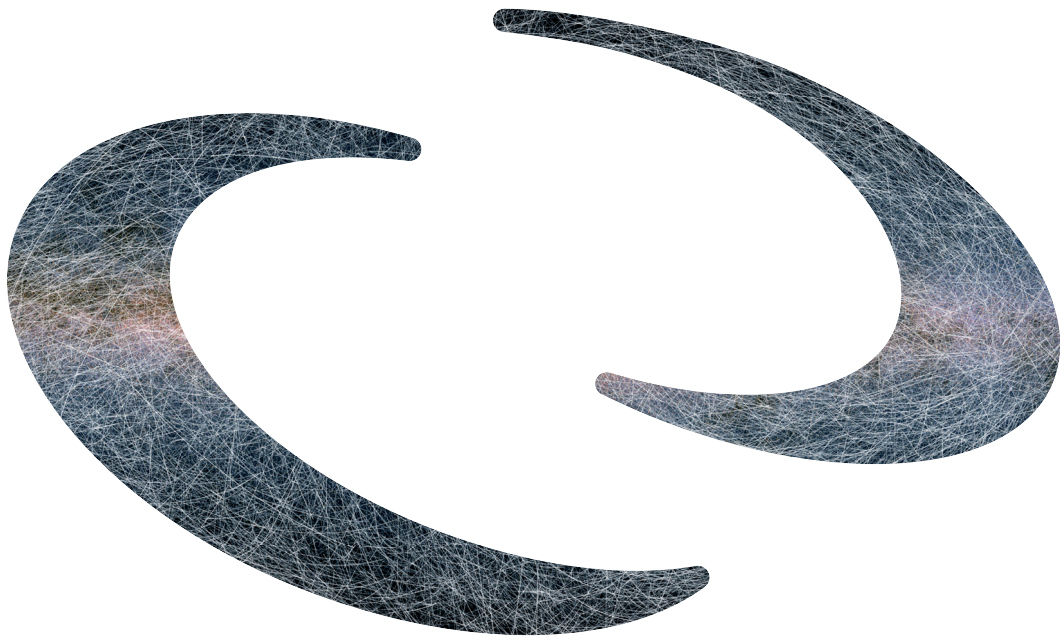




Leibniz-Institut für
Astrophysik Potsdam

BIENNIAL REPORT 2020 – 2021



Stilisierte Darstellung einer Spiralgalaxie. Forschende am AIP untersuchen neben unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße, auch die nächsten Nachbarn, Zwerggalaxien wie die Magellanschen Wolken, sowie weit entfernte Galaxien, die kurz nach dem Urknall entstanden sind.

Stylized illustration of a spiral galaxy. Researchers at the AIP are studying not only our home galaxy, the Milky Way, but also our nearest neighbours, dwarf galaxies such as the Magellanic Clouds, as well as distant galaxies that formed shortly after the Big Bang.

