronomische Nachrichten* 336, 324.

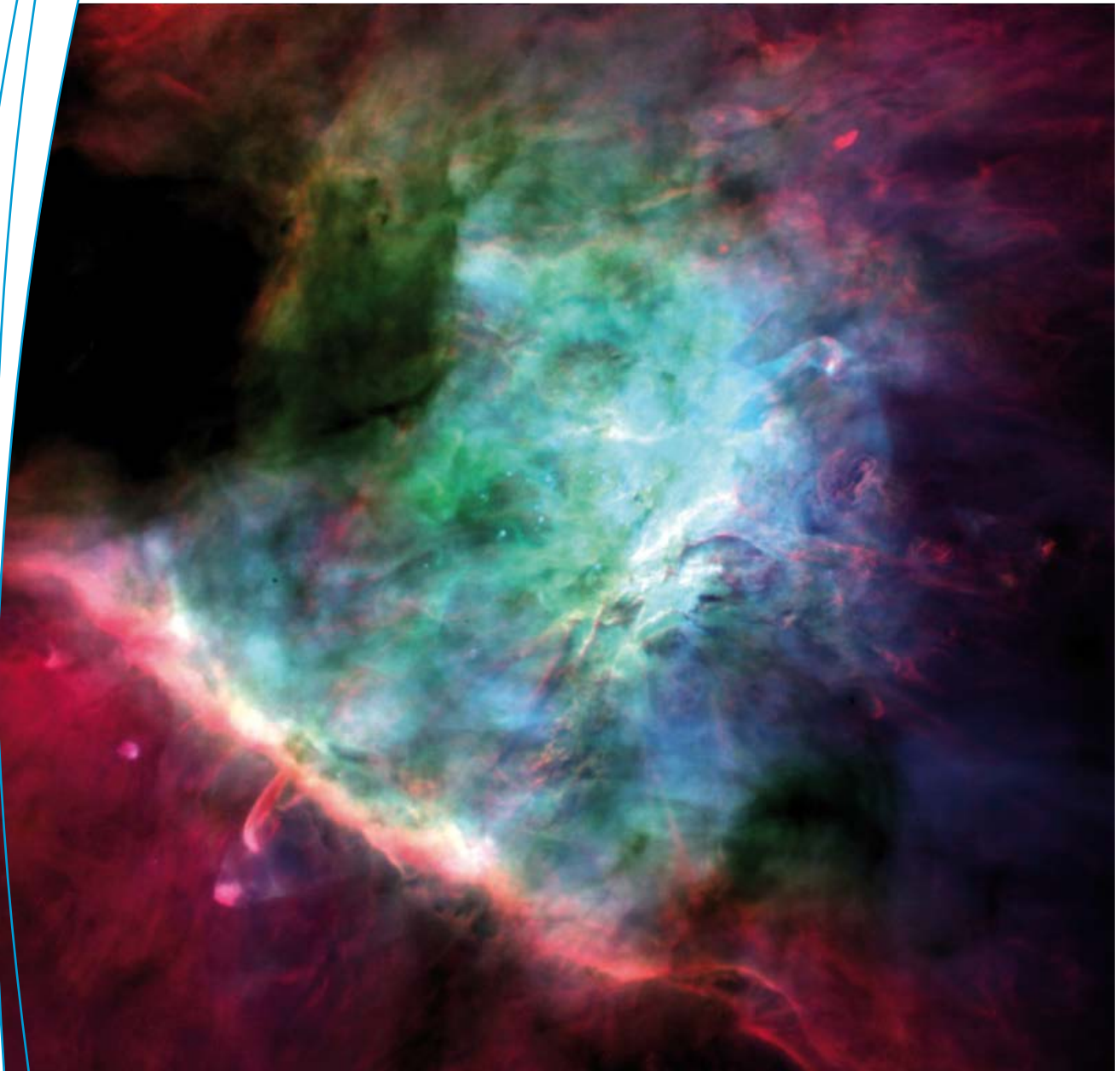
Strassmeier, K. G., Weber, M., Granzer, T., Schanne, L., Bartus, J., Ilyin, I. (2014), **Time-series high-resolution spectroscopy and photometry of ϵ Aurigae from 2006-2013: Another brick in the wall**, *Astronomische Nachrichten* 335, 904.

Zerbi, F. M., Bouchy, F., Fynbo, J., Maiolino, R., Piskunov, N., Rebolo Lopez, R., Santos, N., Strassmeier, K. G., Udry, S., Vanzi, L., and 42 coauthors (2014): **HIRES: the high resolution spectrograph for the E-ELT**, *SPIE* 9147, 23.



Dennis Plüschke, Clemens Konrad, Daniel Sablowski, Manfred Woche, Arto Järvinen, Igor Di Varano, Klaus G. Strassmeier, Ilya Ilyin, Michael Weber





Mehrfarbenaufnahme der zentralen Region des Orionnebels (M42) beobachtet mit MUSE. Die Farben repräsentieren verschiedene Ionisationsstufen des Gasnebels (rot: [SII]6717, grün: [SIII]9068, blau: H β). Colour composite of the central Orion Nebula (M 42), observed with MUSE. The colours illustrate different ionization stages of the gas (red: [SII]6717, green: [SIII]9068, blue: H β).

3D- und Multi-Objekt-Spektroskopie

3D and Multi Object Spectroscopy

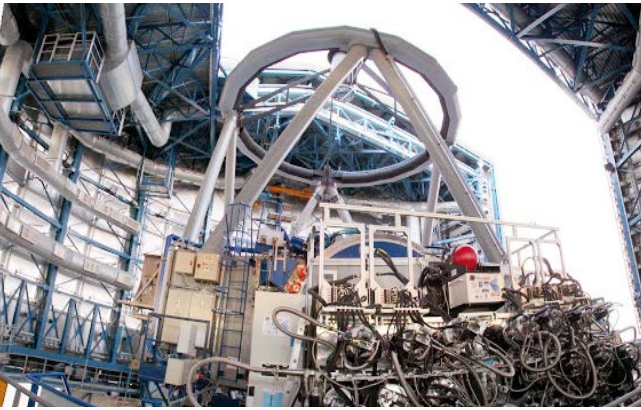


Fig. 1: Das MUSE-Instrument am Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte in Chile. The MUSE instrument at the Very Large Telescope of the European Southern Observatory in Chile. (Credit: Ghaouti Hansali, CRAL)

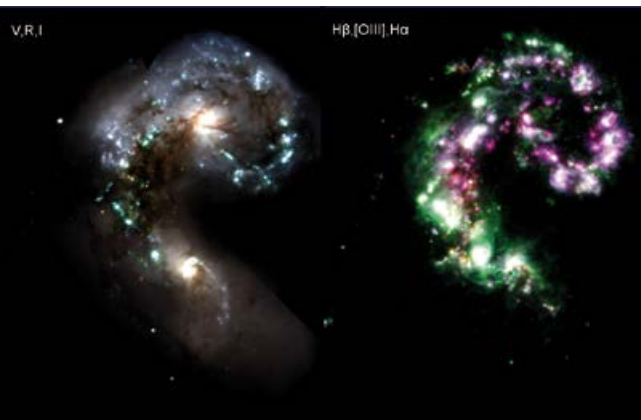


Fig. 2: Rekonstruierte Ansichten der wechselwirkenden Antennen-Galaxien NGC 4038/39 aus den MUSE-Spektren im visuellen, roten und infraroten Bereich (links) und des ionisierten Wasserstoff- und Sauerstoffgases (rechts). Re-constructed images of the interacting Antennae-galaxies NGC 4038/39 from the MUSE-spectra, using the visible, red and infra-red colours (left), and the ionized hydrogen and oxygen gas (right).

Team 2014/2015:

Sam Barden, Olga Bellido-Tirado, Dionne Haynes, Thomas Jahn, Andreas Kelz (head), Justus Neumann, Petra Nihsen, Daniel Phillips, Johannes Piotrowski, Monika Rutowska, Christer Sandin, Allar Saviauk, Robin Schmidt, Ole Streicher, Tanya Urrutia, Peter Weilbacher, Roland Winkler

Im Rahmen der Forschungsabteilung „3D- und Multi-Objekt-Spektroskopie“ (3DMOS) entwickelt das AIP Forschungstechnologien, neue Instrumente und Software auf dem Gebiet der Multiplex-Spektroskopie. Die Entwicklung dieser komplexen Technologien reicht von der Konzeption über den Entwurf, Bau und Test bis zum Betrieb neuer Instrumentierung am Teleskop. Ebenso wird Software zur Reduktion, Analyse und Visualisierung der spektroskopischen Daten entwickelt. Wie der letzte Evaluierungsbericht bestätigt, ist das AIP als ein Zentrum der optischen 3D-Spektroskopie international bekannt.

Für das Studium ausgedehnter Gaswolken oder Galaxien im Universum werden bevorzugt die bildgebende oder 3D-Spektroskopie (3DS) eingesetzt. Müssen im Rahmen einer umfangreichen Durchmusterung hingegen sehr viele Sterne oder Galaxien vermessen werden, ist die Multi-Objekt-Spektroskopie (MOS) die führende Technik.

Das AIP engagiert sich in internationalen Konsortien, um Instrumente für große Observatorien, insbesondere die Europäische Südsternwarte (ESO), zu bauen. Zusätzlich werden Studierende und junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im 3DMOS-Programm ausgebildet. Diverse Projekte (4MOST, MUSE, ELT-MOS) werden von der BMBF-Verbundforschung unterstützt.

Inbetriebnahme von MUSE

Der 3D-Spektrograph MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) wurde für das Very Large Telescope (VLT) der Europäischen Südsternwarte (ESO) gebaut. Anfang 2014 konnte das „erste Licht“ am Teleskop gefeiert werden. Kurz danach startete eine halbjährige Testperiode im Vorfeld der Inbetriebnahme. Die am AIP entwickelte Datenreduktionspipeline funktionierte bereits von der ersten Nacht an sehr gut. Dies führte dazu, dass bereits aus Daten der Beobachtungskampagnen zur wissenschaftlichen Verifikation signifikante neue Erkenntnisse gewonnen und publiziert werden konnten. Daran beteiligten sich nicht nur Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem MUSE-Team, sondern auch Forscherinnen und Forscher aus ganz Europa.

Seit dem ersten Semester der regulären Beobachtungszeit ab Oktober 2014 ist MUSE eines der am stärksten nachgefragten Instrumente am VLT. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des AIP nehmen aktiv an Programmen, sowohl in garantierter als auch in offener Beobachtungszeit, teil. Projekte der garantierten Zeit, die vom AIP geleitet werden, umfassen Beobachtungen der nahen Spiralgalaxie NGC 300, des Prototyps von verschmelzenden Galaxien, der „Antennen“ (NGC 4038/39) und einer Durchmusterung eines extragalaktischen Feldes.

Das 4MOST-Projekt

Das 4 m Multi-Object Spectroscopic Telescope (4MOST) soll ab 2022 am ESO-VISTA Teleskop in Betrieb gehen und dort Spektroskopie mit hohem Multiplex über ein großes Gesichtsfeld ermöglichen. Die wichtigsten wissenschaftlichen Themen sind Galaktische Archäologie, Kosmologie und Galaxienentwicklung. 4MOST soll Millionen von Spektren für Himmelsdurchmusterungen (z. B. der Satellitenmissionen GAIA, eRosita und Euclid) beisteuern.





Fig. 3: Die Milchstraße am Nachthimmel der Atacamawüste über VISTA, dem Teleskop für 4MOST. A view of the Milky Way across the Atacama night sky and VISTA, the destination telescope for 4MOST. (Credit: ESO)

Die wissenschaftlichen Aspekte und die instrumentelle Entwicklung werden von der AIP-Forschungsabteilung „Milchstraße und das lokale Volumen“ und dem 4MOST-Projektbüro am AIP koordiniert.

Die Systeme für 4MOST werden in einem europäisch-australischen Konsortium konzipiert und entwickelt, hierzu zählen unter anderem eine Weitfeld-Optik mit einem Gesichtsfeld von vier Quadratgrad, ein Positionierungs-System für 2.400 Fasern, niedrig und hochauflösende Spektrographen, sowie Kalibrier- und Metrologieeinheiten. Zusätzlich wird Software benötigt, um die wissenschaftlichen Beobachtungen und die Eigenschaften des Instruments zu simulieren, die Gerätekomponenten zu steuern und die Daten zu analysieren.

MOSAIC für das 39m E-ELT

Der Bau des Europäischen Extremely Large Telescope (E-ELT) mit einem knapp 39m großem Hauptspiegel ist das herausragende Infrastrukturprojekt der europäischen bodengebundenen Astronomie in den nächsten Jahren. Das AIP beteiligt sich innerhalb eines europäischen Konsortiums an der Projektstudie für den E-ELT Multi-Objekt-Spektrographen (MOSAIC).

MOSAIC kombiniert bildgebende und Multi-Objekt-Spektroskopie für die gleichzeitige Spektroskopie einer großen Anzahl ausgedehnter Objekte. Die wissenschaftlichen Ziele reichen von der Beobachtung der entferntesten Galaxien über Galaxienhaufen und Sternpopulationen bis hin zur Entstehung von Planetensystemen.

VIRUS und die Ausdehnung des Kosmos

Das AIP beteiligt sich außerdem am Bau eines Spektrographen für das weltweit drittgrößte Teleskop. Am Hobby-Eberly Telescope in Texas wird nicht nur eine neue Weitfeld-Optik, sondern auch das Instrument VIRUS installiert, für welches das AIP die Glasfaserbündel entwickelt. Mit VIRUS lassen sich pro Aufnahme mehr als 33.000 Spektren gewinnen.

VIRUS wird für das Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment (HETDEX) benötigt, welches die Verteilung von einer Million entfernter Galaxien vermessen soll, um die beschleunigte Ausdehnung des Kosmos besser zu verstehen.

Diese Faserbündel werden sowohl am AIP als auch im Rahmen eines Technologietransfers mit Industriepartnern realisiert. Für seinen Beitrag erhält das AIP Beobachtungszeit mit VIRUS und ist wissenschaftlich in HETDEX involviert.

PMAS am Calar Alto Observatorium

Der am AIP entwickelte Potsdam Multi-Apertur Spektrophotometer (PMAS) ist ein 3D-Spektrograph für den gesamten optischen Wellenlängenbereich. PMAS ist eines der meistgenutzten Instrumente am deutsch-spanischen Calar Alto 3,5m Teleskop. Die CALIFA-Durchmusterung nutzte PMAS und dessen effizientes Faserbündel (PPak), um 500 Galaxien räumlich und spektroskopisch zu vermessen und die Struktur und Evolution dieser Galaxien zu untersuchen.

2014/15 wurde ein neuartiger Laser-Frequenzkamm, entwickelt am Zentrum für Innovationskompetenz innoFSPEC Potsdam, erfolgreich im realen Beobachtungsbetrieb mit PMAS getestet. Diese neue Lichtquelle soll die Kalibration von Spektrographen und damit die wissenschaftlichen Messungen verbessern.

The “3D and Multi Object Spectroscopy” (3DMOS) programme is dedicated to the development of research technologies, new instrumentation, and software tools in the area of multiplex spectroscopy. These complex technologies are developed from a concept idea, via design studies, towards manufacture, assembly and testing, until the instrument is in operation at the telescope. In addition, dedicated software for the reduction, analyses and visualisation of the spectroscopic data is being developed. According to its last evaluation report, AIP is becoming known as a worldwide leader for 3D optical spectroscopy.

The technique of imaging or 3D Spectroscopy (3DS) is applied, whenever simultaneous spectroscopy of extended objects, such as nebulae or galaxies is required. In case, large samples of stars or galaxies need to be measured, Multi-Object-Spectroscopy (MOS) is used to enable such huge surveys.

AIP engages in international consortia to build instruments for the European Southern Observatory (ESO) and other world-class facilities. In addition, the training of students and young scientists is an integral part of the programme. Several projects (4MOST, MUSE, ELT-MOS) are supported by the BMBF-Verbundforschung.

MUSE Commissioning and Operations

The 3D spectrograph MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) was developed for the Very Large Telescope (VLT) of the European Southern Observatory (ESO). In early 2014, the instrument received first light and a very successful commissioning was carried out afterwards over the period of half a year. The AIP-developed data reduction software pipeline performed very well from the first night of observations. This was demonstrated by the success of the MUSE science verification observations which quickly resulted in a number of publications, from within the MUSE collaboration and from the European astronomical community.

Starting with the first semester of standard operations in October 2014, MUSE became one of the most-requested instruments at the VLT. AIP scientists are actively participating in science programs with MUSE in both guaranteed time and open time. Guaranteed-time programs led by AIP include observations of the nearby spiral galaxy NGC 300, the prototype merger Antennae (NGC 4038/39), and a wide-field survey of extra galactic fields.

The 4MOST project

The 4 m Multi Object Spectroscopic Telescope (4MOST) is being developed to offer high multiplex spectroscopy over a large field of view at the ESO-VISTA telescope from 2022 onwards. The main 4MOST science drivers are galactic archeology (GAIA follow-up),

the high energy sky (eRosita follow-up), cosmology and galaxy evolution (Euclid complement) as well as providing millions of spectra for other all-sky surveys. The scientific surveys and the instrumental development are coordinated by the “Milky Way and the Local Volume” subdivision and the project office, both based at AIP.

The 4MOST subsystems are designed and constructed within a European-Australian consortium. The hardware includes a wide-field optics to cover four square degrees, a positioner for 2,400 fibres, both low and high-resolution spectrographs, and calibration and metrology units. In addition, software needs to be developed to simulate the scientific surveys and the expected facility performance, to control the instrument and to reduce and analyse the data.

MOSAIC for the 39 m E-ELT

The development of the European Extremely Large Telescope (E-ELT) with a 39 m-size primary mirror is the major priority for the European ground-based astronomical infrastructure in the coming years. Within a European-wide consortium, AIP participates in the concept study for the E-ELT Multi Object Spectrograph (MOSAIC).

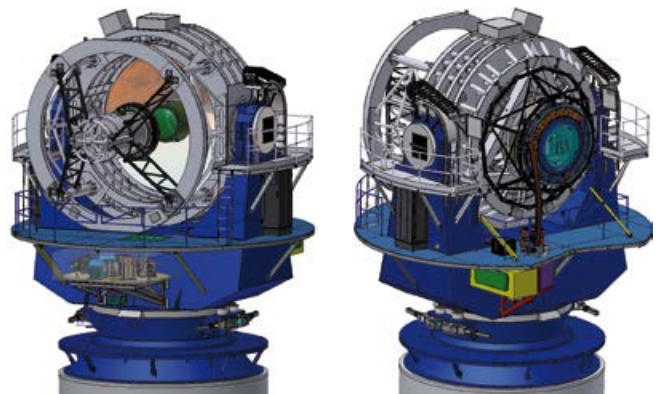


Fig. 4 (oben): Designentwurf des 4MOST Instruments am VISTA Teleskop der ESO. Computer-aided design of the 4MOST instrument, mounted to the ESO-VISTA telescope.

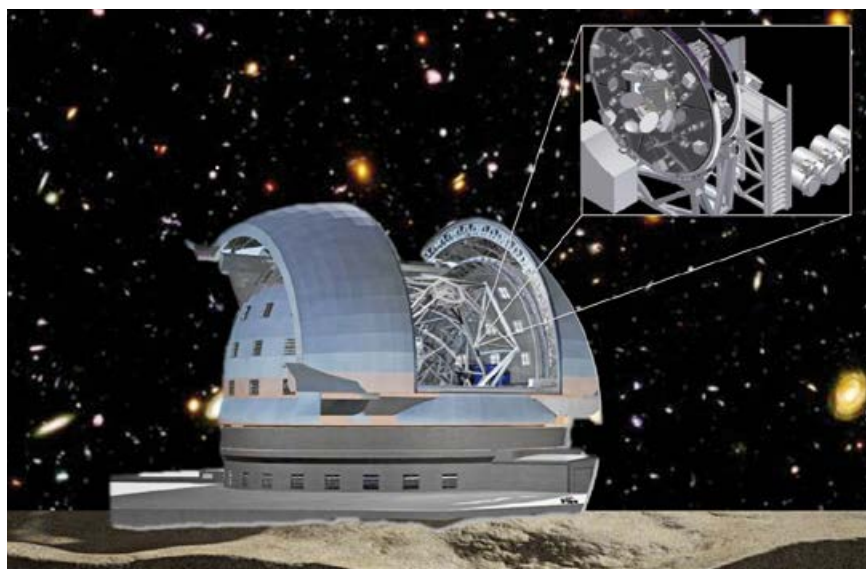


Fig. 5 (links): Das geplante E-ELT in Chile. Rechts oben: Darstellung des Konzepts von MOSAIC an einer Fokalstation des Teleskops. The planned E-ELT. Upper right: vision of MOSAIC installed at one of the focal stations. (Credit: MOSAIC consortium)



MOSAIC combines both imaging and multi-object spectroscopy to enable the observation of a large number of extended objects. The science cases range from the most distant galaxies, galaxy clusters and assembly, resolved stellar populations to planetary formation studies.

VIRUS to study cosmic expansion

The AIP participates in the development of a spectrograph for the 3rd largest telescope in the world. The Hobby-Eberly Telescope in Texas is being upgraded with a new wide-field-optics and the VIRUS instrument, for which the AIP provides the optical fibre-bundles. With this instrument, over 33,000 spectra can be recorded in every exposure on-sky.

VIRUS is the instrument needed for the Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment (HETDEX), which aims to measure the distribution of one million distant galaxies and thus learn about the accelerated expansion history of the cosmos.

These high-tech fibre bundles are manufactured in house as well as through technology transfer with industrial partners. In exchange for the development, AIP receives observing time with VIRUS and is scientifically involved in the HETDEX survey.

PMAS at the Calar Alto Observatory

The AIP-built Potsdam Multi Aperture Spektrophotometer (PMAS) is a 3D Spectrograph, covering the entire optical wavelength range. PMAS is one of the most used instruments at the German-Spanish Calar Alto 3.5 m telescope. The CALIFA survey took advantage of PMAS wide integral-field-unit (PPak) to spectroscopically map 500 nearby galaxies and to study galaxy structure and evolution.

In 2014/15, a novel Laser Frequency Comb, developed at the innovation centre innoFSPEC-Potsdam, was successfully tested on-sky, using PMAS as a technology test-bench. This new light source shall improve the calibration of spectrographs and hence their scientific measurements.



Fig. 8: Aufrüstung des Hobby-Eberly-Teleskops mit einer Weitwinkel-optik im Primärfokus, in die auch die VIRUS-Glasfaserbündel integriert sind. Upgrade of the Hobby-Eberly Telescope with a wide-field optics at its prime focus, where the VIRUS fibre bundles are located (Credit: McDonald Observatory).



Fig. 9: Die Fasern des Laser-Frequenzkamms sind an das PMAS-Instrument des 3,5 m Teleskops auf dem Calar Alto in Spanien gekoppelt. The fibres of the Laser-Frequency Comb are coupled to the PMAS instrument, mounted at the Calar Alto 3.5 m telescope, Spain.

Ausgewählte Publikationen

Selected publications

Bacon, R., ..., Herenz, C., ..., Husemann, B., ..., Krajnovic, D., ..., Sandin, C., ..., Streicher, O., Urrutia, T., Weilbacher, P., Wisotzki, L. (2014): **MUSE Commissioning**, ESO The Messenger 157, 13.

Haynes, D. M., Winkler, R., Saviauk, Allar, Haynes, R., Barden, S., Bellido-Tirado, O., Bauer, S., de Jong, Roelof S., Depagne, E., Dionies, F., Ehrlich, K., Kelz, A., Saunders, W.; Woche, M. (2014): **4MOST fiber feed concept design**, Proceedings of the SPIE, Volume 9147, 91476A.

Iodice, E., Coccato, L., Combes, F., de Zeeuw, T., Arnaboldi, M., Weilbacher, P. M., Bacon, R., Kuntschner, H., Spavone, M. (2015): **Mapping the inner regions of the polar disk galaxy NGC 4650A with MUSE**, Astronomy & Astrophysics 583, 48.

de Jong, R. S., Barden, S., Bellido-Tirado, O. et al. (2014): **4MOST: 4-metre Multi-Object Spectroscopic Telescope**, Proceedings of the SPIE, Volume 9147, 91470M.

Kelz, A., Jahn, T., Haynes, D., Hill, G. J., Lee, H., Murphy, J. D., Neumann, Justus, Nicklas, Harald, Rutowska, M., Sandin, C. et al. (2014): **VIRUS: assembly, testing and performance of 33,000 fibres for HETDEX**, Proceedings of the SPIE, Volume 9147, 914775 12.

Kelz, A., Jahn, T., Neumann, J., Roth, M. M., Rutowska, M., Sandin, C., Nicklas, H., Anwand, H., Schmidt, C. (2014): **Development of deployable fibre integral-field-units for the E-ELT**, Proceedings of the SPIE, Volume 9151, 915151 8.

Monreal-Ibero, A., Weilbacher, P. M., Wendt, M., Selman, F., Lallement, R., Brinchmann, J., Kamann, S., Sandin, C. (2015): **Towards DIB mapping in galaxies beyond 100 Mpc. A radial profile of the $\lambda 5780.5$ diffuse interstellar band in AM 1353-272 B**, Astronomy & Astrophysics 576, L3.

Sandin, C. (2015): **The influence of diffuse scattered light. II. Observations of galaxy haloes and thick discs and hosts of blue compact galaxies**, Astronomy & Astrophysics 577, A106.

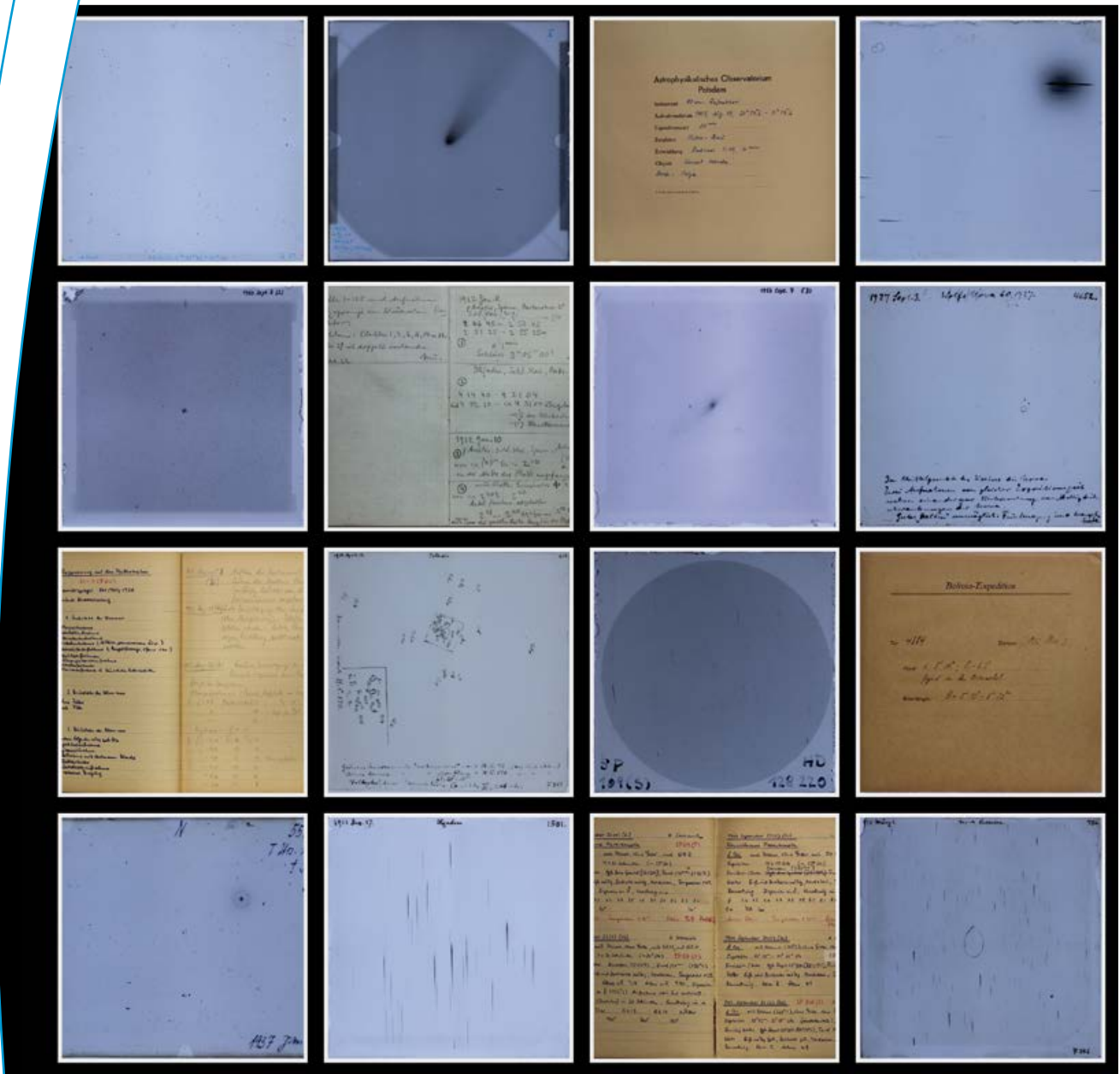
Weilbacher, P. M., Monreal-Ibero, A., Kollatschny, W., Ginsburg, A., McLeod, A. F., Kamann, S., Sandin, C., Palsa, R., Wisotzki, L., Bacon, R., Selman, F., Brinchmann, J., Caruana, J., Kelz, A., Martinsson, T., Pécontal-Rousset, A., Richard, J., Wendt, M. (2015): **A MUSE map of the central Orion Nebula (M 42)**, Astronomy & Astrophysics 582, A114.

Weilbacher, P. M., Streicher, O., Urrutia, T., Pécontal-Rousset, A., Jarno, A., Bacon, R. (2014): **The MUSE Data Reduction Pipeline: Status after Preliminary Acceptance Europe**, ASPC 485, 451.



Front row: Daniel Phillips, Roland Winkler, Eloy Luis Hernandez Anguizola
 Second row: Sam Barden, Dionne Haynes, Tanya Urrutia
 Behind second row: Johannes Piotrowski, Thomas Jahn, Ole Streicher, Christer Sandin, Martin Mitzkus, Allar Saviauk, Olga Bellido-Tirado, Andreas Kelz, Peter Weilbacher





Beispiele digitalisierter Fotoplatten und Logbucheinträge aus der Sammlung des AIP.
 Examples of digitised photographic plates and logbook pages. (Credits: S. Schmalz,
 K. Riebe, www.plate-archive.org)

Supercomputing und E-Science

Supercomputing and E-Science

Die moderne Astrophysik baut auf dem effizienten Zugriff und der Analyse von umfangreichen und komplexen Daten auf. Simulationen nutzen Supercomputer, um kosmische und stellare Vorgänge nachzubilden, Großinstrumente erzeugen Petabytes an wertvollen Beobachtungsdaten. E-Science und Supercomputing sind unabdingbare Komponenten der wissenschaftlichen Arbeit am AIP, um die notwendige IT-Infrastruktur und die differenzierten Ressourcen für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des AIP und deren internationale Projektpartner zur Verfügung zu stellen.

Die Cluster „Leibniz“ und „Newton“ bieten Rechenkapazität für Simulationen, Datenanalyse und Entwicklung von Simulationssoftware. Der Cluster „Almagest“ stellt Datenspeicher für große Datensätze und leistungsfähige interaktive Rechner mit passender astronomischer Software bereit. Für internationale Forschungsgruppen in der Kosmologie (CLUES und MultiDark) wird das Collaborative Research Environment (CRE) auf Almagest weiterentwickelt, für die MUSE-Kollaboration stellt das AIP einen der Hauptknotenpunkte des verteilten Datenzentrums MUSEwise zur Verfügung. Ein CRE für das Sonnenteleskop GREGOR befindet sich in der Entwicklung. Daten- und Webservices stehen auch für das 4MOST-Projekt bereit. Datenpublikationen wie für die RAVE-Kollaboration erfolgen durch speziell dafür entwickelte Applikationen.

Diese für Großprojekte notwendige Infrastruktur wird ergänzt durch Cloud-Services vom AIP, die für einzelne Arbeitsgruppen und Wissenschaftler nutzbar sind. Die virtualisierte Infrastruktur ermöglicht den Ausbau der Webservices entsprechend den Anforderungen und umfasst webbasierten Zugriff und Austausch von Daten und Dokumenten, aber auch Services zur Organisation von Konferenzen.

CosmoSim

In der CosmoSim Datenbank werden seit 2013 die Daten von kosmologischen Computersimulationen online veröffentlicht. Kontinuierlich kommen neue Datensätze hinzu, die aufbereitet und in die Datenbank eingepflegt werden.

Für mehrere Simulationen liegen nun sogenannte „Rockstar“-Kataloge vor, aus denen die Verschmelzungsgeschichte der Dunkle-Materie-Halos extrahiert werden kann.

Mittlerweile kann jeder registrierte Nutzer auf über 30 Terabyte an Daten aus neun verschiedenen Simulationen, die in unterschiedlicher Auflösung vorliegen, zugreifen.

Team 2014/2015:

Harry Enke (head), Anastasia Galkin, Ondrej Jaura,
Arman Khalatyan, Jochen Klar, Gal Matijevic, Kristin Riebe,
Matthias Steinmetz

Damit möglichst viele Wissenschaftler aber auch Laien von den Daten profitieren können, wurden Tutorien und Workshops angeboten, u. a. auch ein Workshop für Lehrer. Die Anleitungen sind auf der CosmoSim-Seite unter „Demos and Tutorials“ zu finden (Fig.1).

APPLAUSE

Im Mai 2015 wurde über das Web-Portal APPLAUSE die erste Datenveröffentlichung des DFG-geförderten Projektes „Digitalisierung astronomischer Fotoplatten und ihre Integration in das internationale Virtuelle Observatorium“ publik gemacht. Die Veröffentlichung umfasst Daten von mehr als 19.000 Fotoplatten der Jahre 1909–1976 aus den Archiven des AIP, der Dr. Reimers-Sternwarte in Bamberg und der Hamburger Sternwarte. Mit der im Projekt entwickelten Software „PyPlate“ konnten aus den Digitalisaten 1,66 Milliarden Quellen extrahiert werden. Mehr als die Hälfte davon wurde in anderen Sternkatalogen identifiziert, so dass für diese Objekte Positionsdaten und Helligkeiten verfügbar sind. Zusätzlich enthält das Archiv mehr als 26.000 digitalisierte Aufnahmen von Plattenhüllen und Logbuch-Einträgen. Die Platten erfassen 98,9 Prozent des gesamten Himmels (Fig.2).

Gaia

Im Sommer 2016 werden voraussichtlich die ersten Datensätze der Gaia-Mission der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung gestellt werden. Das AIP wird als eines von vier externen Datenzentren eine Kopie der Daten in der eigenen Infrastruktur bereitstellen. In Vorbereitung der Datenveröffentlichung, aber auch zur Nutzung durch die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des AIP, wurden mit „GUMS10“ und „GOG11“ bereits zwei simulierte Datensätze in das Datenbanksystem eingespeist.

Softwareentwicklung

Für CosmoSim, APPLAUSE und Gaia wie auch den RAVE-Survey verwendet das AIP in erster Linie selbst entwickelte Software. Diese umfasst unter anderem das Daiquiri-Framework, diverse Erweiterungen für das MySQL-Datenbanksystem und mit dem „uws-client“ ein Werkzeug zur konsolenbasierten Abfrage von Datenbanken. Die Quellcodes werden über die Nutzung offener Lizenzen bereitgestellt, so dass auch andere Forschende sowie Institutionen von den AIP-Services profitieren können. Daiquiri wird beispielsweise von Arbeitsgruppen in Madrid, Spanien und Tartu, Estland zur Veröffentlichung von Daten verwendet.

Visualisierung

Die E-Science-Gruppe erforscht moderne Visualisierungstechnologien, insbesondere in 3D, um der Komplexität der Simulations- und Beobachtungsdaten gerecht zu werden. Erste Filme wurden mit Blender in 3D erstellt: ein Flug durch die vom RAVE-Projekt beobachteten Sterne der Milchstraße und eine Visualisierung der MUSE-Daten vom Orion-Nebel. Bilder und Filme astronomischer Daten sowie Kurzanleitungen und Skripte für eigene Visualisierungen sind unter <http://escience.aip.de/vis> veröffentlicht.

Virtuelles Observatorium

Im Rahmen des Virtuellen Observatoriums (VO) werden international eingesetzte Standards entwickelt, um einheitlichen



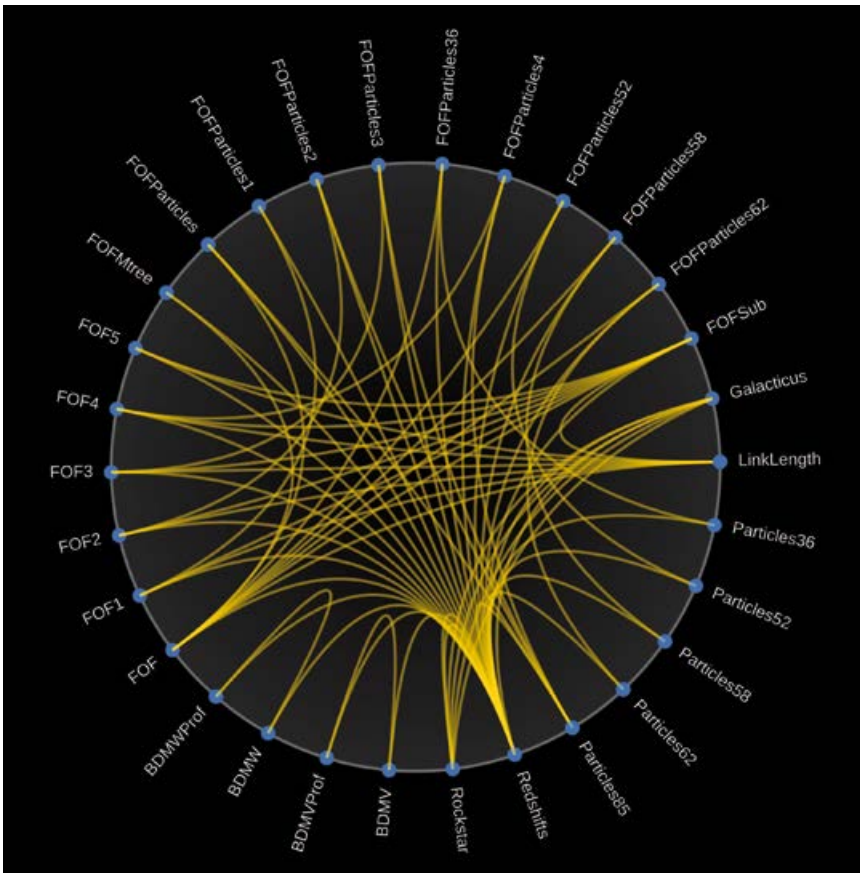


Fig. 1: Schematische Darstellung einiger auf der CosmoSim-Datenbank gespeicherter Tabellen (Datensätze) und ihre Verlinkung untereinander. Beschreibung der einzelnen Tabellen unter: <https://www.cosmosim.org/cms/documentation/database-structure/tables/>. This schema-graph shows a number of different tables (data sets) stored inside the CosmoSim database and the cross-links to each other. See <https://www.cosmosim.org/cms/documentation/database-structure/tables/> for descriptions of the tables. (Credits: AIP/K. Riebe)

Zugriff auf astronomische Daten, deren Austausch und Analyse zu ermöglichen. Das AIP beteiligt sich an der Erarbeitung dieser Standards und deren Implementierung. Das Daiquiri-Webinterface unterstützt bereits einige dieser Standard-Protokolle, u. a. eine UWS-Schnittstelle zur Fernabfrage der Datenbank, Export von Tabellen im Format des Virtuellen Observatoriums und das direkte Senden der Daten vom Webbrowser zu VO-Software wie TOPCAT. Die aktuellen Entwicklungen der Standards werden verfolgt und die Implementierung von Daiquiri entsprechend aktualisiert.

Die Entwicklung eines Provenance-Datenmodells, dessen Ziel es ist, die Herkunft von astronomischen Daten zu beschreiben, wird weiter vorangetrieben. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Integration des Provenance-Modells des W3C-Konsortiums. Ein konsistentes Datenmodell ist besonders wichtig wenn das Datenmanagement sehr komplex wird, wie zum Beispiel beim Cerenkov Telescope Array (CTA), das energiereiche Gammastrahlen beobachten wird. Für die Analyse und Interpretation der Daten müssen die Wissenschaftler genau nachvollziehen können, wie die Daten gewonnen und bearbeitet wurden.

Erfolgskriterien für den Aufbau und nachhaltigen Betrieb Virtueller Forschungsumgebungen

Virtuelle Forschungsumgebungen (VRE) sind nicht nur in der Astronomie zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel der wissen-

schaftlichen Kollaboration geworden. Im DFG-geförderten Projekt „Erfolgskriterien für den Aufbau und nachhaltigen Betrieb Virtueller Forschungsumgebungen“ haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am AIP zusammen mit der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen und der TU Dortmund auf interdisziplinärer Ebene untersucht, welche Erfolgsfaktoren für Virtuelle Forschungsumgebungen identifizierbar sind. Hierfür wurden zahlreiche Expertengespräche geführt, ein Lebensphasenmodell erarbeitet sowie generische resp. Community-spezifische Bewertungskriterien für diese Lebensphasen formuliert. Daraus kann ein Leitfaden für Förderer und Projekte mit Erfolgskriterien für neue Vorhaben abgeleitet werden.

Efficient access and analysis of complex and extensive data is the foundation of modern astrophysics. Cosmological simulations exploit the capacity of supercomputers and newly developed instruments produce petabytes of observational data. E-Science and Supercomputing are important components of scientific work at AIP and provide the necessary infrastructure and resources for the AIP scientists and their international collaborators.

The two clusters Leibniz and Newton provide computational power for simulation runs, data analysis and simulation code development.



Fig. 2: Fotoplatten werden gescannt (hier von den Plejaden) und verarbeitet, um automatisch Objektkataloge zu erstellen. In der unteren rechten Abbildung sind die gefundenen Objekte skizziert. The photo plates were scanned (in this image the Pleiades) and processed to automatically generate object catalogs. In the bottom right picture the found objects are drawn. (Credits: AIP/K. Riebe)

Big data is stored in the vast capacities of the cluster Almagest that has its strength in the high-performance interactive nodes equipped with sophisticated astronomical software. The RAVE survey data, its data reduction pipeline and the resulting published data is a part of Almagest. The international cosmologists groups CLUES and MultiDark rely on the Collaborative Research Environment (CRE) which was developed by the E-Science team at AIP to run on Almagest. Another CRE is being developed at the moment to facilitate the GREGOR collaboration. Furthermore AIP runs one of the major nodes in the distributed MUSEWise datacentre.

These high capacity projects are complemented by the cloud services at AIP that are available for individual research groups and scientists. The virtualised IT infrastructure enables web based access and exchange of documents and data as well as facilities for workshop organization.

CosmoSim

The CosmoSim database hosts cosmological simulation data sets and is available online since 2013. Since the launch various new datasets were added with of careful data curation and could be finally made available.

For many of the already published simulations there are now so called 'Rockstar' catalogues which provide access to the merging



history of dark matter haloes. Those are of particular interest for the observers. By now registered users have on their hands more than 30 Terabytes of datasets from nine distinct simulations that are available in various resolutions.

Tutorials and workshops were held for scientists and interested individuals, e.g. teachers. Further tutorials and documentation is available on the CosmoSim webpage.

APPLAUSE

In May 2015 a first data release was published by the project “Digitization of astronomical photographic plates and their integration into the international Virtual Observatory” funded by DFG. About 19,500 plates from 1909–1976 from archives of AIP, Dr.-Reiseis-Sternwarte (Bamberg) and Hamburger Sternwarte were published along with the catalogue data. The extraction of information from the plates was performed by PyPlate, a software developed especially for this purpose during the project. 1.6 billion sources are now incorporated into the database along with the positional data and the magnitudes. More than a half of these sources were identified with the help of other astronomical catalogues. The archive also grants access to more than 25,000 images of logbook pages and envelopes. The published data has a sky coverage of 98.9 percent of the whole sky.

Gaia

The initial release of the Gaia mission data is scheduled for summer 2016. AIP will host a copy of survey data releases as one of the external data centres for publishing purposes. Currently two simulated data sets, GOG11 and GUMS10 are available to be used for preparatory studies.

Software developments

CosmoSim, APPLAUSE, Gaia data base and the RAVE survey all rely on the software developed by the E-Science team at AIP, which is available under the Open Source license for public use. The span of the developed tools is wide. It reaches from the highly distributed nodes design and numerous MySQL extensions to cope with the sheer amount of data to the Daiquiri web publishing frontend framework, including the VO (Virtual Observatory) tool (uws-client) to support command line access to the databases. Research groups in Madrid (Spain) and Tartu (Estonia) already use Daiquiri for their data publications. Further Open Source software releases are planned.

Visualisation

The E-Science team uses and develops refined (3D) visualisation techniques for complex simulation and observational data. The complete RAVE survey is rendered in a 3D film showing the observed stars in the Milky Way. Also, a data set from the MUSE instrument that observes the Orion Nebula was turned into a 3D animation. These and many more visualisations of astronomical data as well as the scripts and HowTos are available on <http://escience.aip.de/vis>.

Virtual Observatory

The Virtual Observatory (VO) Initiative develops standards to empower uniform access to distributed astronomical data

archives, exchange and analysis of the data. AIP is an active participant in the initiative. Daiquiri framework already implements relevant portions of the VO standards: VO metadata, a direct link between the VO visualisation and analysis software TOPCAT and the database online access, remote command line access via the UWS protocol. The Daiquiri implementation is constantly kept up-to-date with the most recent version of the VO standards.

Criteria for successful building and operating sustainable Virtual Research Environments

Virtual Research Environments (VRE) are a required tool for research collaborations in many scientific fields. The interdisciplinary project “Criteria for successful building and operating sustainable Virtual Research Environments” funded by DFG was initiated by the SUB Göttingen, TU Dortmund and AIP. It was successfully concluded in 2015. The success prospects of already existing VREs were put under scrutiny. The stakeholders of many projects were interviewed. A Life Phases Model was developed to understand the various stages of VRE evolution and formulate the corresponding criteria for success. The results can be used as a guideline for funders and project participants when planning a new VRE.

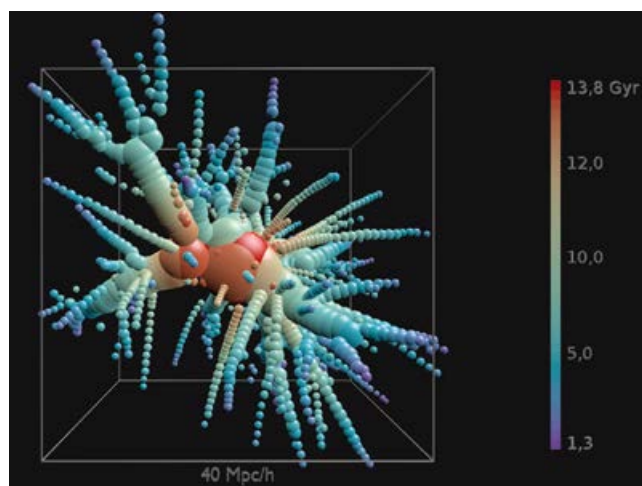


Fig. 3: Verschmelzungsprozesse Dunkler-Materie-Objekte in einer kosmologischen Simulation: die Kugeln markieren die Position von Halos aus dunkler Materie zu verschiedenen Zeitschritten. Eine Kette von Kugeln zeigt, wie sich ein Halo mit der Zeit vorwärts bewegt, wächst und schließlich auf andere Halos trifft und verschmilzt. Alle hier gezeigten Halos verschmelzen am Ende zum roten Objekt im Zentrum des Bildes. Merging processes of dark matter objects in a cosmological simulation: the spheres mark the position of dark matter halos at different timesteps. Thus, a chain of spheres shows how a halo is moving forward in time, grows, meets other halos and merges with them. All halos finally merge into the red object in the center. (Credit: AIP/K. Riebe)

Ausgewählte Web-Services und Software

Selected Web Services and Software

Klar, J., Enke, H. et al., **Success Criteria for the Development and Sustainable Operation of Virtual Research Environments**, DOI: 10.1045/september2015-buddenbohm

Demos and Tutorials:

<https://www.cosmosim.org/cms/documentation/demos-and-tutorials/>

Visualisation gallery:

<https://escience.aip.de/vis/>

Visualisation scripts:

<https://escience.aip.de/visualisation/>

Software:

<https://github.com/aipescience/>

uws-client:

<https://github.com/aipescience/uws-client>

uws-validator:

<https://github.com/kristinriebe/uws-validator>

blendertools:

<https://github.com/kristinriebe/blendertools>

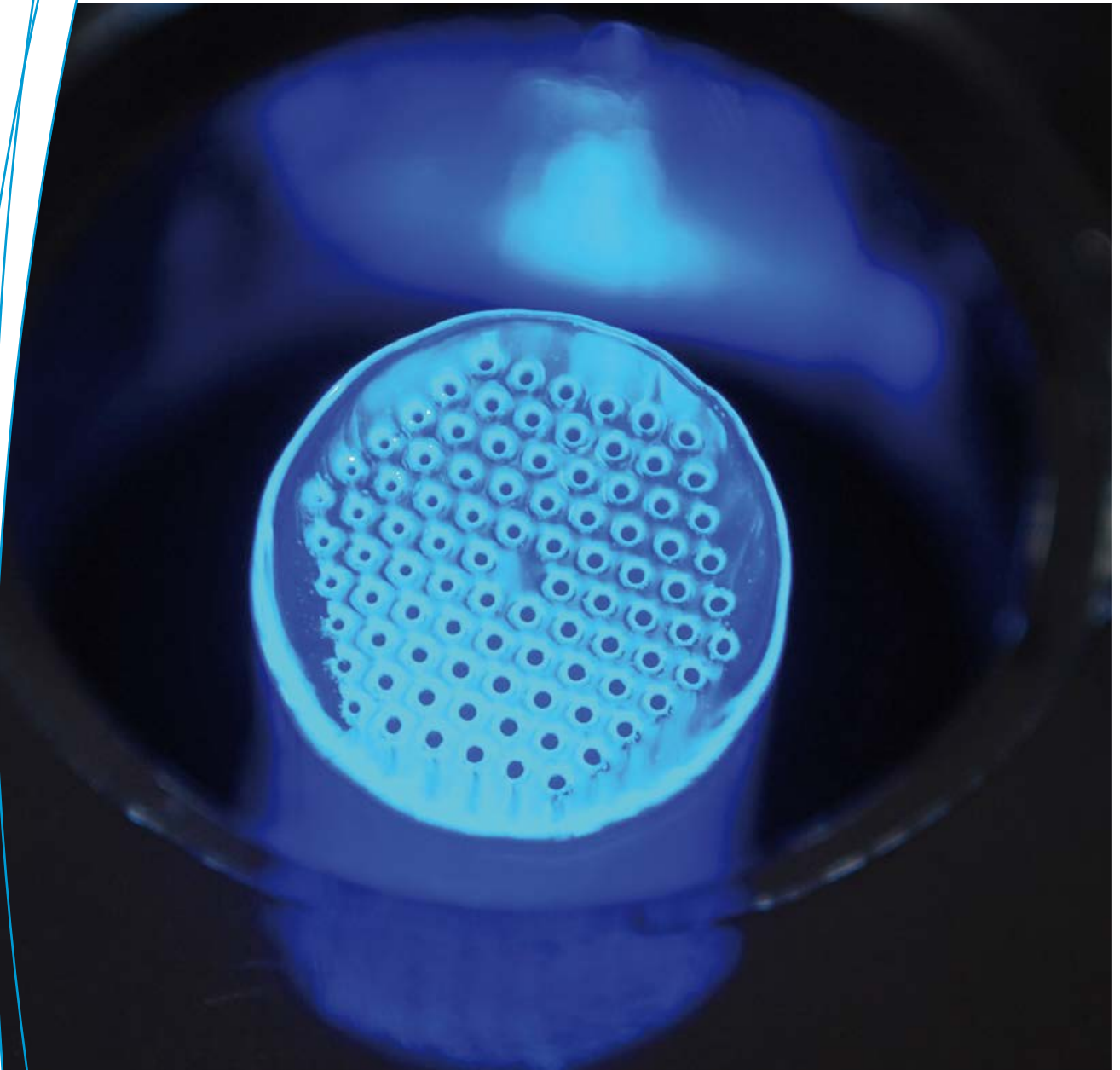
Solar system workshop:

<http://kristinriebe.github.io/solarsystem-workshop/>



*Arman Khalatyan, Ondrej Jaura,
Gal Matijevic, Jochen Klar, Kristin Riebe,
Harry Enke, Anastasia Galkin*

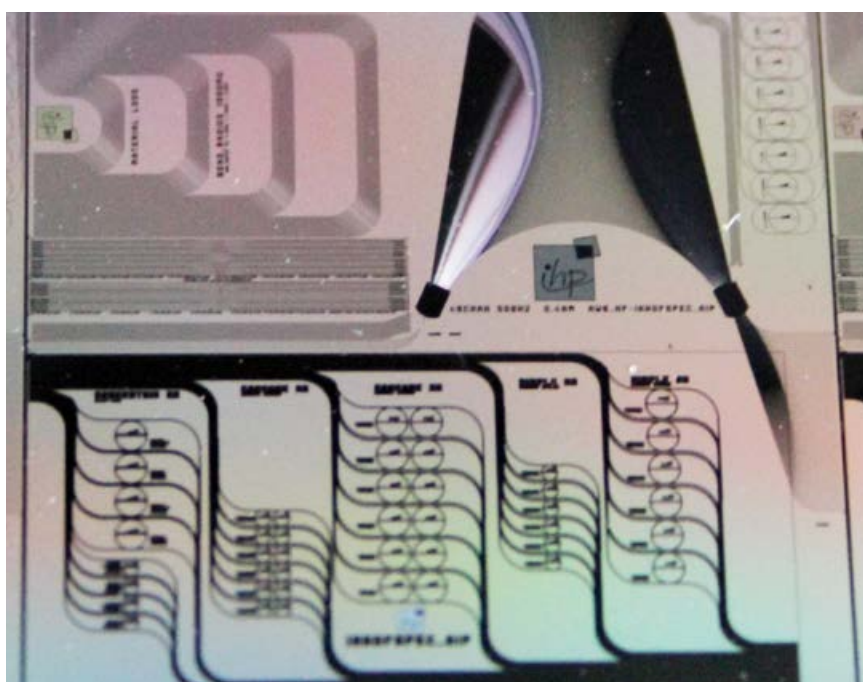




innoFSPEC

innoFSPEC

Fig. 1: Arrayed Waveguide Grating auf Basis der Si₃N₄-Technologie, hergestellt am Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik, Frankfurt (Oder). Simulationen, Layout und Charakterisierung der fertigen AWG erfolgten bei innoFSPEC. Arrayed Waveguide Grating based on Si₃N₄ technology, produced at the Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik, Frankfurt (Oder). Simulations, layout and characterization of the final AWG performed at innoFSPEC.



innoFSPEC

Der Programmbereich ist verantwortlich für das vom BMBF geförderte Zentrum für Innovationskompetenz innoFSPEC Potsdam. Es handelt sich um ein interdisziplinäres Gemeinschaftsvorhaben mit der Universität Potsdam, das darauf abzielt, mit Grundlagenforschung im Bereich der Photonik innovative Lösungen für Probleme der Spektroskopie und der chemischen Sensorik zu finden. Die hier entwickelten Kompetenzen unterstützen insbesondere auch aktuelle und zukünftige astronomische Instrumentierungsprojekte (z. B. VIRUS, 4MOST, ELT-MOS). Die am AIP angesiedelten Arbeitsgruppen konzentrieren sich auf die Themen Vielkanalspektroskopie, Astrophotonik und bildgebende

Ramanspektroskopie. innoFSPEC betreibt das Leibniz-Applikationslabor für faseroptische Spektroskopie und betreut den Wissens- und Technologietransfer des Instituts. Nach dem planmäßigen Auslaufen der ersten Förderperiode von fünf Jahren zum Jahresende 2014 konnte sich innoFSPEC Potsdam Anfang 2015 im Wettbewerb um eine Weiterförderung durch das BMBF erfolgreich behaupten. Mit der Verteidigung eines Strategiekonzepts für die Weiterentwicklung des Zentrums vor einer Expertenjury wurde dem Zentrum die weitere Förderung über einen Zeitraum von fünf Jahren in Aussicht gestellt. In einem Auswahlverfahren des BMBF wurde der Nachwuchsgruppenleiter für die am AIP angesiedelte neue Gruppe „Astrophotonik“ ausgewählt, um ab 2016 das neue Forschungsprogramm aufzunehmen.

Team 2014/2015:

Silvia Adelhelm, Olga Bellido Tirado, Daniel Bodenmüller, José Boggio, Sylvain Egron, Katjana Ehrlich, René Eisermann, Harendra Fernando, Tino Fremberg, Domenico Giannone, Dionne Haynes, Roger Haynes, Eloy Hernandez, Christian Kümpfel, Martin Mitzkus, Benito Moralejo, Petra Nihsen, Martin M. Roth (head), Monika Rutowska, Pouneh Saffari, Christer Sandin, Elmar Schmälzlin, Olivier Schnurr, Andreas Stoll, Marvin Stolz, Nuwan Suriya, Marina Zajnulina

Integrierte photonische Spektrographen (IPS)

Die Zielsetzung des Vorhabens bestand in der Entwicklung von Konzepten neuartiger photonischer Spektrographen, die zukünftig als kostengünstige und hochleistungsfähige miniaturisierte Komponenten die heute verbreiteten Spektrographen konventioneller Bauart ersetzen könnten. Dazu wurde die Entwicklung kompakter, robuster und stabiler miniaturisierter Spektrographen auf der Basis von integrierter Optik in Angriff genommen. innoFSPEC hat mit einem spezifisch für die Astronomie ausgelegten Layout – soweit bekannt als weltweit erste Gruppe überhaupt – begonnen, auf Basis des Materials Siliziumnitrid (Si₃N₄) eine Entwicklung erster Prototypen einzuleiten. Als Kooperationspartner für die Herstellung und lithographische Bearbeitung der Si₃N₄-Wafer konnte das Leibniz-Institut für innovative



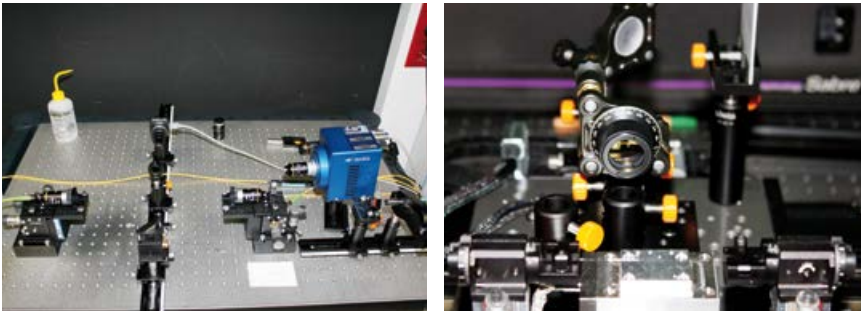


Fig. 2: Aufbau des Frequenzkamms im Labor des Calar Alto 3,5 m Teleskops. Setup of the frequency comb in the laboratory of the Calar Alto 3.5 m telescope.