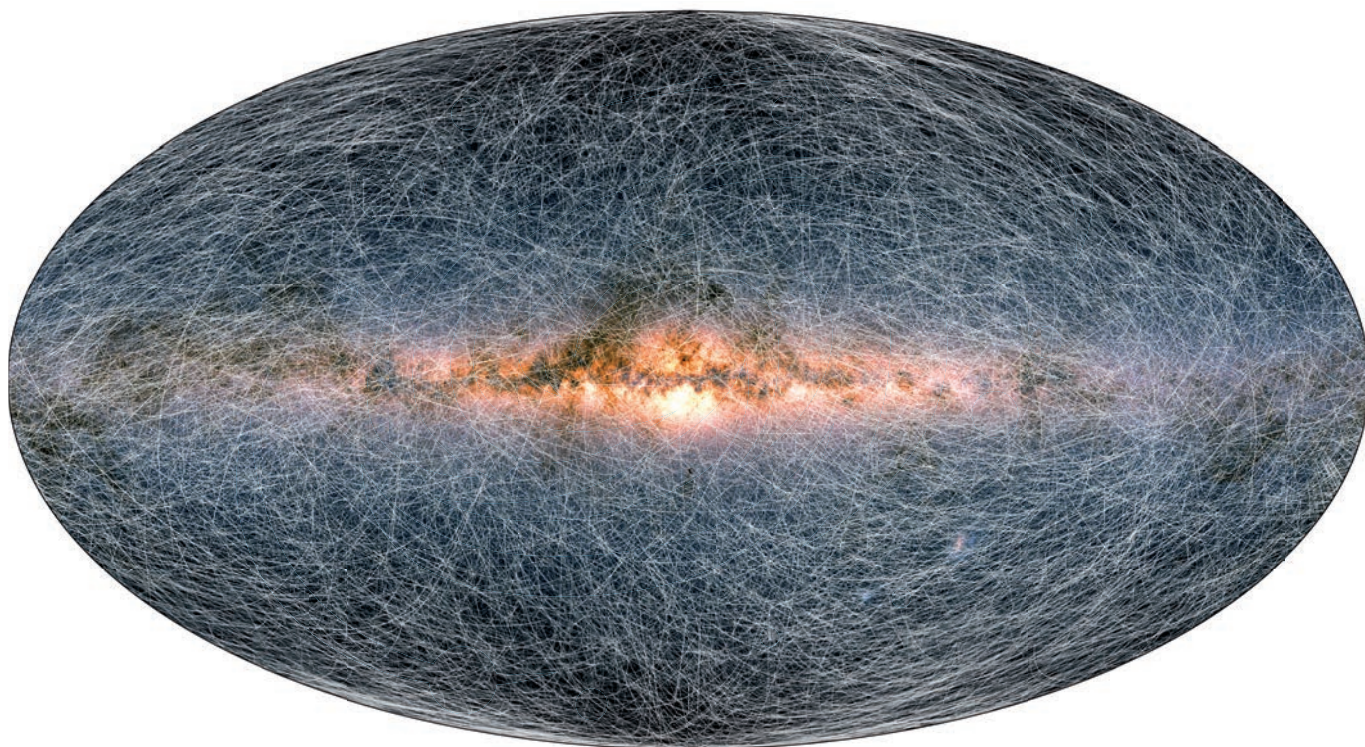
Die aus Gaia-Beobachtungen berechnete Bewegung von 40.000 Sternen über den Himmel im Laufe der nächsten 400.000 Jahre, wobei jede Spur die Bewegung eines Sterns darstellt.

Im Dezember 2020 veröffentlichte die ESA-Mission Gaia den ersten Teil des dritten Datenkatalogs (EDR3) basierend auf Daten aus einem Beobachtungszeitraum von 34 Monaten. Er umfasst genaueste Messungen der Positionen und Helligkeiten von 1,8 Milliarden Objekten am Himmel. Das AIP ist maßgeblich an der Auswertung dieser Daten beteiligt und eines der Gaia-Daten-Partnerzentren, die das gesamte Gaia-Archiv bereitstellen.

The motions of 40,000 stars across the sky over the next 400,000 years, calculated from Gaia observations. Each trail represents the movement of one star.

In December 2020, the ESA Gaia mission published the first part of its third data release (EDR3), with observations spanning a period of 34 months. It provides the most precise measurements of positions and motions of 1.8 billion objects across the sky. AIP is strongly involved in the Gaia data reduction and is one of the official Gaia Partner Data Centres that host a mirror of the complete Gaia archive.