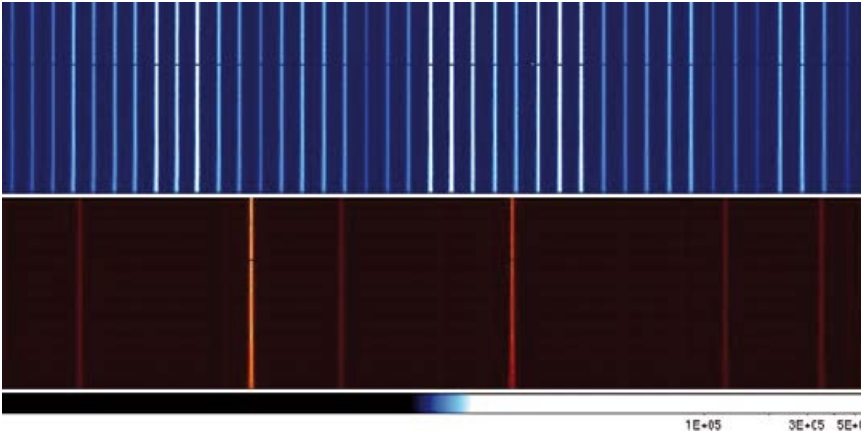


Fig. 3: Vollständig reduzierte Kalibrationspektren aus dem on-sky-Test mit PMAS am Calar Alto Observatorium. Oben: Frequenzkamm, unten: Neon-Spektrallampe. Die höhere Präzision der Wellenlängenkalibration aufgrund einer deutlich größeren Stützstellendichte im Falle des Frequenzkamms ist unmittelbar ersichtlich. Fully reduced calibration spectra from the on-sky test with PMAS at Calar Alto Observatory. Above: frequency comb, below: neon spectral lamp. In case of the frequency comb, the higher precision in wavelength calibration, due to a much larger density of supporting points, is immediately apparent.

Mikroelektronik (IHP), Frankfurt (Oder), gewonnen werden. Hier erfolgte auch die Materialentwicklung, bei der insbesondere Homogenität und die Minimierung von Fehlstellen im Vordergrund standen. Mit der so optimierten Technologie konnte nun das von innoFSPEC entwickelte neue Layout hergestellt und charakterisiert werden. Auf dem Wafer wurden ferner Entwicklungsmuster für weitere Strukturen realisiert, z. B. ein Mach-Zehnder-Interferometer, Ringresonatoren oder Wellenleiter zur Manipulation der Dispersion durch gezielte geometrische Bemessung von Kern und Cladding. Alle Strukturen wurden vor der lithographischen Herstellung durch Simulationsrechnungen mit dem Programmpaket RSoft studiert und optimiert.

Laserfrequenzkämme

Eine der großen Herausforderungen moderner Instrumentierung besteht in der Bearbeitung von Rohdaten mit dem Ziel, systematische Fehler als Folge instrumenteller Signaturen zu eliminieren. In diesem Zusammenhang spielt die Wellenlängenkalibration in der Spektroskopie eine wichtige Rolle. Bei sorgfältiger Vorgehensweise kann z. B. nach heutigem Stand der Technik eine Präzision in der spektroskopischen Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten in Höhe von 1 m/s erzielt werden. Noch höhere Genauigkeiten erreicht man mit Laserfrequenzkämmen auf Basis modengekoppelter Laser, deren Anwendbarkeit sich allerdings auf die Spektroskopie hoher Auflösung ($R > 50.000$) beschränkt. Ziel war die Entwicklung von neuartigen Laserfrequenzkämmen, mit denen auch die Spektroskopie niedriger bis mittlerer Auflösung ($500 \leq R \leq 50.000$) optimal kalibriert werden kann.

Zur Erzeugung eines Frequenzkamms wurde die Methode der 4-Wellen-Mischung zweier Laser unterschiedlicher Frequenz in nichtlinearen Fasern gewählt. Dazu wurden zunächst in numerischen Simulationsrechnungen die Entwicklung von Solitonen in den nichtlinearen Fasern und die Frequenzkammerzeugung modelliert und mittels Parameterstudien grundlegende Eigenschaften wie Kammbreite, Linienabstand, Rauschen und Kohärenz ermittelt. In einer experimentellen Realisierung konnte das Konzept im Labor bei Wellenlängen von 1.300 bis 1.800 nm erfolgreich validiert werden. Durch Frequenzverdopplung gelang es, den Arbeitsbereich des Frequenzkamms in den optischen Spektralbereich zu verschieben und die Wirkungsweise an einem astronomischen Spektrographen im Labor zu demonstrieren. Durch einen erfolgreichen Test mit dem PMAS-Instrument am 3,5-m-Teleskop des Calar Alto Observatoriums in Südspanien konnte diese Demonstration um einen überzeugenden praxisnahen Test ergänzt werden.

Projekte zum Wissens- und Technologietransfer

Eine weitere Zielsetzung der Forschungsarbeiten besteht in der Nutzung von aus der Grundlagenforschung entstandenen photonischen Konzepten für die Entwicklung von faseroptischen Sensoren für Chemie, Lebenswissenschaften, Medizin, Geowissenschaften, Umweltmonitoring, usw.. So wurden spezielle Multikernfasern, die aus einer Kooperation mit der University of Bath entstanden sind, dazu verwendet, mittels Einprägen von langperiodischen Faser-Bragg-Gittern eine neue Technologie für Biegesensoren zu schaffen. Ein solcher Sensor wurde in Zu-

sammenarbeit mit der Universität Aston in einer Multikernfaser mit 121 Kernen realisiert und im Labor charakterisiert. Es konnte gezeigt werden, dass dieser neue Sensortyp nicht nur äußerst empfindlich ist, sondern auch vollständig dreidimensionale Informationen über den Biegezustand des Sensors liefert. Der Biegesensor findet interessante Anwendungen in der Medizin sowie in der Sport- und Reha-Diagnostik. Ein weiterer Erfolg im Wissens- und Technologietransfer ergab sich aus der Nutzung von Konzepten für bildgebende Faserbündel, die ursprünglich für astronomische Zwecke hergestellt worden waren (VIRUS-Instrument), um in Analogie zur bildgebenden Spektroskopie mit Teleskopen die Methode der bildgebenden Raman-Spektroskopie in die medizinische Diagnostik einzuführen. In Zusammenarbeit mit der Charité Universitätsmedizin wurde im Rahmen des durch das BMBF geförderten Vorhabens „Multiplex-Raman-Spektroskopie aus der Astrophysik für die Medizin“ auf der Basis eines MUSE-Spektrographenmoduls ein Labordemonstrator zur Validierung des Verfahrens für die optische minimal-invasive Hautkrebsdiagnostik aufgebaut.

innoFSPEC

The program area is responsible for the BMBF-funded innovation centre innoFSPEC Potsdam, an interdisciplinary joint research initiative with the University of Potsdam. The goal is basic research in photonics to develop innovative solutions for spectroscopy and chemical sensing, and to support current and future astronomical instrumentation projects (e.g. VIRUS, 4MOST, ELT-MOS). Research of the innoFSPEC groups working on the AIP campus is focused on topics such as multi-channel spectroscopy, astrophotonics, and imaging Raman spectroscopy. innoFSPEC also hosts the Leibniz Application Lab for fibre-based spectroscopy and provides services in the area of Knowledge and Technology Transfer for AIP. After the first scheduled funding period of five years had expired at the end of 2014, innoFSPEC Potsdam succeeded in winning a competitive BMBF grant for the continuation of the project: in spring 2015, the centre defended its updated research strategy in front of an expert jury that endorsed another five year funding period. The team

leader of the new group entitled “Astrophotonics” was selected under the auspices of BMBF to launch the new program in 2016.

Integrated photonic Spectrographs (IPS)

The objective of this project consisted in the conceptual development of novel photonic spectrographs that hold the promise to replace in the future conventional bulk-optics spectrographs by high performance miniaturized and affordable components. The development of compact, robust, and stable miniaturized spectrographs was first launched on the basis of integrated optics components, namely arrayed waveguide gratings. With specific requirements for astronomy, innoFSPEC has begun, for the first time world-wide, to initiate the development of a prototype on the basis of the material silica nitride (Si₃N₄). Cooperation partner for the manufacture and lithographic treatment of the Si₃N₄ wafers was the Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP), Frankfurt (Oder). IHP also developed the process to optimize the material with regard to homogeneity and blemishes. It is only through this specific development that the new layout by innoFSPEC could be manufactured and characterized. Besides the spectrograph, the wafers also contained additional structures, e.g. a Mach-Zehnder interferometer, ring resonators, or test waveguides to validate the predicted dispersion behaviour as a result from geometrical fine-tuning details of core and cladding. Before manufacture, all structures were studied and optimized with simulations on the basis of the RSoft software.

Laser frequency combs

A major challenge of modern instrumentation consists in the processing of raw data for the purpose of eliminating systematic errors as a result from residual instrumental signatures. For spectroscopy, wavelength calibration plays an important role. With proper care, calibration accuracies of radial velocities on the order of 1 m/s are state-of-the-art. Even higher accuracies can be obtained with laser frequency combs on the basis of mode-coupled lasers – however limited to applications with high spectral resolution ($R > 50,000$). Therefore the goal of the project consisted in the development of novel laser frequency combs

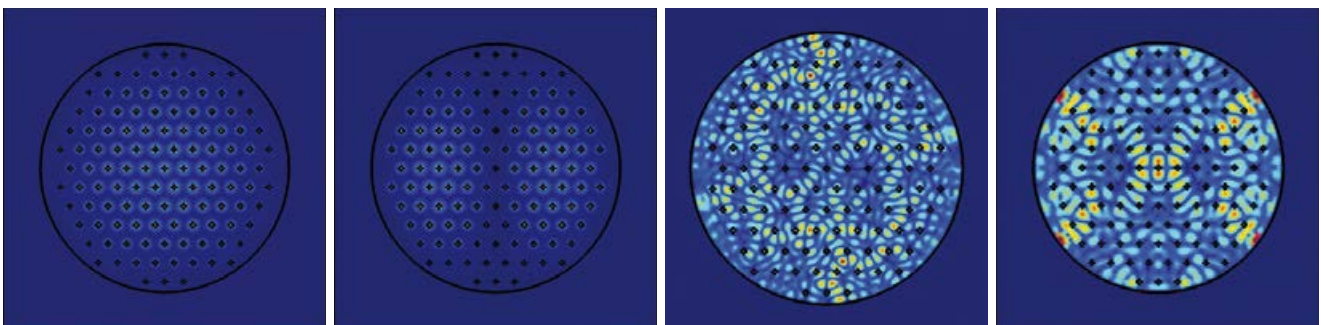


Fig. 4: Nutzung von Multikernfasern für die Sensorik. Die Ausbreitung von Moden wurde durch Simulationen untersucht. Links: Kernmoden, rechts: Claddingmoden. Use of multi-core fibre for sensing. The propagation of modes has been investigated by using simulations. Left: core modes, right: cladding modes.



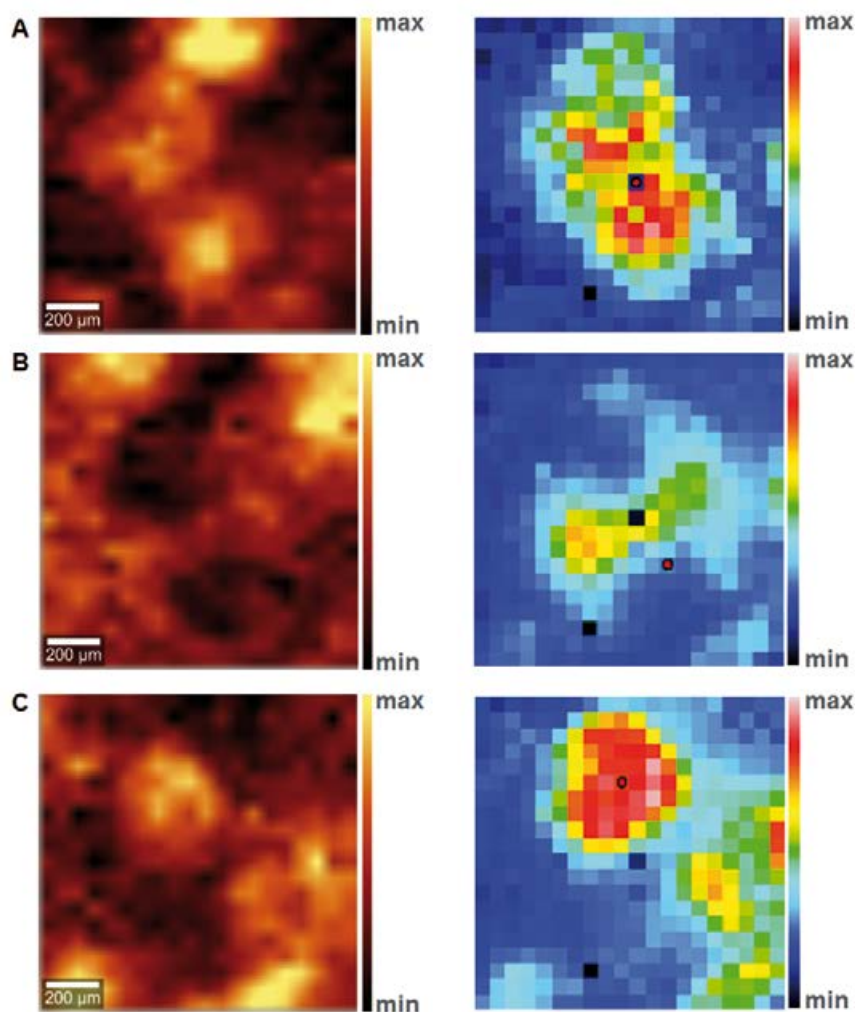


Fig. 5: Falschfarben-Ramanbilder zur Darstellung der Wirkstoffverteilung in einer Schmerztablette: (A) Koffein, (B) Paracetamol, (C) Acetylsalicylsäure. Spalte links: punktweise Abtastung der Probe mit einem kommerziellen Ramanmikroskop, Spalte rechts: Erfassung der gesamten Aufnahme in einem Belichtungsvorgang mittels Vielkanalspektroskopie. False color Raman images for the visualization of the drug distribution in a painkiller: (A) caffeine, (B) paracetamol, (C) acetylsalicylic acid. Left column: point-by-point measurement of a commercial Raman microscope. Right column: Recording of the entire image within one single exposure using multi-channel spectroscopy. (Credits: Schmäzlin et al. *Laser + Photonics*, 62-65, 2015)

that can be used to even calibrate spectrographs with low to moderate spectral resolution ($500 \leq R \leq 50,000$). The frequency comb was generated through 4-wave-mixing in a non-linear fibre using two lasers with different frequencies. First of all, the occurrence and propagation of Solitons within the non-linear fibres was modelled in order to simulate the frequency comb generation, and to investigate basic properties like comb line width, line spacing, noise, and coherence. The concept was validated through a lab experiment in the wavelength range 1,300–1,800 nm. By means of frequency doubling it was possible to shift the working spectral range to the optical, and to test the comb with an optical spectrograph in the lab. This lab test was supplemented by a successful on-sky test using the PMAS-Instrument at the 3.5 m-Zeiss-Telescope at Calar Alto Observatory in southern Spain.

Projects for Transfer of Knowledge and Technology

One of the goals of innoFSPEC research consisted in the exploitation of photonic concepts that emerge from basic research on fibre-based sensors for e.g. chemistry, life science, medicine, geo

sciences, environmental monitoring, etc. For example, special multi-core fibres yielded from a collaboration with the University of Bath, were used to generate a new technology for bend sensors on the basis of long-period fibre-bragg-gratings. Such a sensor was realized and tested as a 121-core fibre in collaboration with Aston University. It was demonstrated to be extremely sensitive, and also to provide complete 3-dimensional information about the bend status. The bend sensor finds interesting diagnostic applications in medicine, sports and rehabilitation. Another successful case for knowledge and technology transfer was derived from the concept of imaging fibre bundles, originally developed for astronomy (VIRUS instrument). Analogous to integral field spectroscopy at the telescope, imaging spectroscopy was introduced as an optical diagnostic for medicine. Within the BMBF-funded project "Multiplex Raman Spectroscopy – from Astrophysics to Medicine" a lab demonstrator was developed on the basis of a MUSE spectrograph module in order to validate the method in collaboration with the Charité Clinic as a new optical, minimal invasive diagnostic for skin cancer.

Ausgewählte Publikationen

Selected publications

M. Zajnulina, J.M. Chavez Boggio, M. Böhm, A.A. Rieznik, T. Fremberg, R. Haynes, M.M. Roth, **Generation of optical frequency combs via four-wave mixing processes for low- and medium-resolution astronomy**, Applied Physics B: Lasers and Optics, 120, 171 (2015).

J.M. Chavez Boggio, D. Bodenmüller, T. Fremberg, R. Haynes, M.M. Roth, R. Eisermann, M. Lisker, L. Zimmermann, M. Böhm, **Dispersion engineered silicon nitride waveguides by geometrical and refractive-index optimization**, J. Opt. Soc. Am. B, 31(11), 2846-2857 (2014).

P. Saffari, T. Allsop, A. Adebayo, D. Webb, R. Haynes, M.M. Roth, **Long period grating in multicore optical fiber: an ultra-sensitive vector bending sensor for low curvatures**, Opt. Lett., 39(12), 3508-3511 (2014).

E. Schmälzlin, B. Moralejo, M. Rutowska, A. Monreal-Ibero, C. Sandin, N. Tarcea, J. Popp, M.M. Roth, **Raman Imaging with a Fiber-Coupled Multichannel Spectrograph**, Sensors, 14(11), 21968-21980 (2014).

B. Arar, H. Wenzel, R. Güther, O. Brox, A. Maaßdorf, A. Wicht, G. Erbert, M. Weyers, G. Tränkle, H.N.J. Fernando, A. Peters, **Double-heterostructure ridge-waveguide GaAs/AlGaAs phase modulator for 780 nm lasers**, Appl. Phys. B, 116(1), 175-181 (2014).

H.N.J. Fernando, A. Stoll, N. Cvetojevic, R. Eisermann, N. Tharanga, C. Holmes, M. Böhm, M.M. Roth, R. Haynes, L. Zimmermann, **Interferometers and spectrographs on silicon-platform for astrophysics: trends of astrophotonics**, Proc. SPIE, 9151, 915148-915148-9 (2014).

J.M. Chavez Boggio, T. Fremberg, B. Moralejo, M. Rutowska, E. Hernandez, M. Zajnulina, A. Kelz, D. Bodenmüller, C. Sandin, M. Wysmolek, H. Sayinc, J. Neumann, R. Haynes, M.M. Roth, **Astronomical optical frequency comb generation and test in a fiber-fed MUSE spectrograph**, Proc. SPIE, 9151, 915120-915120-7 (2014).

C.J. Evans, M. Puech, B. Barbuy, ..., M.M. Roth, ... und 54 Mitautoren, **Science Case and Requirements for the MOSAIC Concept for a Multi-Object Spectrograph for the European Extremely Large Telescope**, Proc. SPIE, 9147, 914796-914796-17 (2014).

C. Sandin, **The influence of diffuse scattered light. I. The PSF and its role in observations of the edge-on galaxy NGC 5907**, Astron. Astrophys., 567, 97-112 (2014).



innoFSPEC Team des AIP und der Universität Potsdam

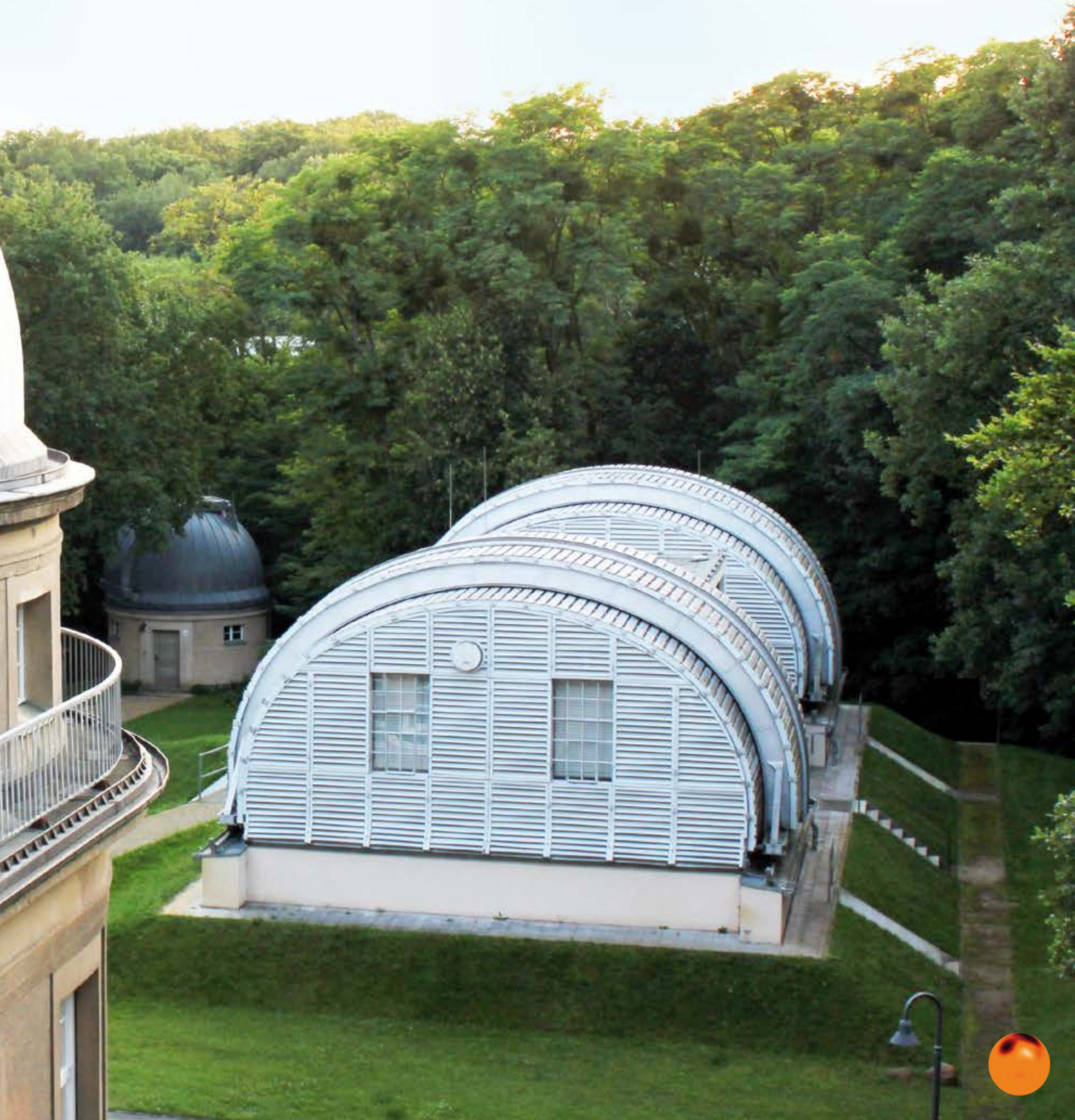
innoFSPEC team of AIP and the University of Potsdam





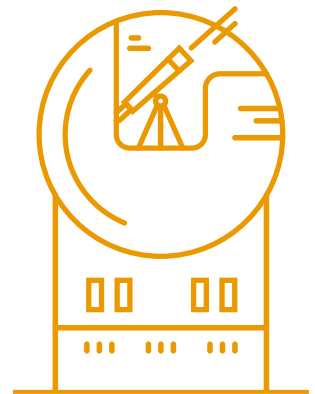
Das AIP im Überblick

The AIP at a glance



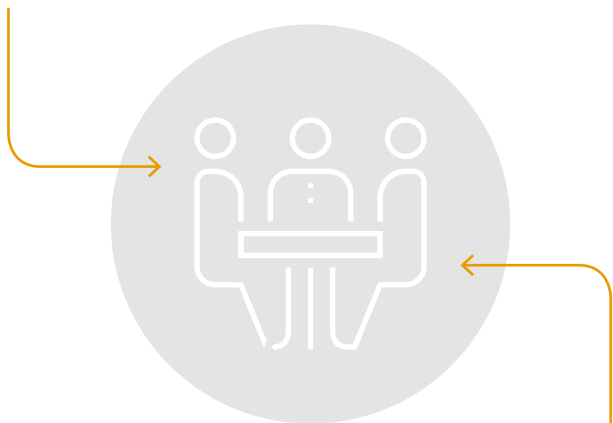
Das Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) im Überblick

The Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP) at a glance



Aufsichtsgremien
Supervisory bodies

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT SCIENCE ADVISORY BOARD



KURATORIUM BOARD OF TRUSTEES

Gesamtbudget
Total budget

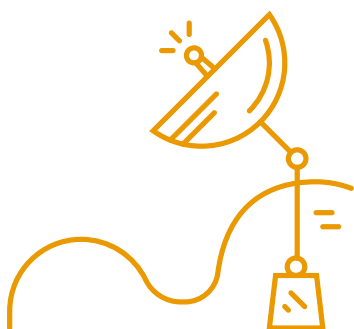
17,13 MIO. EURO

Drittmittelinwerbungen
Third-party funding

5,16
MIO. EURO



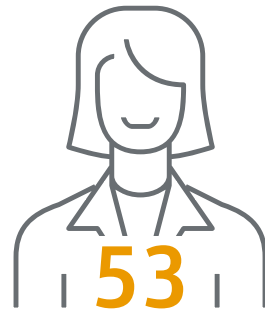
Besucher öffentlicher Veranstaltungen
Guests at public events



5000

Gesamtpersonal
Employees

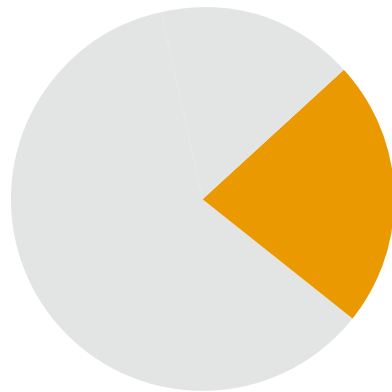
190



WissenschaftlerInnen
Researcher

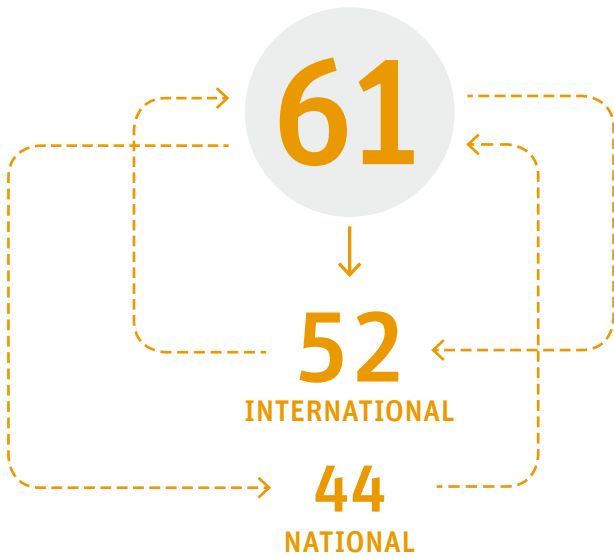


128



70
International
International

Kooperationsprojekte
Collaborative projects



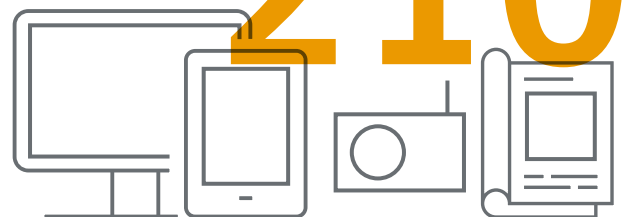
Publikationen
Publications

268



Medienberichte
Media reports

210



88

Gastwissenschaftler
Guest researchers

6

Stipendiaten
Fellows





Campus Babelsberg

Campus Babelsberg

Das Gelände unweit des Babelsberger Schlosses im Parkensemble Babelsberg, das heute Standort des Forschungscampus des Leibniz-Instituts für Astrophysik Potsdam ist, wurde vor mehr als einhundert Jahren von Kaiser Wilhelm II. für die astronomische Forschung zur Verfügung gestellt.

Der vorherige Standort in der Berliner Lindenstraße war nicht länger für Forschungszwecke geeignet, da die voranschreitende Urbanisierung mit einem immer dichter werdenden Stadtverkehr und der Verbreitung des elektrischen Lichts astronomische Beobachtungen massiv beeinträchtigte. Im August 1913 konnte die Sternwarte Babelsberg, ein den höchsten Ansprüchen seiner Zeit genügendes Forschungsinstitut, schließlich bezogen werden.

In der großen Kuppel des Sternwartegebäudes befindet sich mit dem Babelsberger Refraktor bis heute ein historisches Linsenteleskop der Firma Zeiss. Die beiden Seitenkuppeln beherbergen jeweils ein 50 cm- und ein 70 cm-Spiegelteleskop. Neben der Sternwarte stehen die ehemaligen Meridianhäuser, in denen heute Datenströme robotischer Teleskope zusammenlaufen. Im Untergeschoss des Gebäudes gibt es die Möglichkeit, 3D-Simulationen zu visualisieren.

Das 1922 errichtete Kuppelgebäude beherbergte bis 1945 ein 122 cm-Spiegelteleskop, welches nach seiner Montierung das größte Teleskop Nordeuropas und das zweitgrößte der Welt war. Seit 2002 wird das Gebäude als Bibliothek genutzt. In dem im Jahr 2000 eingeweihten Schwarzschildhaus befindet sich neben Arbeitsplätzen, Laboren und Werkstätten auch eine Integrationshalle. Eine zweite liegt in dem 2010 bezogenen Leibnizhaus, das zahlreichen Beschäftigten sowie dem Vorstand des AIP als Arbeitsplatz dient. Weitere Gebäude auf dem Gelände sind die ehemalige Direktorenvilla, die ebenfalls Büroräume beherbergt, sowie das Persiushaus, welches mittlerweile als Cafeteria genutzt wird. Heute zählt das gesamte historische Ensemble des AIP-Campus zum UNESCO-Welterbe „Schlösser und Parks von Potsdam und Berlin“.

The AIP research campus is situated on the edge of Babelsberg Park, a site donated to astronomers by Kaiser Wilhelm II more than one hundred years ago for the purpose of building a new observatory.

The previous location at Lindenstraße in Berlin was no longer viable, as the increasingly dense city traffic and electric lights resulting from progressive urbanisation interfered massively with astronomical observations. The Babelsberg Observatory, one of the most highly advanced research institutes of its time, was finally put into operation in August 1913.

A historical lens telescope from the company Zeiss occupies the great dome of the observatory building. The 50 cm and 70 cm reflector telescopes can be found in the two side domes. Next to the observatory are the former Meridian houses, which today serve to collect data streams of robotic telescopes. The basement of the building provides the ability to project 3D simulations. The dome of the mirror building built in 1922 housed a 122 cm reflector telescope until 1945, which was the largest telescope in Europe and one of the largest in the world. The historical building was converted into a library in 2002.

The Schwarzschildhaus, inaugurated in 2000, serves as a technology development building, hosting laboratories and workshops as well as workplaces. First opened in 2010, the Leibnizhaus accommodates employees and the executive board of AIP. Further buildings on the campus are the former director's villa, now housing offices, and the Persiushaus, which is today used as a cafeteria. The entire historical ensemble of the AIP campus is a part of the World Heritage property "Palaces and Parks of Potsdam and Berlin".

Administration

Administration

Zur Administration des Leibniz-Instituts für Astrophysik Potsdam zählen die drei Abteilungen Personal und Recht, Finanzen und Zentrale Dienste. Der Bereich wird durch den administrativen Vorstand geleitet. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Verwaltung führen kaufmännische und verwaltende Dienstleistungen für den Grundbetrieb des Instituts durch.

Zu den Kernaufgaben der Administration zählen:

- Finanzmanagement des Instituts
- Personalmanagement und Sozialwesen
- Erledigung von Rechtsangelegenheiten und Vertragsmanagement
- Beschaffungswesen
- Drittmittel- und Zuwendungsmanagement
- Verwaltung der Johann-Wempe-Stiftung als Treuhandstiftung
- Reisekostenmanagement
- Baumanagement, Infrastrukturbetrieb und Haustechnik
- Versorgungs- und Entsorgungsmanagement
- Erledigung von Revisionsangelegenheiten



Team Administration: Last row left to first row right: Matthias Winker (Administrativer Vorstand, Administrative Chairman), Gernot Rosenkranz, Torsten Krüger, Petra Knoblauch, Stefanie Bruère, Linda Henkel, Herbert Klein, Doreen Hohensee, Dagmar Gabriel, Tanja Meyfarth, Maike Lisinski, Rainer Franke, Dennis Nagel, Markus Randig, Annegret Bochan, Manuela Kuhl, Robert Hermsdorf, Christine Haase



- Beteiligungsmanagement
- Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz
- Bearbeitung von betrieblichen Grundsatzangelegenheiten

Der Hauptstandort des AIP und somit Sitz der Administration ist Potsdam-Babelsberg. Diese trägt die administrative Verantwortung für das Antennenfeld in Bormim, den Einsteinturm und den Großen Refraktor auf dem Telegrafenberg und unterstützt das Engagement des AIP beim Aufbau des LBT-Teleskopes in Tucson Arizona (US) und den Betrieb der Stella Teleskope auf Teneriffa. Hinzu kommen Anforderungen aus dem Weltkulturerbestatus des Parks Babelsberg sowie der Erhaltung der denkmalgeschützten Forschungsinfrastruktur des AIP gemeinsam mit der Forschungstechnik.

The administration at the Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam comprises the sections Human Resources and Legal, Finance, and Central Services. AIP's administration is led by the administrative chair of the Executive Board. The administrative staff provides administrative services required for the basic operations of the institute.

The core tasks are:

- the financial management of the institute
- Human resources and social affairs management
- Legal matters and contract management
- Commercial procurement
- Management of third-party funds and grants
- Management of the foundation "Johann-Wempe-Stiftung"
- Travel expenses management
- Construction management, infrastructure management and building services
- Logistics and waste management
- Auditing matters
- Corporate investment management
- Occupational health and safety and environmental protection
- Processing of basic matters of operation.

The headquarters of AIP is the research campus in Babelsberg, Potsdam, where the administration is also housed. In addition, the administration supports the operations of the antenna field in Bormim, the Einstein Tower and the Great Refractor on Telegrafenberg, the construction of the LBT telescope in Tucson, Arizona (U.S.) and the operation of the STELLA telescopes on Tenerife. Technological requirements along with requirements implied by the World Cultural Heritage Status of the Babelsberg campus are met in a joint effort of the administration and research technology team.

Forschungstechnik

Technical Section

Die Abteilung Forschungstechnik unterstützt auf technischer Ebene und mit der notwendigen Infrastruktur die Entwicklung, den Bau, den Betrieb und die Wartung moderner astronomischer Instrumentierungen und Teleskope. Darüber hinaus obliegt der Abteilung



Team Technical Section: Roger Haynes, Thomas Hahn, Sergei Pankratow, Wilbert Bittner, Reik Mattner, Volker Plank, Svend-Marian Bauer, Thomas Fechner, Jens Paschke, Dietrich Feuerstein, Frank Dionies, Daniel Döscher

auch die Pflege des wissenschaftshistorischen Erbes des AIP an Instrumenten und Teleskopen. Die Kernaktivitäten der Abteilung konzentrieren sich auf optische Spektroskopie, robotische Teleskope und weltraumbasierte Projekte, welche im Hause oder innerhalb europäischer und internationaler Konsortien entwickelt werden. Instrumente und Teleskope des AIP sind zurzeit unter anderem am Large Binocular Telescope Observatory in Arizona, am Observatorio del Teide und am Calar Alto in Spanien und an den Standorten der Europäischen Südsternwarte in Chile verortet.

Die Forschungstechnik des AIP unterstützt alle Projektphasen: vom Projektstart über Design, Prototypenentwicklung, Fertigung und Integration bis hin zur Auslieferung und Abnahme von Instrumentierungen und Teleskopen. Auch Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen während der folgenden Betriebszeit werden unterstützt. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Forschungstechnik verfügen über Ingenieurskompetenzen in Präzisionsmechanik, Optik, Elektronik, Mechatronik, Regelsystemtechnik, Detektorsystemen, Systemfertigung, Integration und Prüfung, Projektmanagement und Qualitätssicherung. Auch wird ein Ausbildungsprogramm in der Feinmechanik angeboten. Die feinmechanische Werkstatt ist mit hochmodernen Dreh- und Fräsmaschinen ausgestattet und wird zurzeit mit zusätzlicher Fertigungskapazität ausgerüstet. Darüber hinaus gehören optische Labore, Präzisionsmessvorrichtungen und Elektroniklabore, ein Klasse-IV Reinraum, eine Faraday-Kabine für Detektorsysteme, Integrationshallen mit Kransystemen, ein Teleskop-simulator und zwei Testkammern, welche die Umgebungskonditionen für bodengebundene (inklusive der Antarktis) und weltraumgestützte Teleskope simulieren, zu der grundlegenden Infrastruktur.

In den letzten beiden Jahren engagierte sich die Abteilung u. a. in folgenden Projekten: MUSE, PEPsi und VIRUS für bodengebundene 8 – 10-Meter-Teleskope; die Weltraummissionen eROSITA und Solar Orbiter; 4MOST, ARGOS, BMK10k; Support für die bodenge-bundenen Einrichtungen STELLA, GREGOR, PMAS; Demonstratoren wie PRAXIS und MRS; sowie die Instandhaltungs- und Restaurierungsarbeiten rund um die historischen Einrichtungen des Großen Refraktors und des Einsteinturms auf dem Tele-

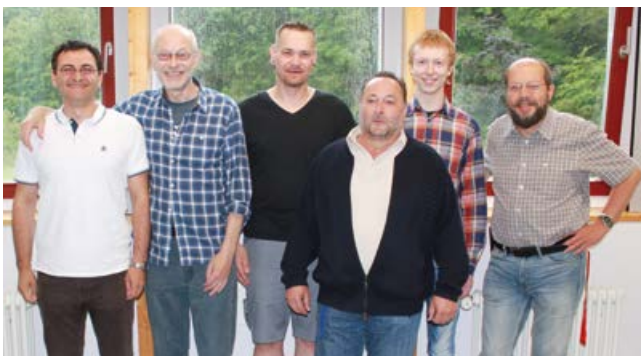
grafenberg und des Babelsberger Refraktors sowie der 70 cm- und 50 cm-Spiegelteleskope. Alle Projekte werden typischerweise in enger Zusammenarbeit mit weiteren AIP-Abteilungen sowie externen nationalen und internationalen Partnern wie der ESO, LBTO, CRAL, McDonald Observatory oder dem AAO durchgeführt.

Im Oktober 2014 hat Roger Haynes, ehemals Leiter der Gruppe Vielkanalspektroskopie die Nachfolge von Emil Popow als Leiter der Forschungstechnik übernommen. Ebenfalls 2015 schloss Steffen Rodgegast seine Ausbildung am AIP ab; zur Abteilung hinzu kamen Greg Smith als Maschinenbauingenieur und Nicolas Azais als Optik Ingenieur.

In den nächsten Jahren plant das AIP, die Forschungstechnik weiter auszubauen, um die deutlich gestiegenen Projektaktivitäten in der Instrumentierung abzudecken. Dieser signifikante Aufwuchs der Aktivitäten betrifft sowohl AIP-eigene Projekte und Einrichtungen (bspw. PEPSI, PMAS, STELLA, BMK10k) wie auch das Engagement in Instrumentierungsprojekten, die in internationalen Konsortien entwickelt werden (z. B. MUSE, 4MOST, LOFAR, Solar Orbiter/STIX, ELT-MOS, ELT-HIRES) und Beteiligungen an Großobservatorien (LBTO, ESO, ESA).

The Technical Section provides technical and infrastructure support for the development, construction, operation and maintenance of state-of-the-art astronomical instrumentation and telescopes. Additionally it supports the historically significant instrumentation and telescope infrastructure at AIP. The portfolio focuses on optical spectroscopic instruments, robotic telescopes and space based projects which are developed in-house or within European and international consortia. A majority of the AIP instruments and telescopes are currently deployed at the Large Binocular Telescope Observatory in Arizona, the Observatorio del Teide and Calar Alto in Spain and at the sites of the European Southern Observatory in Chile.

The section supports all development phases of the instrumentation and telescope projects, from start-up through design, prototype development, manufacture, assembly and integration to final



Team IT-Service: Arman Khalatyan, Karl-Heinz Boening, Ronny Nickel, Michael Fiebiger, Christian Schmiel, André Saar

delivery. In addition, it supports the post delivery maintenance during their operational lifetime and technology transfer activities. The section has engineering capabilities in: precision mechanics, optics, electronics, mechatronics, control systems hardware and software, detectors systems, systems engineer, system manufacture, assembly integration and testing, project management and product assurance, and has a fine mechanics apprenticeship programme. The fine mechanical workshop has an ultra-modern lathe, milling machine facilities and is currently developing an additive manufacturing capability. Additionally the section is equipped with optics, precision measurement and electronics laboratories, a class IV clean room, a Faraday cabin for detector systems, integration halls with cranes, a telescope simulator and two environmental test chambers simulating the conditions found at ground based telescopes (including Antarctica) and in space.

Project engagement in the past two years has included: MUSE, PEPSI and VIRUS for 8-10 metre class ground based telescopes; the eROSITA and Solar Orbiter space missions; ESO 4MOST, ARGOS, BMK10k, support of STELLA, GREGOR, PMAS ground based facilities, and technology demonstrators such as PRAXIS and MRS, as well as the maintenance and refurbishment of the historic facilities such as the Telegrafenberg Great Refractor, Einstein Tower and the Babelsberg Refractor, 70 cm and 50 cm telescopes. The projects are typically undertaken in close collaboration with other AIP departments, external national and international partners such as: ESO, LBTO, CRAL, McDonald Observatory in Texas and the AAO.

In October 2014, Roger Haynes (formerly head of the Multichannel Spectroscopy group) took over the leadership of the Technical Section, following Emil Popow. In 2015 Steffen Rodgegast moved on after completing his workshop apprenticeship. 2015 also saw the arrival of Greg Smith (Mechanical Engineer) and Nicolas Azais (Optical Engineer).

In the next few years AIP seeks to further expand the Technical Section to support the greatly expanded instrument project activities conducted at AIP, including significant increase of both in-house P.I. projects and facilities (e.g. PEPSI, PMAS, STELLA, BMK10k) and engagement in instruments being developed by international consortia (e.g. MUSE, 4MOST, LOFAR, Solar Orbiter/STIX, ELT-MOS, ELT-HIRES) and for large observatories (e.g. LBTO, ESO, ESA).

IT-Service

IT Service

Die Abteilung IT-Service stellt mit acht Mitarbeitern die Betreuung und den uneingeschränkten Betrieb für rund 200 Workstations am Forschungscampus Babelsberg sicher. Ein zentrales Backup-System für Workstations und Laptops sichert die Daten auf nächtlicher Basis. Software-Services, die von der IT angeboten werden, umfassen ein Web-Content-Management-System, ein Dokumenten-Management-System, ein Ticket-System für den Support, Videokonferenz-Systeme, Terminalserver und Netzwerkdrucker.



Das Institut hat eine redundante Hochgeschwindigkeits-Verbindung zum Internet sowie spezielle Leitungen zum Zuse-Zentrum und FZ Jülich (für die LOFAR-Station). Alle Arbeitsplätze sind mit High-End-PCs und IP-Telefonen sowie zusätzlichen Anschlüssen für Gäste ausgestattet und mittels Ethernet verbunden. Sämtliche Gebäude sowie ein großer Teil des Campus werden mit WLAN einschließlich eduroam versorgt.

Zusätzlich bietet der Data-Access-Service (DAS) einen Cloud-Service für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Dieser speichert alle Daten innerhalb der AIP-Infrastruktur, wodurch die Privatheit der Daten sichergestellt wird. Darüber hinaus werden Infrastruktur-Services (E-Mail, DNS, VPN, WWW, Virus- und Malware-Filter, Lizenz-Server, Firewalls) und Wartung angeboten. Zudem stellt die Abteilung einen Platz für die Berufsausbildung als FachinformatikerIn für Systemintegration zur Verfügung.

The eight employees comprising the IT department ensure unrestricted operation of about 200 workstations at the Babelsberg research campus. A central backup system for user workstations and laptops secures data on a nightly basis. Software services offered by IT encompass a web content management system, a document management system, a ticketing system for support, videoconference systems, terminal servers, and network printers. AIP has a redundant high-bandwidth connection to the Internet with dedicated lines to the Zuse Centre in Berlin and FZ Jülich (for the LOFAR station). All workspaces are equipped with high-end PCs connected via Ethernet, IP phones, and additional sockets for guests. All buildings and a large fraction of the campus are served by WLAN including eduroam.

Additionally, the Data Access Service (DAS) provides a cloud service for the AIP staff. All data is hosted inside the AIP infrastructure, thus considerably enhancing data privacy. In addition to these tasks the IT department provides infrastructure services (E-Mail, DNS, VPN, WWW, Virus- and Malware Filters, License Servers, Firewalling) and maintenance as well as apprenticeship for a systems integration IT specialist.



*Ehemaliges Gebäude des Spiegelteleskops, jetzt Bibliothek.
The library building formerly hosted a reflector telescope.*

Wissenschaftliche Bibliothek und Dokumentationszentrum

Scientific Library and Documentation Centre

Die wissenschaftliche Bibliothek des Leibniz-Instituts für Astrophysik Potsdam ist eine zentrale Serviceeinrichtung für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts. Ziel ist die effiziente und bedarfsgerechte Deckung des Informationsbedarfs der Forschung. Zusätzlich werden die Angebote auch durch externe Nutzerinnen und Nutzer, beispielsweise von Studierenden der Universität Potsdam, genutzt.

Der Bestand der Bibliothek ist grundlegend auf den Bereich Astrophysik sowie Physik und Mathematik im Allgemeinen ausgerichtet. Umfangreiche Serviceangebote erleichtern und ergänzen den Zugriff auf zahlreiche gedruckte und elektronische Informationsressourcen:

- tagesaktueller Online-Katalog (AIP-OPAC) mit persönlichen Nutzerkonten
- umfassender, aktueller Nachweis der gedruckten und elektronischen Zeitschriftenbestände über den AIP-OPAC, die Elektronische Zeitschriftenbibliothek (EZB) und die Zeitschriftendatenbank (ZDB)
- lizenzierte Zugänge zu über 7.000 Onlinezeitschriften
- schnelle Beschaffung angeforderter Literatur wie Bücher und Zeitschriftenartikel
- fachkundige Beratung zu Themen wie Publizieren oder Open Access
- historische Recherchearbeiten

Um den sich rasch verändernden Anforderungen an die Bibliotheks- und Informationslandschaft in Wissenschaft und Forschung im digitalen Zeitalter gewachsen zu sein und zeitgemäße und innovative Serviceangebote zu erbringen, haben die intensive Kooperation mit kompetenten Partnern sowie Weiterbildungsmaßnahmen für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Bibliothek einen hohen Stellenwert. Die Bibliothek ist Mitglied im „Arbeitskreis Bibliotheken und Informationseinrichtungen der Leibniz-Gemeinschaft“, dem Netzwerk „Library and Information Services in Astronomy (LISA)“ und nimmt an zahlreichen Zeitschriftenkonsortien der Leibniz-Gemeinschaft teil.

Zum Bestand der Bibliothek gehören:

- mehr als 90.000 gedruckte Bände (inklusive Karten und Sonderdrucke)
- mehr als 300 Printzeitschriften
- historische Dokumente, unter anderem Bauzeichnungen
- ca. 19.000 Fotoplatten
- eine umfangreiche Fotosammlung
- historische Instrumente, Uhren und Gemälde

Für die Inventarverwaltung der historischen Sammlung des AIP wird eine neue Software eingeführt. Im Rahmen einer Bachelorarbeit konnte eine erste Version einer Datenbank inklusive Benutzeroberfläche erstellt werden. Diese unterstützt bereits die grundlegenden Funktionen wie Datenerstellung und Suchabfragen. Zukünftig sollen Objekte folgender Kategorien erfasst werden:

- Instrumente
- Historische Uhren

- Kunst (Gemälde, Skulpturen)
- Bücher
- Dokumente
- Biografische Informationen

Aufgrund der Anforderungen sowie der Struktur des zu erfassenden Datenbestandes wird die schemafreie und dokumentenorientierte NoSQL-Datenbank „MongoDB“ eingesetzt. Das Projekt dient außerdem als Bewertungsgrundlage für den Einsatz dieser Datenbanktechnologie für weitere, ähnliche Anwendungsfälle.

The scientific library of the Leibniz-Institute for Astrophysics Potsdam is a central service department for the scientists of the institute. Its work aims at efficient, quick and adequate coverage of the research information demand. Additionally the services are used by external users such as students of the University of Potsdam.

The collection of the library is primarily astrophysics-themed, but also covers topics like physics and mathematics in general. Extensive services simplify and complement access to print and online resources:

- daily updated online catalogue (AIP-OPAC) with personal user accounts
- extensive, up-to-date summary of print and electronic journal holdings via AIP-OPAC, the Elektronische Zeitschriftenbibliothek (EZB) and the Zeitschriftendatenbank (ZDB)
- subscription of over 7,000 online journals
- quick acquisition of requested literature, such as books and journal articles
- expert advice on topics like publishing or open access
- historical investigation

To be up to the challenges of the digital age with its rapidly changing demands on library and information services in science and research and to be able to offer suitable and innovative services, intensive cooperation with competent partners as well as further training of the staff members are of great significance. The library is a member of the “Working Group Libraries and Information Facilities of the Leibniz Association”, the network “Library and Information Services in Astronomy (LISA)” and takes part in several journal consortia of the Leibniz Association.

The libraries physical collection consists of:

- more than 90,000 print volumes (including maps and special prints)
- more than 300 print journals
- historical documents, such as construction drawings
- ca. 19,000 photo plates
- a considerable collection of images

For the inventory management of the historical collection of the AIP a new software is being introduced. As part of a bachelor thesis, a first version of a database including a user interface was created. It provides basic operations like creating new data entries and searching within those. Objects of the following categories are supposed to be catalogued:

- instruments
- historic clocks
- art (paintings, sculptures)
- books
- documents
- biographic information

Because of the wide variety of datasets, a non-relational, document-oriented database called MongoDB is used. This project also serves as an evaluation on how to use this technology for further, similar use cases.

Astronomische Nachrichten

Astronomical Notes

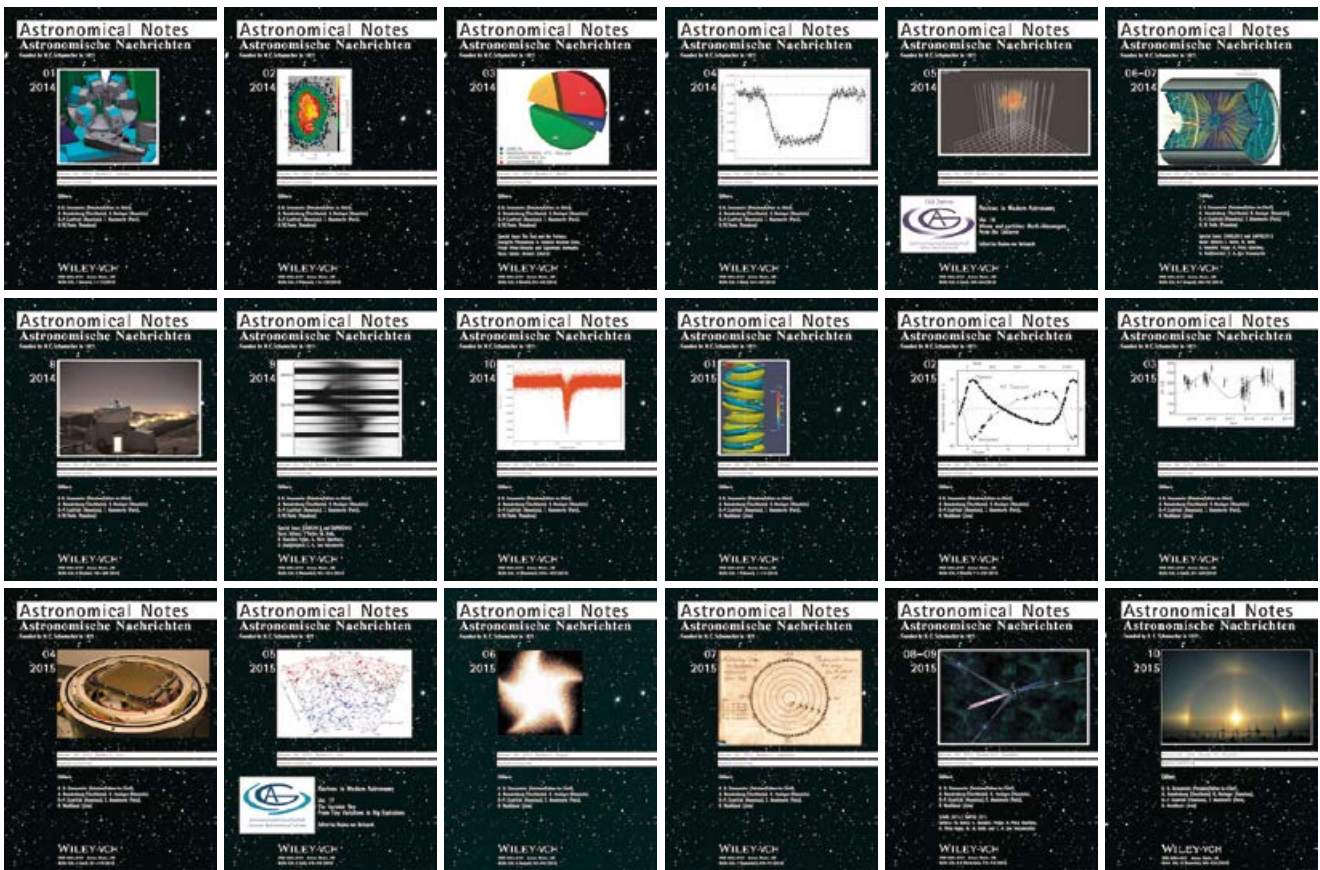
Mit dem ersten Heft 2015 begann das 194. Jahr des Erscheinens der *Astronomischen Nachrichten/Astronomical Notes (AN)*. Gemeinsam mit dem Verleger Wiley VCH Berlin wurden in diesem Jahr 132 referierte Forschungsartikel mit einem Umfang von insgesamt 1.077 Seiten publiziert. Wie jedes Jahr umfassten auch 2014 und 2015 die vorgestellten Forschungsergebnisse eine Vielzahl wissenschaftlicher Themen: von Neutronensternen und Schwarzen Löchern bis hin zu Sonnenphysik und entfernten Galaxien. Drei Spezialausgaben sind 2014 und zwei 2015 erschienen. Eine Ausgabe beinhaltete gesammelte wissenschaftliche Resultate der ESA XMM-Newton Mission (AN 335, Ausgabe 3, editiert von Norbert Schartel), eine andere Ausgabe einen Exkurs in das interdisziplinäre Fachgebiet des 2nd Caribbean Symposium on Cosmology, Gravitation, Nuclear and Astroparticle Physics and the 3rd International Symposium on Strong Electromagnetic Fields and Neutron Stars (AN 335, issue 6-7; edited by Thomas Boller et al.). Auch ausgesuchte Übersichtsartikel wurden verlegt; zum Beispiel der Beitrag von F. Halzen vom IceCube-Konsortium zu „The highest energy neutrinos: first evidence for cosmic origin“ (AN 335, 507-516), sowie die Beiträge der Preisträgerinnen und Preisträger der Herbsttagung der Astronomischen Gesellschaft in Tübingen (AN 335, Ausgabe 5) und in Bamberg (AN 336, Ausgabe 5). Besondere Erwähnung verdient an dieser Stelle der Karl-Schwarzschild-Vortrag und Artikel des ehemaligen AN-Chefredakteurs Prof. Karl-Heinz Rädler zu „Mean-field dynamos: the old concept and some recent developments“.

Wie bereits in den vergangen Ausgaben bleibt das Publizieren in den *Astronomischen Nachrichten* gebührenfrei. Darüber hinaus sind alle Artikel der Januar-Ausgabe frei abrufbar, wie auch alle Artikel mit dem Label „Editor’s Choice“. Letztere werden meist als Titelbild auf der entsprechenden Ausgabe vorgestellt (siehe Abbildung).

AN Team 2014/2015:

Klaus. G. Strassmeier (Editor-in-Chief), Günther Rüdiger (Managing Editor), Matthias Steffen (Scientific Secretary) Detlef Schönberger (Assistant Managing Editor), Andrea Hans (Assistant)





Die Titelbilder aller Ausgaben 2014/2015. The covers for all issues of 2014 – 2015.

Natürlich sind die Astronomischen Nachrichten mit allen wichtigen Netzbibliotheken verlinkt und werden auch in die SAO/NASA ADS Bibliothek eingetragen. Leider muss die Papierversion der Astronomischen Nachrichten ab 2016 aus Kostengründen eingestellt werden. Spezialausgaben werden aber weiterhin auch in der Druckversion erscheinen.

With the first issue of *Astronomische Nachrichten* / *Astronomical Notes* (AN) in 2015, we embarked into our 194th year of appearance. This year's volume of AN hosted 132 peer-reviewed research articles with a total of 1,077 pages covering again a rather large variety of topics from fundamental physics of neutron stars and black holes to our Sun and distant galaxies. Three special issues appeared in 2014, two in 2015. One of them was dedicated to hot science topics from the ESA XMM-Newton satellite (AN 335, issue 3; edited by Norbert Schartel) and another was an excursion into the interdisciplinary topics of the 2nd Caribbean Symposium on Cosmology, Gravitation, Nuclear and Astroparticle Physics and the 3rd International Symposium on Strong Electromagnetic Fields and Neutron Stars (AN 335, issue 6 – 7; edited by Thomas Boller et al.). We continued to feature selected review articles, e.g. on “The highest energy neutrinos: first evidence for cosmic origin” by F. Halzen from the IceCube consortium (AN 335, 507 – 516), and again continued with the award lectures presented during the fall meeting of the German Astronomische Gesellschaft in Tübingen

(AN 335, issue 5) and in Bamberg (AN 336, issue 5). In particular, these included the Karl-Schwarzschild-Award lecture by AN former editor-in-chief Prof. Karl-Heinz Rädler on “Mean-field dynamos: the old concept and some recent developments”.

As in the past, publishing in *Astronomische Nachrichten* / *Astronomical Notes* remains free of charge. Also, all articles of the first issue of each year can be downloaded free of charge, as can all articles labelled “Editor’s Choice”, which often are additionally featured with a colour image on the front cover (see figure). Naturally, AN is linked to all major net-based libraries and can be found in the SAO/NASA ADS library. The appearance of a print version of AN will quit in 2016 but will be continued for the special issues.

Nachrufe

Orbituary

Am 19. Juni 2015 verstarb **Emil Popow**, langjähriger Mitarbeiter, hochgeschätzter Kollege und Leiter der Forschungstechnik am AIP, nach schwerer Krankheit. Emil Popow wirkte mehr als 40 Jahre am AIP und trug nach der Wende maßgeblich zum Aufbau der Forschungstechnik bei. Viele Unternehmungen des AIP, vom Betrieb des historischen Großen Refraktors bis zum Bau des PEPSI-Spektrographen für das Large Binocular Telescope wären ohne seine Beiträge nicht möglich gewesen.

Schon im Alter von 16 Jahren kam Emil Popow für eine zweijährige Facharbeiterausstellung an das damalige Zentralinstitut für Astrophysik Potsdam (ZIAP). Nach einer anschließenden Weiterbildung zum physikalisch-technischen Assistenten kehrte er 1972 in die Astrophysikalisch-Technische Abteilung an das ZIAP zurück und absolvierte zusätzlich ein Physik-Studium an der Humboldt-Universität Berlin, welches er 1977 als Diplom-Physiker abschloss. Bis 1992 arbeitete er am ZIAP an der Entwicklung von Beobachtungs- und Auswertetechnik. Seit der Neugründung des Astrophysikalischen Instituts Potsdam (AIP) im Jahre 1992 wirkte Emil Popow in der Forschungstechnik des AIP, von 2003 bis 2014 als deren Leiter.

Über all diese Jahre war Emil Popow maßgeblich an der Entwicklung von Forschungstechnologien für astronomische Instrumentierungen des AIP beteiligt – dazu gehörten PMAS für das Calar Alto Observatorium in Spanien, PEPSI für das LBT in den USA, die robotischen STELLA-Teleskope und das GREGOR Sonnenteliskop auf Teneriffa. Mit den Instrumentierungsvorhaben des Instituts über alle Forschungsbereiche hinweg war er wie kein anderer vertraut – dabei war ihm seine eigene Leidenschaft für technologische Entwicklungen stets anzumerken. Seine Fachkenntnisse, seine Persönlichkeit und positive Energie haben das AIP und dessen Forschungstechnik über viele Jahre stark mitgeprägt.

Am 3. Juni 2015 ist **Marie-Luise Strohbusch** im Alter von 81 Jahren verstorben. Sie war bereits 1953 unter Walter Grotrian Mitarbeiterin des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam auf dem Telegrafenberg, einem der Vorgängereinstitute des AIP. Für das Institut war sie über vier Jahrzehnte lang tätig und blieb diesem auch nach ihrem Eintritt in den Ruhestand eng verbunden.

Als Mitbegründerin und aktives Vorstandsmitglied im Förderverein Großer Refraktor e. V. war sie seit dessen Gründung bis kurz vor ihrem Tod unermüdlich darin, das AIP und seine Wissenschaftshistorie in der Öffentlichkeit bekannt zu machen. Marie-Luise Strohbusch war eine engagierte und liebenswerte Mitarbeiterin, die im Großen und im Kleinen für den Erhalt dieses technologischen Denkmals wirkte und als die gute Seele vom Telegrafenberg galt. 2004 erhielt Marie-Luise Strohbusch das Bundesverdienstkreuz als Auszeichnung für ihr Engagement für den Großen Refraktor auf dem Telegrafenberg und für ihr Amt als Kirchenälteste der St. Nikolai-Kirchengemeinde Potsdam.

On June 19, 2015 **Emil Popov**, a long-time, esteemed colleague and head of research technology at AIP died after a serious illness. Over a period of more than 40 years, Emil Popow worked at the AIP and from 2003 to 2014 served as the head of the technical section. Many projects of the AIP, from the operation of the Great Refractor to the construction of PEPSI would not have been possible without his significant contributions.

Already at the age of 16 Emil Popow began an apprenticeship at the Zentralinstitut für Astrophysik Potsdam (ZIAP). After qualifying as a technical assistant he worked for the engineering department at ZIAP. In parallel he studied physics at the Humboldt University Berlin and received his Diploma degree in 1977. In 1992 he started

working in the research technology and infrastructure department of AIP and became head of the technical section in 2003. Until 2014 Emil Popow contributed to the development of telescopes and instruments like PMAS at the Calar Alto observatory in Spain, PEPSI at the LBT in the US, the robotic STELLA telescopes and the solar telescope GREGOR on Tenerife.

Like no other he was familiar with the instrumentation projects of the institute with a passion for technological developments. His expertise, his personality and positive energy have greatly influenced the AIP and its research technology for many years.

On June 3, 2015 **Marie-Luise Strohbusch** deceased at the age of 81. In 1953 she started as an assistant of Walter Grotrian at the Astrophysical Observatory on Telegrafenberg Potsdam, one of the predecessor institutes of the AIP. For more than four decades she worked for the institute and remained closely connected after her retirement.

As co-founder and active board member of the Förderverein Großer Refraktor Potsdam e. V. she was tireless in making known the AIP and its science history, ever since its foundation until shortly before her death. Marie-Luise Strohbusch was an amiable colleague who was dedicated to the preservation of this technological monument and was considered the heart and soul of Telegrafenberg.

In 2004 Marie-Luise Strohbusch received the Order of Merit of the Federal Republic of Germany in recognition for her commitment to the Great Refractor and for her service for the St. Nikolai-Kirchengemeinde Potsdam.



*Emil Popov
(1950 – 2015)*



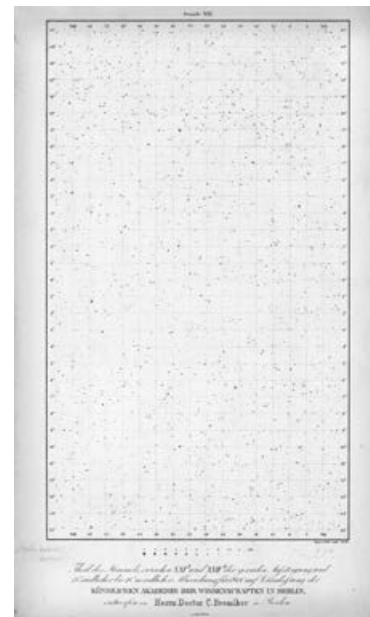
*Marie-Luise Strohbusch
(1934 – 2015)*



Geschichte 1700 – 2015

History 1700 – 2015

- 1700 Einführung des sogenannten „Verbesserten Kalenders“ in den protestantischen Staaten Deutschlands Introduction of the so-called “Improved Calendar” in the Protestant states of Germany
 - 10.05.1700: **Erlass des Kalenderpatents für die neu zu gründende Berliner Sternwarte** Enactment of the calendar patent for the new Berlin Observatory
 - 18.05.1700 Berufung Gottfried Kirchs zum Direktor der Sternwarte Appointment of Gottfried Kirch as director of the observatory
 - 11.07.1700 Gründung der Brandenburgischen Societät Foundation of the Brandenburg Society
- 1711 **Erstes Sternwartengebäude, Berlin Dorotheenstraße** First observatory in Berlin, Dorotheenstraße
- 1832 bis 1835 Neue Berliner Sternwarte, Architekt: Karl Friedrich Schinkel, Berlin Lindenstraße New Berlin Observatory, architect: Karl Friedrich Schinkel, Berlin, Lindenstraße
- 1846 **Entdeckung des Planeten Neptun durch Johann Gottfried Galle** Discovery of the planet Neptune by Johann Gottfried Galle
- 1874 Gründung des Astronomischen Rechen-Instituts Foundation of the “Astronomisches Rechen-Institut”
- 1874 **Gründung des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam (AOP)** Founding of the Astrophysical Observatory Potsdam (AOP)
- 1876 bis 1879 Bau des Hauptgebäudes des Astrophysikalischen Observatoriums auf dem Potsdamer Telegrafenberg Construction of the main building of the AOP on Telegrafenberg in Potsdam
- 1881 **Erster Michelson-Versuch in Potsdam** First Michelson experiment in Potsdam
- 1886 Entdeckung der Kanalstrahlen durch Eugen Goldstein Discovery of canal rays by Eugen Goldstein
- 1888 Nachweis der Polhöschwankung durch Karl Friedrich Küstner Discovery of the variation of the Earth's pole latitude by Karl Friedrich Küstner
- 1888 Erste fotografische Radialgeschwindigkeitsmessung durch Hermann Carl Vogel First photographic determination of a radial velocity by Hermann Carl Vogel
- 1896 Versuche zum Nachweis der Radiostrahlung der Sonne durch Johannes Wilsing und Julius Scheiner am AOP Experiments at AOP to find radio emission from the Sun by Johannes Wilsing and Julius Scheiner
- 1899 **Fertigstellung des Potsdamer Großen Refraktors** Completion of the Great Refractor at Potsdam



Preise und Fellows

Awards und Fellows

Johann-Wempe-Preis

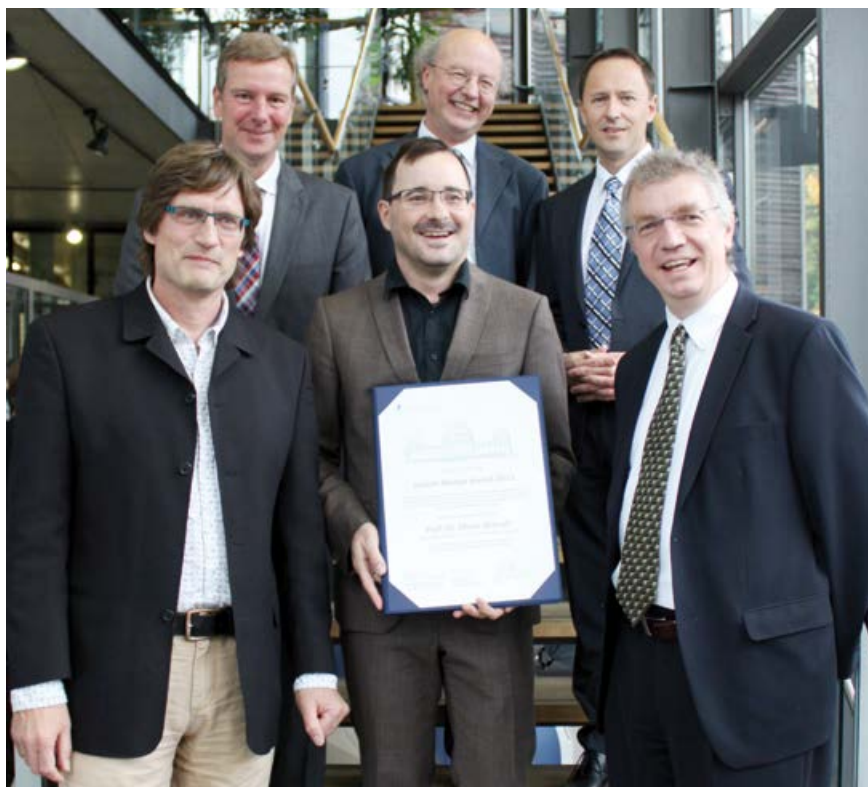
Zu Ehren des letzten Direktors des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam, Prof. Dr. Johann Wempe (1906 - 1980), vergibt das AIP den Johann-Wempe-Preis. Der Preis wird aus Mitteln finanziert, die Johann Wempe hinterlassen hat. Die Auszeichnung richtet sich sowohl an jüngere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die mit bemerkenswerten Leistungen hervorgetreten sind, als auch an ältere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Würdigung ihres Lebenswerkes.

Am 30. Juni 2014 erhielt Prof. R. Brent Tully vom Institute for Astronomy Honolulu, Hawaii den Wempe-Preis 2014 in Anerkennung seiner wegweisenden Forschungen über die Struktur von Galaxien und die großskalige Struktur des Kosmos. Seit vielen Jahrzehnten hat Tully die Analyse und Kartierung von galaktischen Strukturen und Strömen vorangetrieben.

Prof. Dr. Oliver Gressel von der Niels Bohr International Academy in Kopenhagen wurde am 16. Oktober 2015 mit dem Wempe-Preis 2015 ausgezeichnet. Oliver Gressel erhielt sein Diplom in Tübingen und promovierte 2009 am AIP. Nach Postdoc-Stellen in London und Stockholm, ist er derzeit Assistant Professor in Kopenhagen und Inhaber eines ERC Starting Grant. In seiner Forschung beschäftigt er sich mit galaktischen Magnetfeldern und der Analyse von Planetenscheiben, die für die Theorie der Planetenbildung von zentralem Interesse sind.

Karl Schwarzschild Fellowship Programm

Zu Ehren des ehemaligen Direktors des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam (AOP) Karl Schwarzschild (1873 - 1916) hat das Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) das Karl Schwarzschild Fellowship Programm ausgerufen. Das Programm erinnert an die wissenschaftlichen Leistungen Schwarzschilds in



*Johann-Wempe-Preis
Johann Wempe Award*

der Astrophysik, insbesondere in den Bereichen Optik, Sternphysik, Sternaktivität und der Allgemeinen Relativitätstheorie.

Das Karl Schwarzschild Fellowship Programm wird abwechselnd in den Forschungsbereichen Extragalaktische Astrophysik und Sternphysik ausgeschrieben. Die Fellows werden in einem internationalen Wettbewerb ernannt. Von den Kandidatinnen und Kandidaten wird erwartet, dass sie innerhalb der vergangenen fünf Jahre promoviert und die Forschung des AIP mit einem eigenständigen Forschungsprogramm bei gleichzeitiger Betreuung von Studierenden bereichert haben.

Dr. Else Starkenburg hat am 1. September 2014 ihre Tätigkeit am AIP als Schwarzschild-Fellow 2014 aufgenommen. Im Fokus ihrer wissenschaftlichen Arbeiten stehen die Erforschung der Milchstraße sowie die Untersuchung von Satellitengalaxien in deren Umkreis. 2015 hat Else Starkenburg die Leitung der Emmy Noether-Nachwuchsgruppe „Die frühe Milchstraße“ am AIP übernommen.

Im September 2014 hat Dr. Sarah Jane Schmidt von der Ohio State University ihre Forschungsarbeit am AIP begonnen. Sie konzentriert sich auf die Untersuchung der Chromosphären von späten M- und L-Zwergsternen.

Weitere Auszeichnungen und Würdigungen:

Prof. Dr. Gottfried Mann, Dr. Henry Auer und Dr. Alexander Warmuth wurden von der NASA im Mai 2014 mit dem „Group Achievement Award to RHESSI Science and Data Analysis Team“ ausgezeichnet. Die US-Bundesbehörde für Luft- und Raumfahrt ehrte damit ihr langjähriges Engagement im RHESSI-Projekt und die außergewöhnliche Leistung des gesamten Data Analysis Teams.

Prof. Dr. Matthias Steinmetz wurde am 23. September 2014 zum Präsidenten der Astronomischen Gesellschaft gewählt und übernahm damit ab 2015 gleichzeitig auch wieder das Amt des Vorsitzenden des Rats Deutscher Sternwarten (RDS), das er bereits von 2010–2012 innehatte.

Dr. Jenny Sorce erhielt im Oktober 2014 ein zweijähriges Postdoc-Stipendium der Alexander von Humboldt-Stiftung. Sie forscht zusammen im Kosmologie-Team in den internationalen Projekten CosmicFlows und CLUES.

Der im Mai 2015 verliehene Wilhelm-Foerster-Preis der Urania Potsdam ging an Prof. Dr. Matthias Steinmetz in Würdigung seiner entscheidenden Impulse für die Entwicklung der Astronomie in Potsdam in den letzten 15 Jahren. Insbesondere wurde sein Einsatz für die Lehre und Begeisterung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern sowie sein Engagement im Bereich der öffentlichen Vermittlung wissenschaftlicher Inhalte herausgestellt.

Dr. Ivan Minchev erhielt den Ludwig-Biermann-Förderpreis der Astronomischen Gesellschaft (AG) für herausragende Nachwuchsforscher. Die Preisverleihung fand im Rahmen der Herbsttagung der AG im September 2015 in Kiel statt. Die Astronomische Gesellschaft verlieh ihm die Auszeichnung für seine herausragenden Arbeiten zur Dynamik von Galaxiensystemen.



Else Starkenburg



Ivan Minchev



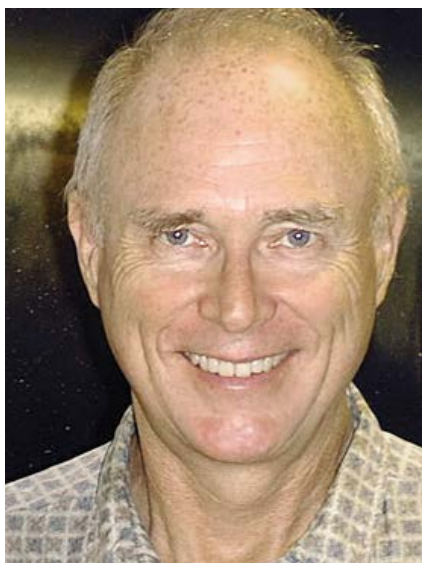
Sarah Jane Schmidt

Im November 2015 ist der Thinkshop „Satellite Galaxies and Dwarfs in the Local Group“ (August 2014) mit dem Potsdamer Kongresspreis ausgezeichnet worden. Die Jury überzeugte der wissenschaftlich hochkarätig besetzte Kongress vom Rahmenprogramm über die Imagewirkung für Potsdam bis hin zur Berücksichtigung von Gleichstellungsaspekten.





Verleihung des Potsdamer Kongresspreises. Potsdam Municipal Award.



Brent Trully

Johann Wempe Award

In honour of Prof. Dr. Johann Wempe (1906 – 1980), the last director of the former Astrophysical Observatory of Potsdam (AOP), the AIP annually grants the Johann Wempe Award, first awarded in 2000, to an outstanding scientist. The recipient may be either a promising young scientist who has already made notable achievements or a senior scientist, in recognition of his or her life's work.

The Wempe Award 2014 went to Prof. R. Brent Tully from the Institute for Astronomy Honolulu, Hawaii, in recognition of his fundamental contributions to the structure of galaxies and to the large-scale structure of the cosmos. Tully's research expertise is closely connected to the CLUES project at AIP. The award ceremony took place on 30 June 2014 at the Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP).

Prof. Dr. Oliver Gressel from the Niels Bohr Institute Copenhagen received the Wempe Award 2015. The award ceremony took place on 16 October 2015. Oliver Gressel received his diploma in Tübingen and did his PhD at AIP in 2009. After postdocs in London and Stockholm he is currently assistant professor in Copenhagen and holder of an ERC starting grant. His research focuses on galactic magnetic fields and on the analysis of the physics of planetary disks that are of key interest to planet formation theory.

Karl Schwarzschild Postdoc Programme

The Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP) has established the Karl Schwarzschild Postdoctoral Fellowship Programme in honour of Karl Schwarzschild (1873-1916) former director of the Astrophysical Observatory Potsdam (AOP), and his significant contributions to the field of astrophysics, particularly in the subfields of optics, stellar physics, stellar dynamics, and general relativity.

The Karl Schwarzschild Fellowship is awarded regularly with an alternating focus on extragalactic and stellar astrophysics. Schwarzschild fellows are identified in a competitive international search. In order to be considered, applicants must have received their PhD within the previous five years. Schwarzschild fellows are expected to carry out an independent research program and contribute to the scientific life of the AIP, including co-supervision of students.

Else Starkenburg (formerly University of Victoria, Canada) started her work at AIP as Karl Schwarzschild Fellow in September 2014. Her research focuses on understanding the first stages of star formation and the history of galaxies like our Milky Way, bringing together information from both observations and modelling techniques. Else Starkenburg is now head of the Emmy Noether junior research group “The early Milky Way” at AIP.

In September 2015 Sarah Jane Schmidt (Ohio State University) was selected and started her work at AIP as Karl Schwarzschild Fellow. Her research focuses on late-M and L-dwarf star chromospheres with particular emphasis on the interaction of cloudy atmospheres and surface magnetic fields in ultracool dwarfs.

Further appraisals and awards:

In May 2014 Prof. Dr. Gottfried Mann, Dr. Henry Aurass and Dr. Alexander Warmuth have received the NASA “Group Achievement Award to RHESSI Science and Data Analysis Team” for their long commitment and contributions to the RHESSI project.

On 23 September 2014 Prof. Dr. Matthias Steinmetz was elected president of the German Astronomical Society. Consequently he is also the Chairman of the Council of German Observatories 2015 – 2017, which he already chaired 2010 – 2012.

In October 2014 Dr. Jenny Sorce received a two year Humboldt Research Fellowship for Postdoctoral Researchers. She will collaborate with the AIP cosmologists at the intersection of the international projects CosmicFlows and CLUES.

The “Wilhelm-Foerster-Preis 2015” was awarded to Prof. Dr. Matthias Steinmetz in recognition of his significant contributions to the field of Astrophysics in Potsdam over the last 15 years. His commitment in teaching young scientists and his enthusiasm to act as an intermediary between science and public were emphasised in the jury’s motivation to honour him.

Dr. Ivan Minchev, postdoctoral fellow at the AIP since 2011, was awarded with the Ludwig Biermann Prize of the German



Oliver Gressel



Jenny Sorce



Matthias Steinmetz

Astronomical Society (AG) in September 2015. This prize is given once per year to an outstanding young scientist working in Germany. The AG honored Minchev for his outstanding research on galactic dynamics.

In November 2015 the AIP Thinkshop “Satellite Galaxies and Dwarfs in the Local Group” (August 2014) received the Potsdam Conference Award for 2015. The jury was impressed by the high-caliber scientific event, and the conference scored high in several criteria, including the scientific and social program and the perceived image of Potsdam.



Arbeiten am AIP

Working at the AIP

Das AIP ist mit seinen Einrichtungen auf dem Forschungscampus Babelsberg in attraktiver Lage in unmittelbarer Nähe zum Park Babelsberg angesiedelt. Das Gelände der ehemaligen Babelsberger Sternwarte von 1913 gehört heute zum UNESCO-Weltkulturerbe. Potsdam und Berlin bieten ein Umfeld zum Wohnen und Leben mit reichem Angebot an Kultur, Großstadtleben und Natur.

Die hohe Internationalität der astronomischen Forschung spiegelt sich nicht nur in den Forschungsprojekten, sondern auch in der Internationalität der wissenschaftlichen Belegschaft vor Ort in Potsdam wider. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus über 30 Nationen arbeiten und forschen in Potsdam-Babelsberg – verbunden mit Kolleginnen und Kollegen in aller Welt. Die Arbeitssprache in den meisten Forschungsabteilungen und -gruppen ist daher Englisch, viele administrative Prozesse und Veranstaltungen werden zweisprachig gestaltet. Regelmäßig am AIP angebotene Deutschkurse für alle interessierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vermitteln grundlegende Sprachkenntnisse und erleichtern den beruflichen und sozialen Start in Deutschland. Für das administrative und technische Personal des Instituts werden zudem auch Englischkurse angeboten.



Luftaufnahme des Babelsberger Campus. View over Babelsberg and the AIP campus.

Das AIP engagiert sich stark im Bereich der Chancengleichheit und der Vereinbarkeit von Beruf und Familie. Im Rahmen der 2013 erworbenen Zertifizierung (Audit berufundfamilie) getroffene Zielvereinbarungen wurden in den Folgejahren fortgeführt und ausgebaut. So gibt es ein mobiles Eltern-Kind-Zimmer, einen Ruheraum für stillende Mütter und das Institut unterstützt eine flexible Kinderbetreuung beispielsweise auch während Tagungen und Konferenzen in Kooperation mit der Potsdamer Einrichtung „Die Kinderwelt“. Die Gleichstellungsbeauftragte des AIP berät bei allen Einstellungsentscheidungen.

Dem AIP ist es ein Anliegen, das Arbeiten in Babelsberg attraktiv zu gestalten und auch die Möglichkeit eines gesundheitlichen Ausgleichs zur überwiegend sitzenden Bürotätigkeit zu bieten. Zu den Angeboten zählen Aktivitäten im Betriebssport und Gesundheitskurse.

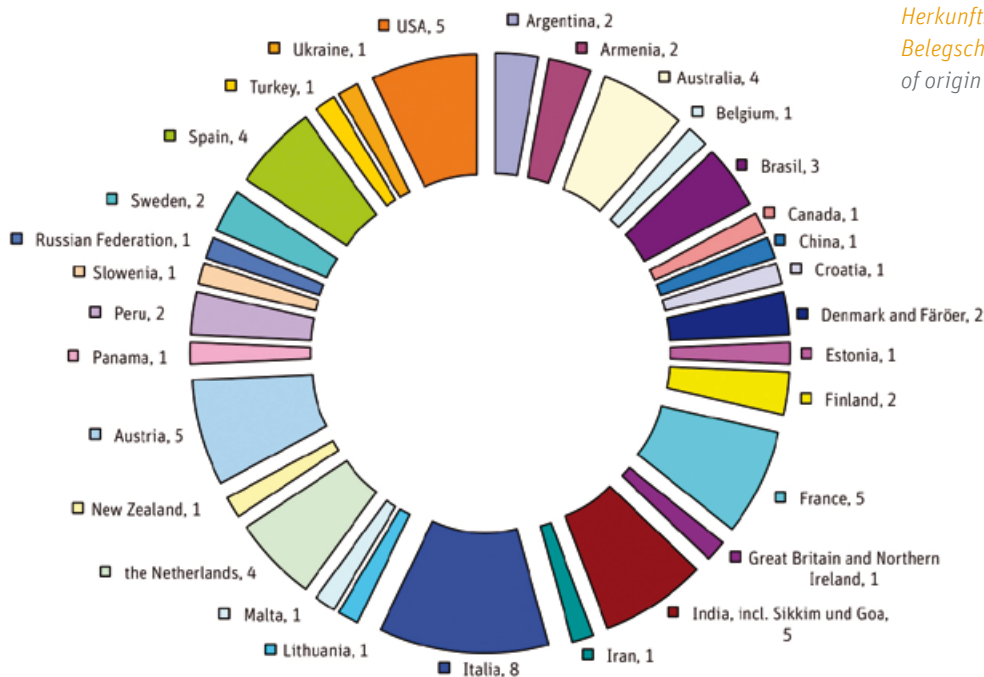
Der aus sieben Personen bestehende AIP-Betriebsrat unterstützt und vermittelt die Anliegen der Belegschaft gegenüber dem Institutsvorstand. Einmal jährlich informiert er auf einer internen Veranstaltung über seine Arbeit.

Ausbildung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des AIP betreuen in Kooperation mit den Universitäten der Region jedes Jahr Studierende und Doktoranden. In den Jahren 2014/15 stellten sieben Doktoranden, 15 Diplomanden und Masterstudierende sowie neun Bachelorstudierende ihre Arbeiten am AIP fertig. Das wissenschaftliche Leben wird zudem durch regelmäßige Tagungen, Thinkshops und Summer Schools bereichert. Im nichtakademischen Bereich bietet das Institut Ausbildungsplätze und Schülerpraktika an.

Doktorandenausbildung

Seit Januar 2012 gibt es mit der Strukturierten Doktorandenausbildung in der Astrophysik einen gemeinsamen und dauerhaften Rahmen zur Betreuung und Ausbildung von Promovierenden in der Astronomie und Astrophysik an der Universität Potsdam, am AIP und am DESY (Standort Zeuthen), um Promovierende optimal für eine Karriere in Forschung und Technik vorzubereiten. Das Programm umfasst neben gemeinsamen Veranstaltungen, speziellen fachlichen Lehrangeboten sowie – in Zusammenarbeit mit der Potsdam Graduate School – Trainingsprogramme in den sogenannten „Soft Skills“. Zentrale Elemente der strukturierten Doktorandenausbildung, wie Betreuungskomitees und jährliche Fortschrittsberichte haben Eingang in die neue Promotionsordnung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam gefunden.



Herkunftsländer der internationalen AIP-Belegschaft (Stand: Dez. 2015). Countries of origin of AIP employees (as of Dec. 2015)

Leibniz-Graduiertenschule

Mit der „Leibniz-Graduiertenschule für Quantitative Spektroskopie in der Astrophysik“ bietet das AIP gemeinsam mit dem Institut für Physik und Astronomie der Universität Potsdam acht jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ein umfassendes Lehr- und Ausbildungsprogramm, in dessen Zentrum die Anwendung von spektroskopischen Methoden auf aktuelle astrophysikalische Forschungsthemen steht. Neben instrumentellen Beobachtungen spielt auch der quantitative Vergleich mit theoretischen Vorhersagen und Modellen eine große Rolle in der Ausbildung der Studierenden. Besondere Merkmale des Ausbildungsangebots sind die Betreuung von Sommerstudenten/Praktikanten durch die Doktoranden und dreimonatige Auslandsaufenthalte an internationalen Forschungsinstituten. Das übergeordnete Ziel der Graduiertenschule ist es, die nächste Generation von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf eine erfolgreiche Karriere in der Forschung oder Industrie vorzubereiten. Im Rahmen eines gemeinsamen Antrags mit dem Institut für Physik und Astronomie der Universität Potsdam an den Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) zur Internationalisierung von Promotionsprogrammen konnten vier weitere Doktoranden auf der Basis von DAAD-Stipendien für die Graduiertenschule gewonnen werden.

Working at the AIP

The AIP facilities on the Babelsberg research campus are located in the direct neighborhood of the Babelsberg Park. The grounds of the former Babelsberg Observatory of 1913 today are part of the UNESCO

World Heritage. The cities of Potsdam and Berlin offer an excellent living environment rich in cultural activities, city life and nature. The highly international character of astronomical research is not only reflected in international research projects but also in the international origin of the scientific staff in Potsdam. Scientists from more than 30 countries work and conduct research in Potsdam-Babelsberg – collaborating with colleagues all over the world. For this reason, English is the working language in most research departments and research groups. AIP offers German classes on a regular basis to support the acquisition of basic language skills that facilitate a smooth start in Germany professionally and socially. In addition English courses are offered to administrative and technical personnel.

The AIP strongly engages in equal opportunity activities and strives for the compatibility of family and career. Target agreements of the 2013 audit (berufundfamilie certification) have been pursued further in the following years, including a mobile parent-child-office, a recreation room for breastfeeding mothers and the support of flexible childcare activities also during meetings and conferences in cooperation with the Potsdam “Kinderwelt” institution. AIP’s equal opportunities officers counsel all recruitment decisions.

The AIP is concerned about an attractive work environment that also allows compensating for office work in terms of health aspects. As AIP staff member you can choose to take part in any company sports activities or sign up for a health programme.





Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Graduiertenschule zu Besuch im Einsteinturm. Participants of the Leibniz Graduate School visiting the Einstein Tower.

The AIP Work Council consists of seven AIP staff members that support and mediate concerns from AIP staff towards the AIP executive board. Once every year the Work Council holds an all-hands meeting to inform about its activity.

In collaboration with universities, scientists at AIP supervise many bachelor, diploma/master, and doctoral students every year. In 2014/15, seven doctoral students, 15 diploma/master students and nine bachelor students completed their projects at AIP. Students engage in conferences, thinkshops and summer schools as a regular part of their academic lives. The Institute also offers apprenticeships and high-school internships in nonacademic sectors.

Doctoral Training

A structured doctoral training programme in Astrophysics was established in January 2012. This programme provides a comprehensive and lasting framework for the supervision and training of doctorate students in Astronomy and Astrophysics at the University of Potsdam, at AIP, and DESY (Zeuthen), optimally preparing students for a career in research and technology. The programme includes joint events for graduate students, special technical courses, as well as soft skills training programmes in cooperation with the Potsdam Graduate School. Major parts of this agreement have been incorporated in the new regulations for doctoral studies at the Faculty of Mathematics and Natural Sciences at the university of Potsdam, for example thesis committees and annual progress meetings.

Leibniz Graduate School

The Leibniz Graduate School for Quantitative Spectroscopy in Astrophysics allows AIP and the University of Potsdam's Institute of Physics and Astronomy to offer eight young scientists a comprehensive and integrative research and training environment,

which particularly emphasises the application of spectroscopic methods within current astrophysical research topics. In addition to the Graduate School's observational approach, the quantitative comparison with theoretical predictions and models is an essential element of the programme. Key components in the programme are supervision of summer students by the doctoral students (2014) and 3 month research stays at international research institutes to enable doctoral students networking and collaborations (2015). The overall goal of the Graduate School is to prepare the next generation of scientists for a successful career in research or industry. A joint proposal to the German Academic Exchange Service (DAAD) in January 2014 for the internationalization of structured PhD programs was granted for further PhD positions.



Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des AIP nehmen regelmäßig am Potsdamer Firmenlauf teil. AIP employees regularly join a public run in Potsdam.

Abgeschlossene Forschungsarbeiten

Completed Research Projects

2014

Bachelorarbeiten Bachelor thesis

Andrea Diercke: Dynamics and Evolution of a giant filament as observed by the Solar Dynamics Observatory – Denker

Lisa Lehmann: Magnetic field measurements of eps Eridani from Zeeman broadening – Strassmeier

Felix Mackebrandt: Planetensuche durch Lichtlaufzeitmessungen im bedeckenden Polar CSS081231 – Schwöpe

Marisa Pfläging: Klassifikation von Galaxien – Wisotzki

Masterarbeiten Master's thesis

Maria Haupt: Stellar [a/Fe] Gradients of Elliptical Galaxies from the CALIFA Survey – Walcher, Wisotzki

Josephine Kerutt: Measurements and Interpretation of Lyman α Equivalent Widths in MUSE Deep Fields – Wisotzki

Daniel Sablowski: High-resolution Spectroscopy using a waveguide Image Slicer – Strassmeier

Diplomarbeiten Diploma thesis

Katjana Ehrlich: Characterization of Photonic Lanterns for Application in Astronomy – Roth, D. Haynes

Justus Neumann: Bulges in CALIFA Galaxies: A Synopsis of Diagnostic and Classification Approaches – Wisotzki

Marco Hellmiß: Deep Strömgren photometry of NGC1647 – Strassmeier, Weingrill

Dissertationen Dissertations

Tilman Piffl: Models of the Galaxy and the massive spectroscopic stellar survey RAVE – Steinmetz, de Jong

Jenny Sorce: From Spitzer mid-infrared observations and measurements of peculiar velocities to constrained simulations of the local universe – Steinmetz, Gottlöber

2015

Bachelorarbeiten Bachelor thesis

Malte Broese: Auswertung und Interpretation von Type-III-Bursts – Mann, Breitling

Marc Ludwig: Periodenbestimmung aus Zeitserien stellarer Photometrie – Granzer, Strassmeier

Lydia Pangsy: Untersuchung der stellaren Population des Magellanschen Systems anhand von Nah-Infrarot Daten des VMC Surveys – Cioni

Marcel Thies: Prototypische No-SQL Datenbankanwendung zur Verwaltung einer historischen Sammlung – von Berlepsch, Däßler (FH Potsdam)

Maria Werhahn: Charakterisierung von H-alpha-selektierten Galaxien im MUSE-Wise Survey – Wisotzki, Urrutia

Masterarbeiten Master's thesis

Irene Bernt: Initial characterisation of an exoplanet atmosphere with small aperture telescopes – Strassmeier

Philipp Busch: Non-spherical dark matter halos – Gottlöber

Ismael Enrique Carrillo Rivas: The power spectrum of the stellar velocities in the solar neighborhood – Steinmetz, Kordopatis

Francis Fortin: Optical variability studies of cataclysmic binaries – Schwöpe

Philipp Kummerow: Vermessung der horizontalen Strömungen in Sonnenflecken – Denker

Lisa Lehmann: Modelling azimuthal magnetic field bands on cool stars using a simple model – Strassmeier, Jardine

Diplomarbeiten Diploma thesis

Daniel Bodenmüller: Dispersion Management of Integrated Silicon Nitride Waveguides in the Near Infrared Region – Roth, Chavez Boggio

Andreas Stoll: Conception of an AGW based High-Resolution Integrated Photonic Spectrograph for Applications in Astronomy – Roth, Fernando

Sabine Thater: Structure and Kinematics of NGC 4414 – Wisotzki, Krajnović

Dissertationen Dissertations

Claudia Conrad: Open cluster groups and complexes – Steinmetz, de Jong, Scholz, Schnurr

Anne Hutter: Unveiling the epoch of reionization by simulations of high-redshift galaxies – Müller

Andreas Künstler: Spot evolution on the red giant star XX Triangulum – Strassmeier, Carroll

Matthias Mallonn: Ground-based transmission spectroscopy of three inflated Hot Jupiter exoplanets – Strassmeier

David Streich: Understanding massive disk galaxy formation through resolved stellar populations – de Jong, Steinmetz





Standorte und Infrastruktur

Sites and Infrastructure

Potsdamer Telegrafenberg

Potsdam Telegrafenberg

Der Große Refraktor

Am 26. August 1899 fand die Einweihung des Großen Refraktors als Hauptteleskop des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam (AOP) in Anwesenheit von Kaiser Wilhelm II. statt. Da mit dem Instrument auch schwächere Sterne beobachtet werden konnten, vergrößerte sich so die Anzahl und Vielfalt der sichtbaren Objekte.

Der Große Refraktor ist ein Doppelrefraktor mit zwei fest miteinander verbundenen parallelen Fernrohren, die auf einer parallaktischen Montierung befestigt sind. Das größere Rohr, bestimmt für den fotografischen Spektralbereich, verfügt über ein Objektiv von 80 Zentimetern Durchmesser und einer Brennweite von 12,2 Metern. Es ist das viertgrößte Linsenteleskop der Welt. Das kleinere Objektiv, für den visuellen Spektralbereich, hat einen Durchmesser von 50 Zentimetern und eine Brennweite von 12,5 Metern. Der bewegliche Teil des Fernrohrs wiegt sieben Tonnen. Der Durchmesser der 200 Tonnen schweren drehbaren Kuppel misst 21 Meter. Das Kuppelgebäude wurde nach einer Vorlage des Architekten Paul Spieker errichtet.

Aufgrund der zunächst wenig zufriedenstellenden Qualität der Objektive ließ Johannes Hartmann den noch heute gebräuchlichen „Hartmann-Test“ entwickeln. Als richtungsweisende Arbeiten zur Astrophysik, die mit dem Großen Refraktor verbunden sind, gelten die Entdeckung der interstellaren Materie durch Johannes Hartmann, ein längerfristiges Beobachtungsprogramm von Doppelsternbahnen zur Massenbestimmung der Gestirne durch Ejnar Hertzsprung und die Untersuchung zur Physik der Novae durch Walter Grotrian.

Nach kriegsbedingten Beschädigungen im Jahr 1945 und einer Modernisierung 1953 wurde der Betrieb des Refraktors 1968 eingestellt. Erst der 1997 gegründete Förderverein Großer Refraktor e. V. nahm sich des Instruments wieder an. Nachdem der Große Refraktor 2006 voll funktionstüchtig wieder eingeweiht werden konnte, steht er mitsamt des Kuppelgebäudes heute unter Denkmalschutz.

Der Einsteinturm

Als erstes Turmteleskop für Sonnenbeobachtungen in Europa wurde der Einsteinturm in den Jahren 1919–1924 mit dem Ziel der Überprüfung von Einsteins Relativitätstheorie gebaut. Mit seinem Entwurf löste sich der Architekt Erich Mendelsohn vom Paradigma der rechtwinkligen Bauweise und fertigte eine geschwungene dynamische Form, die die neuen Modelle des

Universums widerspiegeln sollte. Bis heute gilt der Turm als Musterbeispiel des deutschen Expressionismus.

Der Architekt hielt sich dabei an die Vorgaben des Astronomen Erwin Finlay-Freundlich. Das Beobachtungsprogramm umfasste sowohl Experimente zur Sonnenphysik als auch zur Plasma- und Atomphysik. Der geplante Nachweis der von Einstein vorhergesagten Gravitations-Rotverschiebung im Spektrum des Sonnenlichts erwies sich allerdings als nicht durchführbar.

In der Mitte des Einsteinturms steht auf einem eigenen Fundament ein vertikales Teleskop mit einem Linsenobjektiv von 60 Zentimetern Durchmesser und 14 Metern Brennweite. In der Kuppel befindet sich ein Coelostat, dessen zwei Spiegel das Sonnenlicht in das Teleskop lenken. Im Kellergeschoss wird das Licht durch einen weiteren schwenkbaren Spiegel horizontal in das Labor geleitet. Dessen Kernstück ist der ebenfalls etwa 14 Meter lange Spektrographenraum, der sich bis an das Ende des Erdwalls auf der Südseite des Turmes erstreckt. In diesem temperaturstabilisierten Raum wird das Sonnenlicht in seine spektralen Bestandteile zerlegt und analysiert.

Das Instrumentarium besteht aus dem Turmteleskop und einem Spektrographen. Die optische und mechanische Ausrüstung im Labor erlaubt eine spektrale Auflösung von 1:1 Million sowie hochempfindliche Polarisationsmessungen des Lichts. Schwerpunkt der Beobachtungen sind spektralarimetrische Messungen in Sonnenfleckengruppen. Spektrum und Polarisationsanalyse gestatten Rückschlüsse auf das Magnet- und Geschwindigkeitsfeld an der Oberfläche der Sonne.

Die unmittelbare Verfügbarkeit des Einsteinturms spielt bis heute eine wichtige Rolle für die Vorbereitung und den Test von neuen Experimenten und Geräten sowie für die Ausbildung von Studierenden.

Ab November 1997 wurde der Einsteinturm mit Unterstützung der Wüstenrot-Stiftung grundlegend renoviert, die Wiedereröffnung fand im Juli 1999 mit einem Festakt statt. Im Juni 2015 vergab die Getty Foundation im Rahmen ihrer „Keeping It Modern“-Initiative eine Förderung an den Einsteinturm, mit der eine umfassende Studie zum weiteren Erhalt des Sonnenobservatoriums möglich wird.



The Great Refractor

On 26 August 1899, the Great Refractor was inaugurated in the presence of Kaiser Wilhelm II as the main telescope of the Astrophysical Observatory Potsdam (AOP). The refractor was designed to observe fainter stars and was thereby able to observe a greater number and variety of objects.

The Great Refractor is a double refractor. Two parallel, permanently fixed telescopes are attached on a parallactic mount. The larger telescope, used for the photographic spectral range, features a lens with a diameter of 80 centimeters and a focal length of 12.2 meters. It is the fourth-largest refracting telescope in the world. The smaller telescope, intended for the visible spectral range, has a lens with a diameter of 50 centimeters and a focal length of 12.5 meters. The moving part of the telescope weighs seven tons. The diameter of the 200-ton rotating dome that houses the telescopes is 21 meters. The domed building was built based on a model created by architect Paul Spieker.

The initial unsatisfactory quality of lenses inspired Johannes Hartmann to develop the “Hartmann Test”, which is still used to this day. Pioneering works in the field of Astrophysics associated with the Great Refractor include the discovery of interstellar matter by Johannes Hartmann, a long-term observation programme of binary star orbits for the determination of stellar masses by Ejnar Hertzsprung and a study on the physics of novae by Walter Grotrian.



*Blick vom Einsteinturm in Richtung Großer Refraktor.
The Einstein Tower and Great Refractor on Telegrafenberg.*

After heavy damage in an air raid in 1945 and some modernisations in 1953, research ceased completely in 1968. It wasn't until the Great Refractor Association (Förderverein Großer Refraktor Potsdam e.V.), founded in 1997, again took up care of the instruments. In 2006 the Great Refractor was re-inaugurated and is today protected as an historical monument.

The Einstein Tower

As the first solar tower telescope in Europe, the Einstein Tower was intended to support Einstein's study of relativity, and it continues to function as a research center today. Breaking away from the paradigm of rectangular post and beam architecture, architect Erich Mendelsohn crafted an organic and sinuous form to reflect the new models of the Universe then in development. Up until today the Einstein Tower represents a paragon of German expressionism. The architect adhered to the specifications of astronomer Erwin Finlay-Freundlich. The observation programme was comprised of experiments in solar physics as well as atomic and plasma physics. The planned proof of Einstein's predicted gravitational redshifts of solar spectral lines, however, was not accomplishable.

In the middle of the expressionistic building, a vertical telescope is permanently mounted on a baseplate. The telescope's lens has a 60-centimeter diameter and 14-meter focal distance. Within the dome is a coelostat that uses two mirrors to direct the sunlight in the telescope. The light is guided horizontally into the laboratory via an additional rotatable mirror in the basement. The centrepiece is a 14-meter-long spectrograph room that extends to the end of the bank on the south side of the tower. In this temperature-stabilised room, sunlight is separated into its spectral components and analysed.

The tower telescope and spectrographs used at Einstein Tower comprise a very effective solar research facility to this day. The optical and mechanical apparatuses in the laboratory allow for a spectral resolution of 1:1 million and highly sensitive polarization measurements of light. The main focus of the observations is spectral polarimetric measurements of sun spot groups. Spectrum and polarisation analysis allow conclusions to be made regarding the magnetic field and velocity field on the surface of the sun.

As the “resident instrument” of the AIP, the Einstein Tower plays an important role to this day in the preparation and testing of new experiments and equipment bound for use in large modern solar telescopes. The immediate availability of this equipment is essential for these measurements as well as for the training of students. The AIP continues the tradition of solar research both in and out of Potsdam to this day.

In November 1997 renovation work at the Einstein Tower started thanks to generous support by the Wüstenrot foundation. The re-opening took place in July 1999. In June 2015 the Getty Foundation awarded a grant of its Keeping It Modern initiative to the Einstein Tower enabling new conservation planning and a deeper understanding about the proper treatment of the solar observatory.

Potsdam-Bornim

Potsdam Bornim

LOFAR

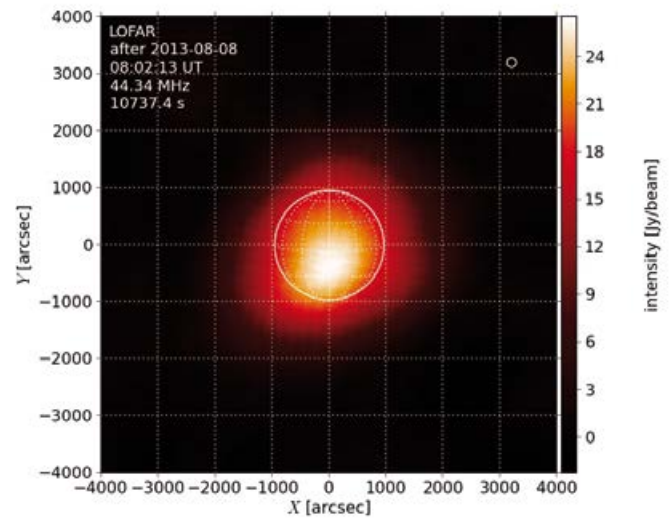
Das AIP betreibt in Potsdam-Bornim eine von zwölf internationalen LOFAR-Stationen und ist damit am „International LOFAR Telescope (ILT)“ beteiligt. LOFAR (LOW Frequency ARray) ist ein neuartiges, abbildendes Radiospektralpolarimeter bei niedrigen Frequenzen von 10–240 MHz und das zurzeit modernste Radioteleskop in diesem Frequenzbereich. Das Instrument wurde ursprünglich von ASTRON in den Niederlanden entwickelt und ist nun ein europäisches Großinstrument. Es besteht aus einem zentralen Kern von 24 Stationen und 14 weiteren in den Niederlanden basierten Einzelstationen sowie zwölf internationalen Stationen, die über Europa verteilt sind. Die Interessen aller in Deutschland an LOFAR beteiligten Institute werden durch das GLOW-Konsortium (German Long Wavelength Consortium) gegenüber dem ILT vertreten.

Mit seiner großen Antennenfläche und den langen Basislinien, wie der West-Ost-Ausdehnung von Chilbolton (in Großbritannien) bis Baldy (in Polen) von 1.520 km, erreicht LOFAR eine bisher einzigartige Empfindlichkeit und hohe räumliche Auflösung im langwelligen Radiobereich von 1,25–10 m. Das Antennenfeld der LOFAR-Station des AIP in Potsdam-Bornim besteht insgesamt aus zwei Feldern mit je 70 m Durchmesser, jeweils für den Bereich von 10 bis 80 MHz und für den Bereich von 120–240 MHz. Die Signale der einzelnen Antennen werden zum Stations-Container geleitet und dort digitalisiert. Diese Daten werden dann mittels einer Datenleitung des Deutschen Forschungsnetzes mit einer Kapazität von 10 Gbit/s über das Forschungszentrum Jülich zu einem Supercomputer in Groningen (Niederlande) übertragen. Dort werden die Daten zu Radiokarten des Himmels korreliert.

Die wissenschaftliche Auswertung der LOFAR-Daten ist in sechs Key Science Projekten organisiert. Eines davon, „Solar Physics and Space Weather with LOFAR“, wird vom AIP koordiniert. An ihm sind 32 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus zehn europäischen Ländern beteiligt. Im Rahmen dieses KSP wird Beobachtungszeit bei LOFAR beantragt, um die Daten in internationalen Kooperationen auszuwerten. Grundlage dafür ist die am AIP in Abstimmung mit ASTRON entwickelte „Solar Imaging Pipeline“. Dank ihrer kann LOFAR als ein dynamisch abbildendes Radiospektrometer für die Sonne genutzt werden.

LOFAR

AIP participates in the International LOFAR Telescope (ILT) with one of the twelve international stations in Potsdam-Bornim. LOFAR (LOW



Radio-Bild der ruhigen Sonne bei 44 MHz aufgenommen mit LOFAR. Radio image of the quiet Sun at 44 MHz recorded by LOFAR.

Frequency ARray) is a novel, imaging radio spectralpolarimeter at low frequencies (10–240 MHz). Presently, it is the most modern radio interferometer in this frequency range. It was originally designed at ASTRON in the Netherlands. But as ILT, it is an European instrument now. It consists of a central core with 24 stations and 14 remote stations both located in the Netherlands as well as twelve international stations distributed all over Europe. GLOW, the German Long Wavelength Consortium, represents all German institutes, which are involved in LOFAR, with respect to the ILT.

With its large antenna area and long baselines, e.g. a West-East extension of 1,520 km from Chilbolton (UK) up to Baldy (Poland), LOFAR yields an unprecedented sensitivity and angular resolution in the long wavelength range 1.25–10 m. On the left, you can see the antenna field for the low frequency range 10–80 MHz as a part of AIP's LOFAR station in Potsdam-Bornim. The station consists of two fields for the 10–80 MHz and 120–240 MHz frequency range with a diameter of 70 m each. The signals of the single antennae are collected in the station cabinet where they are digitised, and frequency bands are formed. Subsequently, the data are transferred by means of a 10 Gbit/s fibre link of the Deutsche Forschungsnetz via the Forschungszentrum Jülich to a super-computer in Groningen (Netherlands) where they are correlated to a radio map.

The scientific analysis of the LOFAR data is organized via six Key Science Projects (KSP). One of these is “Solar Physics and Space Weather with LOFAR” which is coordinated by AIP. 32 scientists from ten European countries participate in this KSP. The members of the KSP apply for observing time with LOFAR. The so-obtained data are commonly analysed in the KSP. The base of these analyses is the “Solar Imaging Pipeline”, which was developed at AIP in collaboration with ASTRON. By employing this pipeline, LOFAR can serve as a dynamic spectroscopic radio imager of the Sun.



Teneriffa

Tenerife

Das Sonnenteleskop Gregor

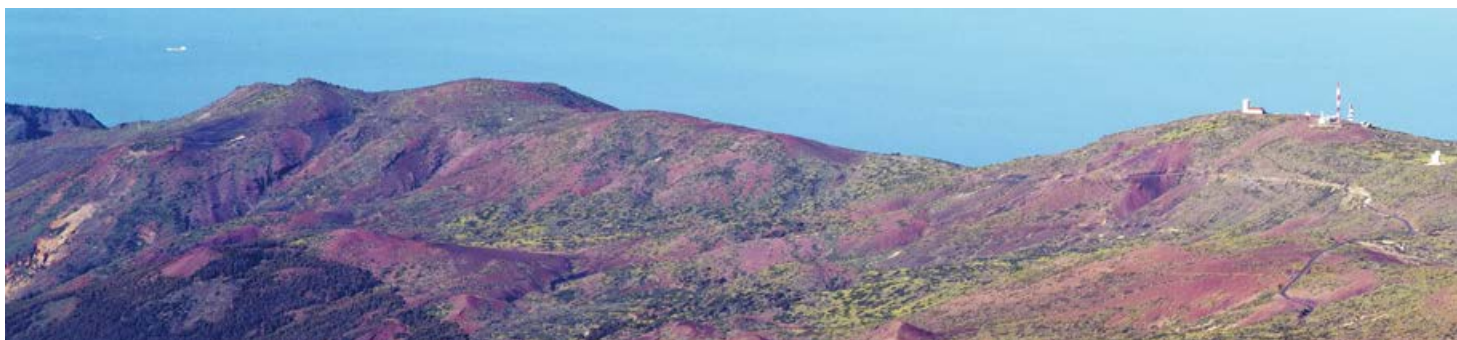
Europas leistungsfähigstes Sonnenteleskop GREGOR erlaubt mit seiner 1,5 Meter großen Öffnung räumlich hochaufgelöste Beobachtungen mit hoher photometrischer Genauigkeit. Die ersten wissenschaftlichen Beobachtungen begannen 2014 mit dem GREGOR Fabry-Pérot Interferometer (GFPI), dem GREGOR Infrarot Spektrographen (GRIS) und großformatigen CCD-Kameras zur Bildrekonstruktion. Zunächst wurde mit den Einzelinstrumenten beobachtet, bevor 2015 mit allen Instrumenten gleichzeitig Daten aufgenommen wurden. Dichroitische Pentaprismen verteilen das Licht auf die verschiedenen Instrumente. Umfangreiche, in mehrwöchigen Beobachtungskampagnen gewonnene Datensätze werden gegenwärtig untersucht und zur Veröffentlichung in der Zeitschrift *Astronomy & Astrophysics* vorbereitet.

Das GFPI (PI-Institut: AIP) besteht aus zwei durchstimmbaren Etalons in kollimierter Montierung, die schmalbandige Filtergramme mit einer spektralen Auflösung von $R \approx 250.000$ ermöglichen. Die spektrale Abtastung des Bildfelds erfolgt sehr schnell, wobei die genaue Zeit von der Anzahl der beobachteten Wellenlängenspunkte und dem Beobachtungsmodus abhängt (Polarimetrie dauert länger). Zwei Kameras mit 1.376×1.024 Pixeln nehmen Bilder simultan in zwei schmal- und breitbandigen Kanälen auf, sodass verschiedene Bildrekonstruktionsmethoden eingesetzt werden können. Das Bildfeld von $50'' \times 38''$ halbiert sich bei polarimetrischen Beobachtungen, ist aber immer noch groß genug, um physikalische Prozesse in Sonnenflecken zu erfassen.

Eine höhere magnetische Messempfindlichkeit und bessere Beobachtungsbedingungen im nahen Infrarot sind für GRIS (PI-Institut: Instituto de Astrofísica de Canarias) sehr nützlich. Der vom Instrument abgedeckte Spektralbereich ($1,0 - 2,3 \mu\text{m}$) enthält die wichtigen Regionen bei $\lambda 1.083 \text{ nm}$ (chromosphärische Magnetfelder) und $\lambda 1.565 \text{ nm}$ (tiefe Photosphäre und hohe Zeeman-Aufspaltung). Das Licht, welches nicht durch den Spektrographenspalt fällt, wird zurückgespiegelt und von verschiedenen Kameras aufgenommen. Hinter dem Spalt befindet sich das Teneriffa Infrarot Polarimeter (TIP-II), mit dem die Polarisations-eigenschaften des Lichts analysiert werden, aus denen wiederum die Eigenschaften des solaren Magnetfeldes bestimmt werden können. Mit einem Scanner tastet der Spektrographenspalt das Bildfeld ab, sodass Karten physikalischer Parameter bestimmt werden können.

Das STELLA Observatorium

STELLA sind zwei robotische 1,2 m Teleskope am Izaña Observatorium auf Teneriffa, Spanien. Die beiden Teleskope arbeiten unabhängig voneinander, sind aber im selben Gebäude untergebracht und werden von derselben Software gesteuert. Die Instrumente bestehen aus einem hochauflösenden Spektrographen und einer Weitfeldkamera. 2014/15 wurden 27 Beobachtungsprojekte abgearbeitet (15 aus Spanien, 45 vom AIP sowie 3 international) und dabei 67.504 CCD Aufnahmen und 17.306 Spektren gewonnen. Bis zum Stichtag am 31.12.2015 zählte STELLA 71 registrierte Nutzerinnen und Nutzer.



Panoramansicht des Teide Observatoriums auf Teneriffa. Panoramic view of the Teide Observatory on Tenerife. STELLA is seen in the very right corner, GREGOR is the large building on the left. (Credit: IAC)

STELLA-I ist ein Cassegrain-System mit einem relativ großen Sekundärspiegel und einem dreilinsigen Feldkorrektor für einen der beiden Nasmyth-Foki. Der Fokus ist zudem mit einem Bildfeld-Derotator ausgerüstet und beherbergt das Wide Field STELLA Imaging Photometer (WIFSIP). Es bietet ein Gesichtsfeld von 22' x 22' bei einem Abbildungsmaßstab von 0,32"/Pixel. Der Detektor ist ein STA400 4k x 4k rückseitig belichtetes und gedünntes CCD mit einer Quanteneffizienz von >90 %, produziert an der Universität von Arizona. Die verfügbaren Filtersysteme sind Strömgren uvbyH β , H α -schmal und -breit (4 und 18 nm FWHM), Sloan-u'g'r'i'z' und das Johnson-Cousins UBVRI Set.

STELLA-II hat einen sphärischen Hauptspiegel und eine Primärfokus-Korrekturoptik, um alles Licht über eine Glasfaser in einen Spektrographen zu koppeln. Der STELLA Echelle Spectrograph (SES) ist ein moderner Weißlicht-Pupillen-Spektrograph mit einer spektralen Auflösung von 60.000 und einem festen Wellenlängenbereich von 390 bis 870 nm. Eine 24 m lange oktagonale Glasfaser mit 67 μ m Kerndurchmesser führt das Licht vom Teleskop über einen Bildteiler zum Spektrographen. Dieser besteht aus einem 32 Linien/mm R2 Echelle-Gitter, zwei Off-Axis Parabolspiegeln, einem Faltspiegel und zwei Prismen als Querdispenser. Der Lichtstrahl von 130 mm Durchmesser wird mittels einer f/4-Linsenoptik auf dem Detektor abgebildet. Als Detektorsystem ist ein 4 k x 4 k e2v CCD mit einem am AIP gebauten Magellan-Kontroller im Einsatz.



*Fischaugen-Ansicht von GREGOR bei der Objektausrichtung.
Fish-eyes perspective of the GREGOR solar telescope acquiring its target.*

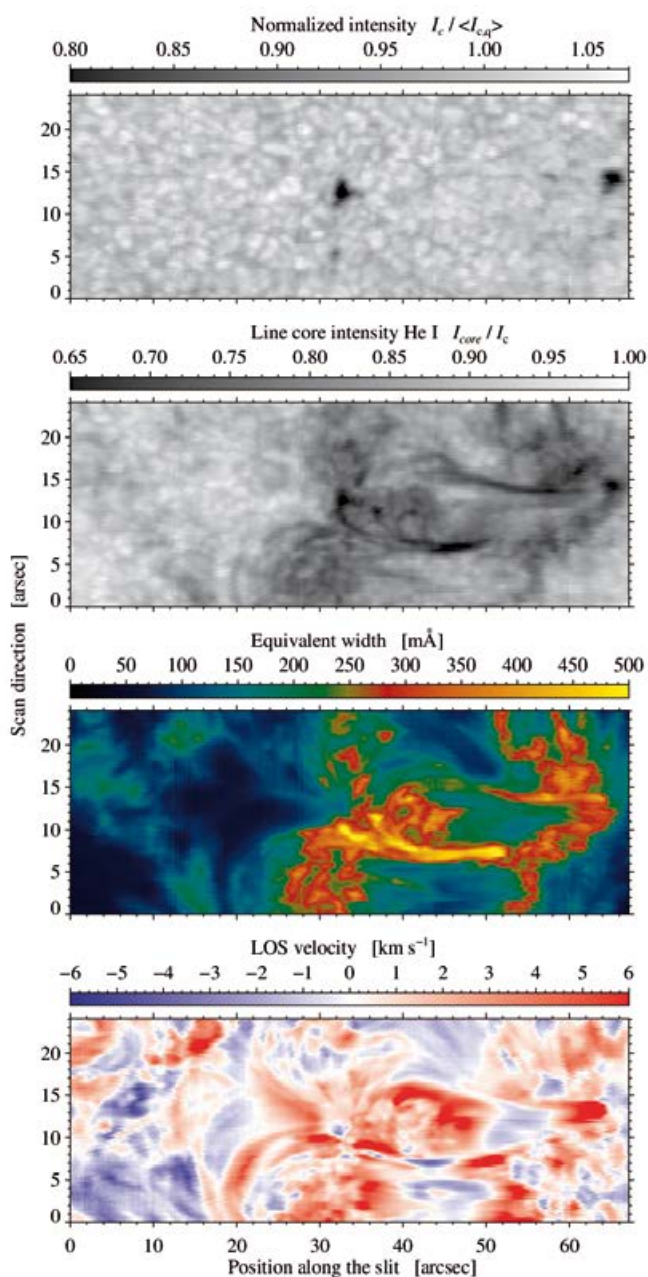
The GREGOR solar telescope

Light-collecting power and the highest spatial resolution are the trademarks of Europe's most powerful telescope: the 1.5-meter GREGOR solar telescope. In 2014, the "early science phase" started utilizing the GREGOR Fabry-Pérot Interferometer (GFPI), the GREGOR Infrared Spectrograph (GRIS), and large-format facility CCD cameras for image restoration. Initially, GFPI and GRIS were operated separately before in 2015 both instruments acquired data simultaneously using a light-distribution system of dichroic pentaprisms. Extended observing campaigns gathered a plethora of data, which are currently under investigation and are

prepared for publication in the peer-reviewed journal *Astronomy & Astrophysics*.

The GFPI (PI institute: AIP) comprises two tunable etalons in collimated mounting, which provide a spectral resolution of $R \approx 250.000$. Scanning a spectral line takes a few tens of seconds to a few minutes depending on the sampling, the number of images acquired per wavelength position, and the observing mode (spectroscopy vs. polarimetry). Two cameras with 1,376 x 1,024 pixel acquire images strictly simultaneously in the narrow- and broad-band channels to facilitate post-facto image restoration





Physikalische Parameter. Die Aufnahmedauer mittels GRIS slit von oben nach unten betrug nur rund eine Minute. Physical parameters characterizing a chromospheric loop system connecting two pores of an emerging flux region. The region was scanned in just one minute by moving the GRIS slit from the bottom to the top across the active region.

including simple destretching, speckle masking imaging and deconvolution, and multi-object multi-frame blind deconvolution (MOMFBD). The field-of-view (FOV) is $50'' \times 38''$ in the spectroscopic observing mode and about half the size for polarimetric observations.

Larger magnetic sensitivity and better seeing conditions in the near-infrared are benefits for GRIS (PI institute: Instituto de Astrofísica de Canarias), which operates in the spectral range 1.0–2.3 μm . It therefore covers the most widely used spectral regions ($\lambda 1083 \text{ nm}$ and the $\lambda 1565 \text{ nm}$) for spectropolarimetric observations. The field-of-view surrounding the slit is reflected back and used in a slit-jaw imaging system. The Tenerife Infrared Polarimeter (TIP-II) is located immediately after the slit. The polarizing beamsplitter from TIP-II produces two images of the slit that are linearly polarized at $\pm 45^\circ$ Celsius. After the light passes through the grating and is dispersed, several mirrors guide its way into the reimaging optics which finally project the light on the detector. The image scale at the final focal plane is $0.13''/\text{pixel}$. A slit-scanner moves the slit across the observed scene on the Sun so that two-dimensional maps of physical parameters can be recorded.

STELLA: the “Stellar Activity Observatory”

Two fully robotic 1.2 m telescopes at the Izaña Observatory in Tenerife, Spain form STELLA. Both telescopes work independently but reside in the same building and are being operated on the same software platform. They feed light to a high-resolution spectrograph and a wide-field imager. During the reporting period, a total of 27 active observing projects (15 from Spain, 45 from AIP, and three international ones) gathered 67,504 CCD frames and 17,306 spectra. On the cut-off date 31.12.2015 there were 71 registered STELLA users.

STELLA-I is a Cassegrain system with a comparably large secondary mirror and a three-lens field corrector near one of its two Nasmyth foci. This focus is also equipped with an image derotator and hosts the Wide Field STELLA Imaging Photometer (WIFSIP). It has a usable field-of-view of $22' \times 22'$ at a scale of $0.32''/\text{Pixel}$. The detector is a STA400 $4\text{k} \times 4\text{k}$ back-illuminated thinned CCD with a peak quantum efficiency of $>90\%$ from the University of Arizona. Available filters are Strömgren uvbyH β , H α -narrow and wide (four and 18nm FWHM), the Sloan-u'g'r'i'z', and the Johnson-Cousins UBVRi set.

STELLA-II has a spherical primary mirror with an on-axis prime-focus corrector system for light injection into a fibre. The SES is a modern white-pupil spectrograph with a moderately high spectral resolution of about 60,000 and a fixed wavelength format of 390 to 870 nm. It is fed by a 24m long octagonal optical fibre with $67 \mu\text{m}$ core diameter. The spectrograph consists of a 31 lines per mm R2 echelle grating, two off-axis parabolic collimator mirrors, one folding mirror and two prisms acting as cross-disperser. The beam with a diameter of 130 mm is imaged onto the detector by an f/4 refracting camera. A $4\text{k} \times 4\text{k}$ e2v CCD together with an AIP-built Magellan controller is used as the detector system.

Arizona, USA

Arizona, USA

Large Binocular Telescope (LBT)

Das Large Binocular Telescope (LBT) auf dem Mount Graham in Tucson, Arizona ist das leistungsfähigste optische Teleskop der Welt. 1996 startete der Bau des LBT, im Herbst 2005 empfing es „Erstes Licht“. Durch die Zusammenschaltung der beiden monolithischen Spiegel mit je 8,4 Metern Durchmesser, jeder für sich bereits der weltweit größte Einzelspiegel, entsteht ein Teleskop mit der Lichtsammelkraft eines 11,8 Meter Teleskops und, wenn interferometrisch gekoppelt, der Auflösung eines klassischen Teleskops mit 22,8 Metern Durchmesser. Die adaptive Optik des LBT kompensiert atmosphärische Störungen und bietet eine Auflösung, die zehnmal höher ist als die des Hubble-Weltraumteleskops.

Das AIP ist Partner der deutschen LBT Beteiligungsgesellschaft und beteiligt sich am LBT u. a. durch Entwicklung und Bau der sogenannten „Acquisition Guiding and Wavefront Sensing“-Einheiten, die das in das Teleskop einfallende Licht analysieren und Signale zur Steuerung des Teleskops und zur Optimierung der Form des Hauptspiegels liefern. 2014/15 hat das AIP das Tip-Tilt-Sensor-System für das Laserleitsystem ARGOS am LBT bereitgestellt. Der größte Schritt war aus AIP Perspektive sicherlich die erfolgreiche Installation und Inbetriebnahme des PEPSI-Spektrographen, der in Babelsberg entwickelt und gebaut wurde und nun die wissenschaftlichen Möglichkeiten des LBT erweitert.

Fairborn Observatory

Am Fairborn Observatory, in den Patagonia Mountains südöstlich von Tucson, werden 13 automatisierte Teleskope betrieben, davon zwei, die Doppelteleskope Wolfgang und Amadeus, vom AIP.

Large Binocular Telescope (LBT)

The Large Binocular Telescope (LBT) located at an altitude of 3.200 meter on Mt. Graham in Tucson, Arizona, is the most powerful telescope in the world. Construction started in 1996 and the telescope saw first light in the fall of 2005. The unique design includes two 8.4 meter diameter monolithic primary mirrors, the worlds largest single mirrors, as well as two adaptive secondary mirrors. The adaptive secondary mirrors allow the telescope to compensate for the atmospheric disturbances, which in the past have limited the spatial resolving power of ground based telescopes. The two primary mirrors give the telescope a light gathering power of an 11.8 meter telescope and when combined interferometrically they allow for a spatial resolving power of a

22.8 meter telescope, which is about ten times better than that of the Hubble Space Telescope.

The AIP is a partner of the German LBT Beteiligungsgesellschaft and has in the past contributed with the development and construction of the so-called "Acquisition, Guiding and Wavefront sensing" units for maintaining the telescope alignment during observations. In 2014/15 the AIP has also provided the tip-tilt sensing system for the ARGOS laser guidestar facility of the telescope. The most important development from an AIP point of view is of course the successful installation and commissioning of the PEPSI spectrograph on the telescope.

Fairborn Observatory

13 automated telescopes operate southeast of Tucson in the Patagonia Mountains at Fairborn Observatory, two of them, twin telescopes Wolfgang and Amadeus, are operated by the AIP.



Das LBT auf dem Mt. Graham. LBT observatory on Mount Graham. (Credit: Robert Müller)



Wissens- und Technologietransfer (WTT)

Knowledge and technology-transfer (KTT)

Das Team Wissens- und Technologietransfer (WTT) unterstützen das Institut und das angegliederte Zentrum für Innovationskompetenz (ZIK) innoFSPEC bei der Erschließung, Sicherung und Verwertung von Transferpotenzialen. Die so gewonnenen Kompetenzen außerhalb der Astrophysik tragen dazu bei, dass nicht nur die astrophysikalische Forschung unmittelbar von den neuen Erkenntnissen profitiert, sondern auch der „freedom-to-operate“ in neuen Forschungsfeldern gesichert wird.

Beispielsweise wurden im interdisziplinären Forschungsprojekt „Multiplex-Ramanspektroskopie aus der Astrophysik in die Medizin“ (MRS) bildgebende Eigenschaften von mit Faserbündeln gekoppelten Spektrographen der Astronomie in Verbindung mit Ramanspektroskopie als innovative Methode in der minimalinvasiven Krebsdiagnostik erprobt. In Kooperation mit der Charité Berlin soll das an astronomischen Teleskopen etablierte Verfahren der integralen Feldspektroskopie für medizinische Anwendungen nutzbar gemacht werden. Im Berichtszeitraum konnten dafür vielversprechende örtlich aufgelöste Ramanbilder von großflächigen Gewebeproben und pharmazeutischen Substanzen (ca. 13 mm²) mit nur einem Belichtungsvorgang aufgenommen werden. Die Messzeiten, die bei herkömmlichen Abtastverfahren im Stundenbereich liegen, konnten dabei auf wenige Minuten oder sogar Sekunden reduziert werden.

Im Gegenzug sollen die Erfahrungen aus den medizintechnischen Anwendungen wichtige Impulse zur Weiterentwicklung des Optikdesigns und der Datenauswertung in der astrophysikalischen Forschung liefern. In den an MRS anknüpfenden und bereits bewilligten Vorhaben „4D-Hochdurchsatz-Spektroskopie“ (4DHTS) und „Endoskopische Panoramabildgebung und faseroptische Spektroskopie in der Urologie zur Multi-Dimensionalen Diagnostik“ (uro-MDD) leistet die Transferstelle signifikante Beiträge zur Antragstellung. Im Rahmen des Forschungsprojektes 4DHTS werden die aktuellen Limitierungen der Echtzeitaufnahme von 3D-Spektren untersucht. Im Projekt uro-MDD geht es um die Entwicklung einer endoskopischen Fasersonde zur spektroskopischen 3D-Erfassung einer Harnblase und die Nutzung der multimodalen Bilddaten zur Krebsdiagnostik.

Neben der Unterstützung bei Projektanträgen ist die Transferstelle auch im Bereich der administrativen Abwicklung und im Projektmanagement aktiv. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in den Projekten können so insbesondere auf der Ebene des Vertrags- und Kooperationsmanagements entlastet werden.

Ein weiteres zentrales Anliegen des WTT ist die Erbringung von

verwertungsnahen Dienstleistungen für Mitarbeiter. Hierzu gehört die Unterstützung bei der Durchsetzung von gewerblichen Schutzrechten ab Einreichung einer Erfindungs- oder Markenmeldung. Jüngste Beispiele sind die Erfindungsmeldung „Bilderfassungsoptik mit Mikrolinsenarrays für großflächige bildgebende Ramanspektroskopie“ sowie die Anmeldung der Marke „4MOST“ im gleichnamigen Konsortialvorhaben.

Darüber hinaus soll allen Institutsmitarbeiterinnen und -mitarbeitern der Zugang zu transferorientierten Themen erleichtert werden. 2014 fand beispielsweise in Zusammenarbeit mit einem Fachanwalt ein institutsinterner Workshop zu Fragen der gewerblichen Schutzrechte statt. Darin wurde insbesondere das Urheberrecht im Rahmen von Veröffentlichungen der einzelnen Arbeitsgruppen diskutiert.

Im Bereich der regionalen und überregionalen Netzwerkarbeit vertritt die Transferstelle regelmäßig die Interessen des Instituts, beispielsweise im Kompetenznetz für Optische Technologien Optec-Berlin-Brandenburg e. V. (OpTecBB) oder im Leibniz-Forschungsverbund Medizintechnik (LFVM) der Leibniz-Gemeinschaft. In der Innovationsallianz 3Dsensation, einem Konsortialvorhaben mit über 80 Wissenschafts- und Wirtschaftseinrichtungen, wirkte die Transferstelle bereits im Roadmap-Prozess aktiv mit und konnte so die Forschungsschwerpunkte des AIP prominent platzieren.

Die Transferleistungen des AIP wurden im Berichtszeitraum durch Publikationen in den Journalen Biophotonik 2014, Sensors 2014 oder Laser + Photonics 2015 auf Messen und Konferenzen wie der Analytica München 2014, der Messe Laser Optics Berlin 2014, dem Optence Innovationsforum 2014, der Laser World of Photonics-Messe München 2015 oder dem 12. Dresdner Sensor-Symposium 2015 dokumentiert. Während interner Veranstaltungen wie dem Besuch einer chinesischen Delegation im Rahmen einer Deutschlandreise zum Thema „Best Practice im Technologietransfer“ konnte das AIP seine Transfer-Erfolge vor internationalem Publikum wirksam präsentieren.

Die bisherigen Schwerpunktaktivitäten mit Fokus auf das ZIK innoFSPEC bieten eine ideale Grundlage für eine breitere interne Professionalisierung des WTT. Das Aufgaben- und Verantwortungsprofil richtet sich dabei konsequent am tatsächlichen Bedarf der Forschungsbereiche aus. Zu den relevanten Themenfeldern zählen dabei unter anderem Fragestellungen rund um Schutzrechte, Kooperationen und deren Verträge sowie das Projektmanagement.

The knowledge and technology transfer (KTT) office supports the institute and its adjacent Centre for Innovation Competence (ZIK) innoFSPEC in exploring, securing and exploiting transfer potentials. Competences gained this way shall not only add to new insights in astrophysics, but also secure the freedom-to-operate in new fields of research.

Following this idea, innovative methods of minimally invasive cancer diagnostics were validated in the interdisciplinary research project “Multiplex Raman Spectroscopy from astrophysics to medicine” (MRS) by using fibre-bundle coupled astronomy spectrographs in connection with Raman spectroscopy. In cooperation with the Charité Berlin, this well-established method of integral-field spectroscopy in astrophysics will be further exploited for use in medical applications. Recently, promising spatially-resolved Raman images of large area samples (13 mm²) from tissue and pharmaceutical substances were taken in a single exposure. Time needed for conventional scanning methods was reduced from several hours to minutes and even seconds.

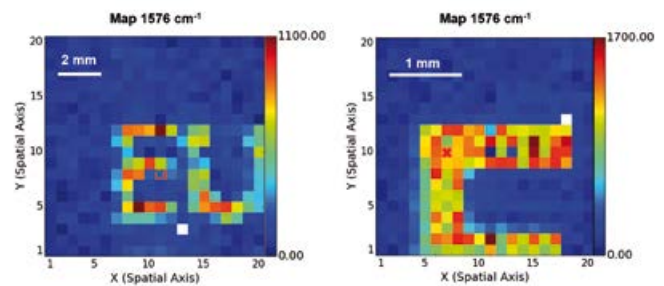
Furthermore, gained insights from medical applications will hopefully contribute new impulses for further development of imaging optics and data evaluation in astrophysical research. Based on MRS, two follow-up projects, “4D-High-Throughput-Spectroscopy” (4DHTS) and “Endoscopic Panorama Imaging and fibre-optical spectroscopy in urology for Multi-Dimensional Diagnostics” (uro-MDD), have already been granted. 4DHTS aims at detailed analysis of limitations in capturing of real-time 3D-spectra. The joint research project uro-MDD supports the development of an endoscopic fibre probe for spectroscopic 3D-capturing of an urinary bladder and utilizing multi-mode imaging data for cancer diagnostics.

The KTT office does not only support applications for new research projects but also their project management. Scientific project leaders may thus be assisted, for example, in handling contractual and managerial topics.

Other foci of the KTT office are general transfer related services for AIP employees. For this purpose, support is provided regarding the enforcement of intellectual property rights, for example, filing for patents or trademark applications. Recent examples are the invention disclosure “Imaging optics with micro-lense arrays for large-area imaging Raman spectroscopy” or the trademark application “4MOST”.

Moreover, the access to transfer-related topics for all AIP employees is facilitated. As an example, in 2014, a specialised lawyer held an institute workshop on intellectual property rights. One focus of the workshop was put on copyright issues in context with scientific publications.

Team 2014/2015:
Silvia Adelhelm, Marvin Stolz



13 mm² Ramanbildausschnitt einer zehn EUR-Banknote. Die Intensitäten von Ramanbanden lassen sich in Falschfarben visualisieren (hier: Ramanbande der Druckfarbe bei 1567 cm⁻¹). Dieses und weitere Experimente an nicht-biologischen Proben wurden als Vorversuche im Projekt MRS durchgeführt. Auf den dadurch gewonnenen Erkenntnissen basierend werden 2016 in Kooperation mit der Charité Berlin komplexere Messungen an malignem Gewebe durchgeführt. 13 mm² Raman image section of a ten euro banknote. The intensities of Raman bands can be visualized in false color (here: Raman band of printing ink at 1567 cm⁻¹). Such non-biological samples were taken as model systems for preliminary experiments performed in the MRS project. Based on the findings, more complex measurements will be performed on malignant tissue in 2016 and in cooperation with the Charité Berlin

In the field of regional and national networking, the KTT office regularly represents the interests of the AIP, e.g. as member of the Competence Network for Optical Technologies Berlin-Brandenburg e.V. (OpTecBB) or the Leibniz Research Alliance for Medical Technology: Diagnosis, Monitoring and Therapy (LFVM). The AIP is also a member of the innovation alliance 3Dsensation, a joint project with more than 80 scientific and industrial partners. In this context, the KTT office successfully participated in the roadmap process.

Regarding publications and communications, the results of the KTT activities were published in journals, e. g. Biophotonics 2014, Sensors 2014 and Laser + Photonics 2015 or showcased at fairs and conferences such as Analytica Munich 2014, Laser Optics Berlin 2014, Optence Innovation Forum 2014, Laser World of Photonics Munich 2015 or the 12th Sensors Symposium 2015 in Dresden. Additionally, in-house events, e.g. a workshop on best practice in KTT with visitors from China, were used to present the transfer related achievements at the AIP.

The recent focus of the transfer related activities with emphasis on the ZIK innoFSPEC provides an ideal basis for a wider internal professionalization of KTT. The tasks and responsibilities of the KTT office are aligned with the actual needs of AIP's research groups. Mainly, topics such as intellectual property, cooperation, cooperative agreements and project management will be important.





Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
am AIP

Public outreach at AIP

Die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit am AIP vermittelt Forschungsergebnisse an die Öffentlichkeit und unterstützt AIP-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei Outreach-Aktivitäten. Insgesamt reicht das Aufgabenspektrum von der klassischen Pressearbeit über die Organisation von Vorträgen, Veranstaltungen und Ausstellungen bis zur Durchführung von Beobachtungsabenden und Führungen. Auf den Social Media Kanälen Twitter und Facebook wird regelmäßig über aktuelle Themen und Veranstaltungen informiert sowie Bilder und Videos veröffentlicht.

Die öffentlichen Veranstaltungen werden durch das Engagement vieler AIP-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mitgetragen.

Presse

In den Jahren 2014/15 veröffentlichte das Institut mehr als 30 Pressemeldungen zu wissenschaftlichen Ergebnissen, technologischen Entwicklungen und bedeutenden Projektfortschritten. Auf eine besonders große Medienresonanz stießen die Meldungen über einen Roten Zwergstern, der vor ca. 70.000 Jahren in geringer Distanz an unserer Sonne vorbeiflog und informell nach seinem Entdecker, AIP-Astrophysiker Ralf-Dieter Scholz, benannt wurde; die Bekanntgabe der Getty Foundation, die Erhaltung des Einsteinturms zu fördern und die Veröffentlichung des ersten Films zur Entwicklung von Sternflecken außerhalb des Sonnensystems mithilfe von STELLA. Es erschienen außerdem Institutspräsentationen in Stadtmagazinen und Tageszeitungen.

Veranstaltungen

Im Berichtszeitraum öffnete das AIP zu zahlreichen Gelegenheiten seine Türen für Besucher aller Altersgruppen. Die monatlichen Babelsberger Sternennächte, regelmäßige Führungen über den Telegrafenberg und Beobachtungsabende am Großen Refraktor stießen weiterhin auf große Resonanz und konnten Dank regelmäßiger zielgruppenorientierter Ankündigungen steigende Besuchszahlen verzeichnen. Der Förderverein Großer Refraktor e. V. lud anlässlich des Tags des offenen Denkmals erneut ein, den Großen Refraktor auf dem Telegrafenberg zu besichtigen. Ebenfalls ungebrochener Beliebtheit erfreute sich die Lange Nacht der Wissenschaften, zu der jährlich rund 2.500 Besucher zum Großen Refraktor und Einsteinturm strömen. Erstmals beteiligte sich das AIP 2015 auch am Potsdamer Tag der Wissenschaften. Am 9. Mai 2015 präsentierten Forschungsinstitute gemeinsam mit der Universität Potsdam in familienfreundlicher Atmosphäre am Neuen Palais, wie spannend Wissenschaft sein kann.

Team 2014/2015:

Juana Wendt, Kerstin Mork, Gabriele Schönherr,
Janine Fohlmeister (head)



Titel des Stadtmagazins *Friedrich* im August 2015. Cover of Potsdam city magazine *Friedrich* August 2015.

Dazu kamen diverse Gastspiele wie Vorträge von AIP-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in Planetarien, bei Science Slams oder in Schulen. Auf der „Falling Walls“ Konferenz 2015 in Berlin war AIP-Astrophysikerin Jenny Sorce neben Nobelpreisträger Brian Schmidt eine der Sprecherinnen im Panel. Die Staatskapelle zu Berlin gab in Kooperation mit dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) im August 2014 ein Benefiz-Konzert im Großen Refraktor zum Thema „Tropenschutz“.

Partielle Sonnenfinsternis

Ein besonderes Highlight stellte die partielle Sonnenfinsternis am 20. März 2015 dar. Mehr als 400 Gäste genossen dieses spektakuläre Phänomen bei bestem Wetter mit AIP-eigenen Teleskopen, Solarscopen sowie eigens bereit gestellten Sonnenfinsternisbrillen. Der Fernsehnachrichtensender n-tv übertrug das Ereignis vom AIP Campus in stündlichen Schaltungen und in Interviews mit AIP Wissenschaftlern live. Das ZDF interviewte Matthias Steinmetz für einen Sonderbeitrag im „heute-journal“. Auch die dpa dokumentierte in Vorfeld und am Veranstaltungstag am AIP das Himmelsereignis der Finsternis.





*Babelsberger Sternennacht am AIP.
Starry night at AIP.*



*Beobachtung der partiellen Sonnenfinsternis im März 2015.
Observing the partial solar eclipse in March 2015.*

Nachwuchsförderung

Die Nachfrage von Sonderführungen und Vorträgen für Schulen bewegte sich weiterhin auf einem hohen Level. Das AIP beteiligte sich am Girls' Day / Zukunftstag Brandenburg und der Kinderuniversität der Universität Potsdam. Zusammen mit dem Urania Planetarium Potsdam hat das AIP im Jahr 2015 mit den „Kinder Science Days“ ein neues Format zur Nachwuchsförderung ins Leben gerufen, um die wissenschaftliche Bildung von Kindern und Jugendlichen zu fördern. Unter dem Motto „Wissenschaft anschaulich vermittelt von WissenschaftlerInnen“ wird im Planetarium Potsdam bei interaktiven Vorträgen und Experimentiermöglichkeiten Astrophysik anschaulich vermittelt, und die Kinder haben Zeit und Raum, Fragen zu stellen.

Themenjahre

Ein besonderer Schwerpunkt lag im Jahr 2015 auf dem 100-jährigen Jubiläum von Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie. Mehrere Film-, Fernseh-, Radio- und Zeitungsteams besuchten die AIP-Standorte in Babelsberg und auf dem Telegrafenberg für Experteninterviews (u. a. Deutsche Welle, arte, verschiedene Zeitschriften).

Für das von der UNESCO ausgerufenen Internationale Jahr des Lichts (IYL) 2015 beteiligte sich das AIP im Themenbereich „Wissenschaft des Lichts“: Bei der Eröffnungsfeier in München hielt AIP-Wissenschaftler Martin Roth einen der Impulsvorträge – neben Nobelpreisträger Stefan Hell. In einem dem IYL gewidmeten Leibniz-Journal erschien ein Beitrag des AIP zur Galaktischen Archäologie.

Weiterhin fanden am AIP eine Lehrerfortbildung zum 100-jährigen Jubiläum von Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie statt, und Studierende waren mit der Photonik-Akademie von optecBB zu Gast am Institut.

In Kooperation des AIP mit dem Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY, dem Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik und der Universität Potsdam sowie proWissen Potsdam e.V. fanden in der Bildungsetage Potsdam zum Abschluss des Jahres eine Themenwoche „Licht!“ mit Vorträgen, Schülerakademien, getanztem Urknall und der Eröffnung der Ausstellung „Fenster ins Universum“ statt.

Dreharbeiten

Die Kooperation für die Sendereihe „TerraX Faszination Universum“ des ZDF wurde 2014/15 fortgesetzt und Harald Lesch vor dem Großen Refraktor erneut erfolgreich in Szene gesetzt.

Die Verschiffung des PEPSI-Spektrographen von Babelsberg nach Arizona hat das Team der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit umfassend in regionalen Fernsehformaten platziert. Zusätzlich begleitete ein externes Filmteam die gesamte Reise des Instruments.

Im November 2015 war ein Filmteam zu Gast am Babelsberger Standort, um Szenen für die ZDF-Krimiserie „Letzte Spur Berlin“ zu drehen. Bis nach Potsdam reiste auch ein Team des japanischen TV-Senders NHK, um Noam Libeskind über seine Suche nach Brücken aus Dunkler Materie zu befragen.

Vernetzung

Gemeinsam mit dem Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY, dem Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik AEI und der Universität Potsdam konzipierte das AIP im Rahmen der Dauerausstellung „Forschungsfenster“ einen sogenannten Astrokubus neu, der in der Wissenschaftsetage des Bildungsforums Potsdam spannende Bilder, Filme und Ausstellungsstücke aus der Astronomie zeigt. Vom Kinderfragenheft, in dem Potsdamer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Disziplinen auf drängende Kinderfragen antworten, wurde eine neue Ausgabe veröffentlicht.

Von der Astronomie wollten die Kinder dieses Mal beispielweise gerne wissen, was Dunkle Materie eigentlich ist und warum die Sonne so heiß ist.

Interne Kommunikation

AIP-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wurden regelmäßig über aktuelle wissenschaftliche Highlights informiert und die Teilnahme an Veranstaltungen gezielt unterstützt und gefördert. Zur weiteren Verbesserung der Kommunikation innerhalb des Instituts veröffentlicht das AIP seit 2014 interne Newsletter. Auch zur internen und externen Kommunikation der Leibniz-Gemeinschaft steuerte das AIP Beiträge für die Webseite und das Leibniz-Journal bei.

Evaluierung

In Vorbereitung auf die Institutsevaluierung durch die Leibniz-Gemeinschaft Anfang 2015 fungierte das PR-Team als Servicestelle für alle Fragen der Gestaltung und der internen und externen Kommunikation, sowohl im Hinblick auf die schriftliche Dokumentation des siebenjährigen Evaluationszyklus als auch auf den zweitägigen Besuch der Kommission. Während der Institutsvorstellung präsentierte sich das Team mit einem Informationsstand und Kurzfilm mit Impressionen aus den Jahren 2007 – 2015.

The public outreach team at AIP aims to share scientific results with the public and supports outreach activities of AIP scientists. The tasks of the PR team are manifold, encompassing work with

journalists and the media, the organization of public talks, public observations and guided tours and general communication and networking activities. Social media like twitter and facebook are used to inform regularly about current news and events and to publish images and videos. The public events are supported by a great number of AIP scientists.

Press

In 2014/15, the institute published more than 30 press releases about scientific results, technological developments and major projects. Some news that received especially high attention by the media were: a red dwarf that passed close to the Sun 70,000 years ago and that was nicknamed after his discoverer, astrophysicist Ralf-Dieter Scholz, the announcement of the Getty Foundation about funding a preservation study of the Einstein Tower and the publication of the first movie that shows the evolution of stellar spots outside our solar system based on STELLA data. The institute was furthermore presented in city magazines and daily newspapers.

Events

During the reporting period, the AIP opened its doors to visitors on many occasions. The monthly Babelsberg Starry Nights, regular guided tours at the Telegrafenberg and Observing Nights at the Great Refractor received much attention and the number of visitors even increased thanks to targeted announcements. The "Förderverein Großer Refraktor e. V." invited the public to



*Dreharbeiten für die ZDF-Reihe „Faszination Universum“ im Großen Refraktor.
Filming for the series „Fascination Universe“ in the Great Refractor.*





arte-Aufnahmen auf dem Dach des Humboldthauses. Filming on top of the old observatory building.

a visit of the Great Refractor at the Telegrafenberg for the “Open Monument Day”. The Long Night of Sciences continued its success story of receiving about 2,500 visitors at the Great Refractor and the Einstein tower in both years. For the first time, AIP also took part in the Potsdam Day of Sciences. On this occasion research institutes together with the University of Potsdam presented science in family-friendly atmosphere.

Several guest appearances as presentations of AIP scientists in planetariums, in Science Slams or in schools complete the picture. AIP scientist Jenny Sorce was invited to the panel of the “Falling Walls” Conference in Berlin among other speakers and nobel prize winner Brian Schmidt. The State Orchestra of Berlin gave a benefit concert in the Great Refractor in cooperation with the Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) in August 2014 for the protection of the tropics.

Partial Solar Eclipse

A special highlight was the partial solar eclipse on 20 March 2015. Already weeks before, the attention of the media and the demand for solar eclipse goggles increased rapidly. On the day of the eclipse about 400 people watched this astronomical event

during best seeing conditions. A team from the TV news channel n-tv reported about the event from the AIP campus during live connections every hour, interviewing AIP scientists. The news agency dpa had covered the event beforehand and also reported from the progress of the eclipse on March 20. An interview with Matthias Steinmetz appeared in the German newscast “ZDF heute journal”.

Promotion of Young Talents

The number of requests for special tours and lectures for schools maintained a high level. AIP participated in the Girls’ Day / Zukunftstag Brandenburg and in the Kids’ University at the University of Potsdam. In cooperation with the Planetarium Potsdam, AIP initiated a new format for the promotion of the scientific education of kids and young talents – the “Kinder Science Days”. Interactive lectures and experiments in the planetarium are used to communicate astrophysics in an intuitively accessible way, giving the kids enough time and room for questions.

International Year of Light

The UN general assembly had proclaimed the year 2015 to be the “International Year of Light and light-based Technologies” (IYL).

AIP engaged in the thematic area of “Science of Light”. Martin Roth gave one of the keynote speeches at the opening ceremony of the IYL in Munich – alongside Nobel prize laureate Stefan Hell. The magazine of the Leibniz Association (“Leibniz-Journal”) dedicated one issue to the IYL, featuring also an article by AIP about Galactic Archaeology.

Further AIP activities during the IYL included a teachers’ training for 100 years of Einstein’s Theory of General Relativity and hosting the photonics academy by optecBB – a special information and networking format for students – at AIP.

During the IYL, there were a number of interview requests about the related topics. The interest by the media focused especially on the 100 years of Einstein’s Theory of General Relativity, attracting many TV teams, photographers and interested persons like John Holdren, Director of the Office of Science and Technology Policy and Consultant of the US president Barack Obama who visited the Einstein Tower.

In cooperation of AIP with the Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, the Max Planck Institute for Gravitational Physics, the University of Potsdam and proWissen Potsdam e.V., a thematic week of light (“Licht!”) was held at the central facilities of proWissen in the centre of Potsdam. The programme included public lectures, students’ academies, a “danced big bang” and the inauguration of the exhibition “Window to the Universe”.

Filming at AIP

The cooperation with the German TV channel ZDF for the series “Terra X – Fascination Universe” was continued, filming the moderations of Harald Lesch in the scenery of the Great Refractor dome.

The transfer of the PEPSI spectrograph from Babelsberg to Arizona was placed in widespread regional TV formats. In addition the journey of the instrument to the telescope was accompanied by an external team.

In November 2015, a TV crew visited the Babelsberg Research Campus for shooting scenes for the ZDF crime thriller “Letzte Spur Berlin”. Even a TV team from a Japanese TV station, NHK, travelled to Potsdam to interview Noam Libeskind about his search for bridges of dark matter.

Networking

Jointly with the Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, the Max Planck Institute for Gravitational Physics and the University of Potsdam, AIP re-designed the contents of the so-called “Astro Cube”, showing exciting astronomical images, movies and exhibits in the permanent exhibition “Forschungsfenster” (“A Window to Research”) in the Potsdam Science Forum.

A new edition of a children’s questions booklet series was published. Potsdam scientists from various disciplines respond to urging questions by children. This time, astronomy-related questions involved, for instance, the nature of dark matter and why the Sun is so hot.

Internal Communication

The AIP staff was regularly informed about scientific highlights and their participation in events was specifically promoted. Since 2014, the AIP publishes internal newsletters to further enhance the communication within the institute. The AIP also contributed to the website and the Journal of the Leibniz Association.

Evaluation

In preparation of the institute’s evaluation by the Leibniz association in January 2015, the PR team gave support regarding all questions of elaboration, internal and external communication – both for the written documents about the seven-year-evaluation cycle and for the two-days visit of the committee. During the institute’s presentation the team displayed an information stand and a short movie with impressions from 2007 – 2015.



Juana Wendt, Kerstin Mork, Gabriele Schönherr, Janine Fohlmeister



Anhang

Appendix







Institutsstruktur

Institute structure

Das Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) ist eine Stiftung bürgerlichen Rechts des Landes Brandenburg und Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft. Das AIP wird vom Land Brandenburg, der Ländergemeinschaft und vom Bund institutionell gefördert.

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

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.

Executive Board

The Executive Board executes all business for the foundation. It prepares sessions for the Board of Trustees and administers its decisions. The Executive Board accomplishes all tasks that are not explicitly assigned to other supervisory bodies.

Prof. Dr. Matthias Steinmetz

Wissenschaftlicher Vorstand
Scientific Member of the Board

Vorsitzender des Vorstands
Chairman of the Board

Direktor Forschungsbereich
Director Research Branch "Extragalactic Astrophysics"

Matthias Winker

Administrativer Vorstand
Administrative Member of the Board

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.

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 done by the Executive Board.

Dr. Claudia Herok

Vorsitzende / Chair

Ministerium für Wissenschaft, Forschung
und Kultur des Landes Brandenburg
Brandenburg Ministry of Science, Research and Culture

Susanne Fricke

Stellvertretende Vorsitzende / Vice Chair

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Federal Ministry of Education and Research

Prof. Oliver Günther, PhD

Präsident der Universität Potsdam
President of Potsdam University

Prof. Dr. Peter Schneider

Argelander-Institut für Astronomie
Argelander-Institut für Astronomie



Wissenschaftlicher Beirat

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

Science Advisory Board

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

Prof. Dr. Peter Schneider

Vorsitzender / Chair

Argelander-Institut für Astronomie, Universität Bonn

Prof. Dr. Michael Kramer

Stellvertretender Vorsitzender / Vice Chair

Max-Planck Institut für Radioastronomie Bonn

Prof. Dr. Gibor Basri

The University of California at Berkeley

Prof. Dr. Matthew Colless

The Australian National University Research
School of Astronomy and Astrophysics

Prof. Dr. Ralf-Jürgen Dettmar

Astronomisches Institut, Ruhr-Universität Bochum

Prof. Moira Jardine

School of Physics & Astronomy, University of St Andrews

Prof. Dr. Astrid Veronig

Karl-Franzens-Universität Graz

Prof. Dr. Ann Zabludoff

Steward Observatory, University of Arizona

Wissenschaftliche Direktoren**Scientific Directors**

Prof. Dr. Klaus Strassmeier

Kosmische Magnetfelder / Cosmic Magnetic Fields

Prof. Dr. Matthias Steinmetz

Extragalaktische Astrophysik / Extragalactic Astrophysics

Betriebsrat**Works Council**

Dr. Olivier Schnurr

Vorsitzender / Chair

Dr. Tanya Urrutia

Stellvertretende Vorsitzende / Vice Chair

Dr. Karl-Heinz Böning, Diana Johl, Dr. Arman Khalatyan
Kerstin Mork, Dr. Hakan Önel

Gleichstellungsbeauftragte**Commissioner for Gender Issues**

Petra Nihsen**Dr. Andrea Kunder**

Stellvertreterin / Deputy Commissioner

Internes Wissenschaftliches Komitee**Internal Scientific Committee**

Dr. Noam Libeskind**Dr. Sarah Jane Schmidt**

Sprecher / Speaker

Friedrich Anders, Dr. Sydney Barnes, Dr. Roger Haynes,
Dr. Andreas Kelz, Dr. Adriane Liermann, Dr. Olivier Schnurr

Wissenschaftlicher Beirat Science Advisory Board

Prof. Dr. Peter Schneider (Vorsitzender Chair)

Prof. Dr. Michael Kramer (Stv. Vorsitzender Vice Chair)

Kuratorium Board of Trustees

Dr. Claudia Herok (Vorsitzende Chair)

Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg

Susanne Fricke (Stv. Vorsitzende Vice Chair)

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Vorstand Executive Board

Prof. Dr. Matthias Steinmetz (Sprecher Chair)

Matthias Winker

Vorstandsreferentin Scientific Coordinator

Dr. Janine Fohlmeister

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit Public Relations

Kerstin Morik

Betriebsrat Works Council

Dr. Olivier Schnurr

Internes Wissenschaftliches Komitee

Internal Scientific Committee

Dr. Noam Libeskind, Dr. Sarah Jane Schmidt

Ombudsmann für gute wissenschaftliche Praxis

Ombudsman for Good Scientific Practice

Dr. Matthias Steffen

Gleichstellung Gender Equality

Petra Nihsen

Datenschutz Data Protection

Dr. Harry Enke

IT Sicherheit IT Security

Mario Dionies

Kosmische Magnetfelder

Cosmic Magnetic Fields

Prof. Dr. Klaus Strassmeier

Magneto hydrodynamik und Turbulenz

Magneto hydrodynamics and Turbulence

Dr. Dettlef Elstner

Physik der Sonne Physics of the Sun

apl. Prof. Dr. Gottfried Mann

Optische Sonnenphysik Optical Solar Physics

apl. Prof. Dr. Carsten Denker

Sternphysik und Sternaktivität

Stellar Physics and Stellar Activity

Dr. Svetlana Hubrig

Extragalaktische Astrophysik

Extragalactic Astrophysics

Prof. Dr. Matthias Steinmetz

Milchstraße und die lokale Umgebung

Milky Way and the Local Volume

Dr. Roelof de Jong

Die frühe Milchstraße The early Milky Way

Dr. Elise Starckenburg

Galaxien und Quasare Galaxies and Quasars

Prof. Dr. Lutz Wisotzki

Röntgenastronomie X-ray Astronomy

PD Dr. Axel Schwobe

Kosmologie und großräumige Strukturen

Cosmology and Large-scale Structure

Dr. Stefan Gottlöber

Galaxienentstehung Galaxy Formation

Dr. Cecilia Scannapieco

Entwicklung von Forschungstechnologie und -infrastruktur

Development of Research Technology and Infrastructure

Prof. Dr. Klaus Strassmeier

Teleskopsteuerung und Robotik

Telescope Control and Robotics

Dr. Thomas Granzer

Hochauflösende Spektroskopie und Polarimetrie

High-resolution Spectroscopy and Polarimetry

Dr. Michael Weber



Leibniz-Institut für
Astrophysik Potsdam

Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP)

An der Sternwarte 16

14482 Potsdam

info@aip.de

+49 331 7499-0

www.aip.de



(Stand 04.2016)

Anreise

How to get to AIP



Potsdam-Babelsberg AIP-Forschungscampus:

Mit Bahn und Bus:

Der Bus 616, der direkt vor dem Eingang zum Campus hält (Haltestelle: „Sternwarte“), fährt von den Potsdamer S-Bahnstationen Griebnitzsee und Babelsberg ab. Fahrplanauskunft auf www.bvg.de.

Mit dem Auto:

Ab Berlin über die A 115 bis zur Abfahrt „Potsdam-Babelsberg“ fahren; auf der Nuthe-Schnellstraße bleiben bis zur Ausfahrt „Friedrich-List-Straße“. Der Straße „Alt Nowawes“ geradeaus bergauf folgen, bis zur Rechten die Einfahrt zum AIP zu sehen ist.

Nächste Flughäfen:

Berlin-Tegel und Berlin-Schönefeld

Potsdam-Babelsberg Research Campus:

Public Transport:

Bus No. 616, which stops right outside the entrance to the campus (stop “Sternwarte”), leaves from the Potsdam railway stations S Griebnitzsee and S Babelsberg. You can find the most convenient train and bus connection on www.bvg.de.

By Car:

From Berlin you best reach the Babelsberg Campus from the A 115 via exit “Potsdam-Babelsberg”. From here, follow the Nuthe-Expressway until you reach exit “Friedrich-List-Straße”. Turn right and follow the road “Alt Nowawes” straight uphill until you see the entrance to the AIP on the right hand side.

Nearest airports:

Berlin-Tegel, Berlin Schönefeld



Potsdam Telegrafenberg Großer Refraktor und Einsteinturm:

Mit dem Bus:

Der Bus 691, der zum Wissenschaftspark „Albert Einstein“ auf dem Telegrafenberg fährt, startet am Potsdamer Hauptbahnhof. Der Bus 691 verkehrt nur wochentags zu Stoßzeiten.

Mit dem Auto:

Ab Berlin die A 115 bis zur Abfahrt „Potsdam-Babelsberg“ nehmen; dann von der Nuthe-Schnellstraße aus über die Friedrich-Engels-Straße Richtung Potsdam Hauptbahnhof fahren. Von dort über die Straße Brauhausweg der Albert-Einstein-Straße bis zum Eingang des Wissenschaftsparks folgen. Das Auto bitte vor dem Gelände des Wissenschaftsparks parken.

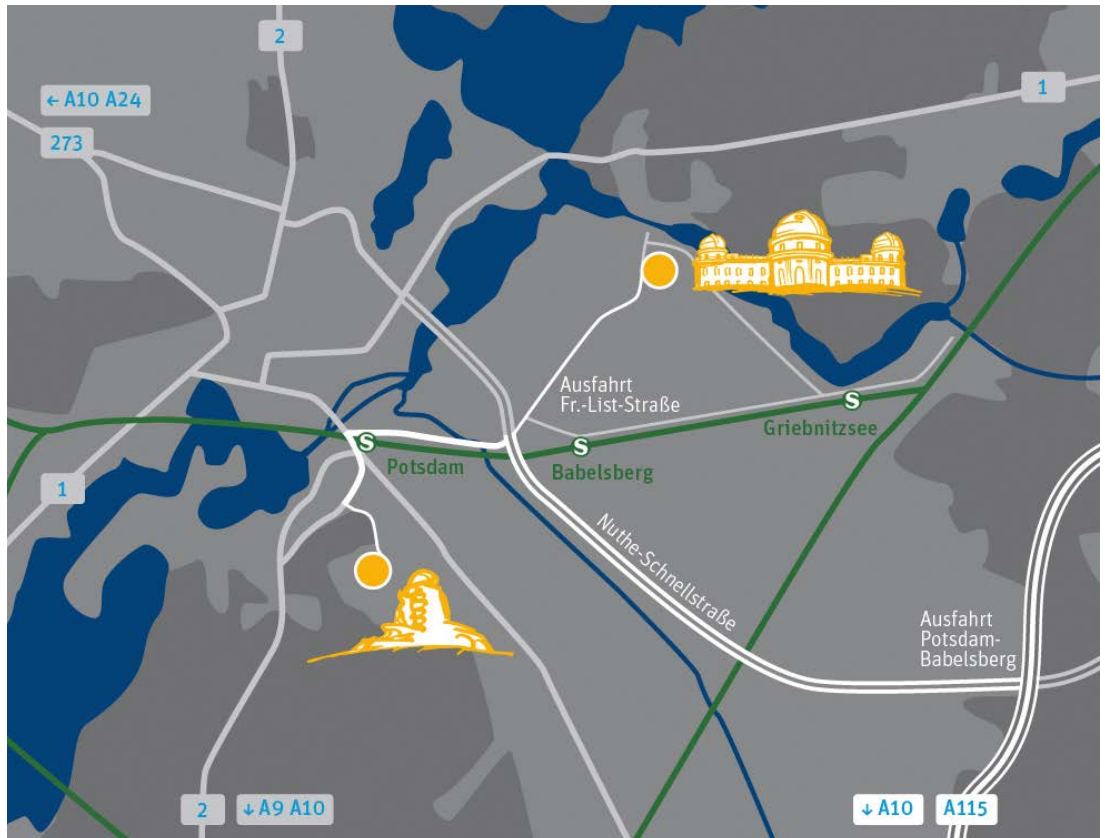
Potsdam-Telegrafenberg Great Refractor and Einstein Tower:

Public Transport:

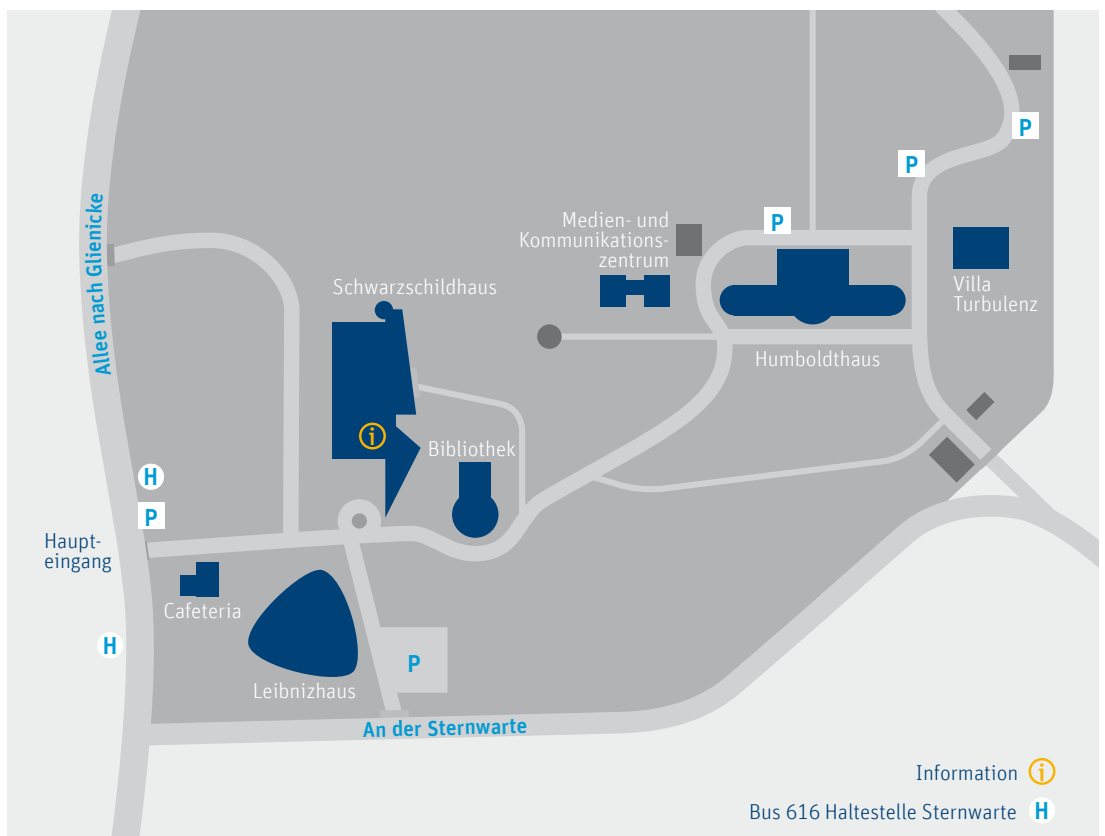
Bus No. 691, which stops at Telegrafenberg, leaves from Potsdam main station. Please note that this bus runs only on peak times on weekdays.

By Car:

From Berlin you can reach Telegrafenberg from the A 115 via exit “Potsdam-Babelsberg”. From the Nuthe- Expressway take the Friedrich-Engels-Straße towards Potsdam main station. Than turn onto Brauhausweg and Albert-Einstein-Straße till you reach “Wissenschaftspark Albert Einstein”. Park near the gate on the roadside.

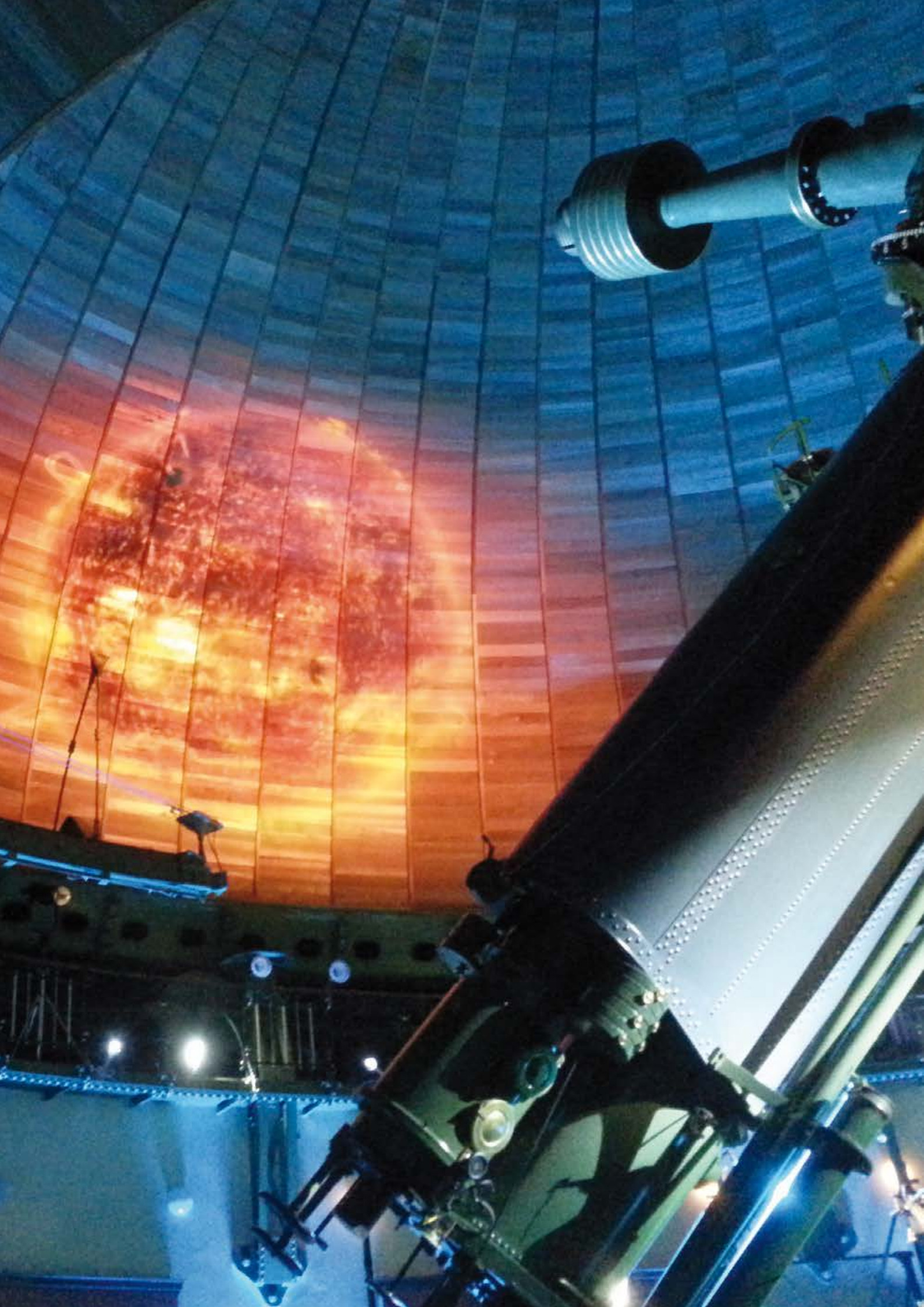


Standorte in Potsdam-Babelsberg und auf dem Telegrafenberg. AIP locations at Potsdam-Babelsberg and Telegrafenberg.



Forschungscampus Potsdam-Babelsberg. Research Campus in Potsdam-Babelsberg.





Impressum

Imprint

Zweijahresbericht 2014/15
Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP)

Herausgegeben durch das

Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP)
An der Sternwarte 16, 14482 Potsdam, Germany
+49 331 7499-0

Inhaltliche Verantwortung:

Matthias Steinmetz

Redaktion:

Janine Fohlmeister, Kerstin Mork,
Gabriele Schönherr, Juana Wendt

Gestaltung:

KRAUT & KONFETTI, Berlin

Auflage:

1.000 Exemplare

ISSN:

2367-3664

Potsdam, 2016

**Leibniz-Institut für
Astrophysik Potsdam (AIP)**

An der Sternwarte 16
14482 Potsdam
+49 331 74 99-0

www.aip.de