Credits: ESA/Gaia/DPAC





*Wolfram Rosenbach, Matthias Steinmetz
und Klaus G. Strassmeier*

SEHR GEEHRTE LESERINNEN UND LESER, LIEBE HIMMELSBEGEISTERTE, DEAR READERS, DEAR SKY ENTHUSIASTS,

als wir vor zwei Jahren die Einleitung zum Zweijahresbericht 2018/19 verfassten, geschah dies im unmittelbaren Eindruck der jungen Pandemie – und wir gingen alle von einer Episode aus. Nun, zwei Jahre später, wissen wir alle: Die Episode wurde zumindest vorübergehend zur neuen Normalität. Und vieles änderte sich auch in der Wissenschaft – Videokonferenzen statt Reisen, Vorlesungen und Vorträge virtuell, Homeoffice und vieles mehr. Anderes konnte nicht geändert werden – einen Spektrographen kann man nicht virtuell im Labor zusammenbauen – und kreative Lösungen mussten gefunden werden, um dies zu ermöglichen, ohne unsere Kolleginnen und Kollegen, sei es am AIP, sei es an anderen Institutionen, zu gefährden. Im Frühjahr dann die nächste Zeitenwende, der Angriffskrieg von Putins Regime auf die Ukraine – auch das wirkte bis hinein in die Wissenschaft – von neue Existenz und Aufgabe suchenden flüchtenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus der Ukraine über die Frage, wie wissenschaftliche Kollaboration mit Forschenden in Russland (viele davon dem Regime sehr kritisch gegenüber eingestellt) in diesen Zeiten fortfahren kann. So ist das auf einem russischen

Satelliten stationierte Röntgenteleskop eROSITA, dessen Start wir in diesem Bericht vor zwei Jahren noch feiern konnten, seit dem 26.02.2022 in den Ruhezustand versetzt. Vieles ist anders als in den Jahren vor 2020 und es ist nicht absehbar, ob und, wenn ja, wann das alte Normal wieder zurückkehrt.

Aber es gibt auch Dinge, die sich nicht ändern, und an vorderster Stelle ist dies unsere Begeisterung für die Wunder des Himmels und unser unermüdliches Streben, dem Universum seine Rätsel zu entlocken. Der vorliegende Zweijahresbericht blickt auf unser Wirken der Jahre 2020 und 2021 zurück. Er präsentiert aktuelle Fragen aus der modernen Astrophysik, mit denen sich unermüdlich rund 220 Kolleginnen und Kollegen beschäftigen.

Vergessen Sie also für einen Moment die Widrigkeiten unseres irdischen Lebens und lassen Sie sich von den Wundern des Himmels verzaubern. Oder kommen Sie uns besuchen – virtuell oder im Rahmen einer unserer Veranstaltungen –, je nachdem wie es die Lage erlaubt.



Two years ago, we wrote the introduction to the Biennial Report 2018/19 against the immediate backdrop of the emerging pandemic – and we all assumed it would remain a single episode. Now, two years later, we all know that this episode became the new normal, at least temporarily. And much changed in science as well: video conferencing instead of travelling, virtual lectures and talks, working from home and much more. Other things could not be changed; a spectrograph cannot be assembled virtually in the lab, and creative solutions had to be found to make this possible without putting our colleagues at risk, whether at the AIP or at other institutions. In spring came the next turning point, the Putin regime's war of aggression on Ukraine – this also had an impact on science, from scientists fleeing Ukraine in search of a new livelihood and focus to the question of how scientific collaboration with researchers in Russia (many of whom are very critical of the regime) can continue in these times. For example, the eROSITA X-ray telescope stationed on a Russian

satellite, whose launch we were able to celebrate in this report two years ago, has been dormant since 26 February 2022. A lot has changed since 2020 and it is not foreseeable whether, and if so when, the old normal will return again.

But there are also things that do not change, and at the forefront is our enthusiasm for the wonders of the heavens and our relentless pursuit of unlocking the universe's mysteries. This Biennial Report looks back at our work in 2020 and 2021. It presents current questions in modern astrophysics that are tirelessly addressed by around 220 colleagues.

Let us forget the adversities of our earthly life for a moment and become enchanted by the wonders of the heavens. You can also come and visit us – virtually or as part of one of our events – depending on the situation.

Prof. Dr. Matthias Steinmetz

Wissenschaftlicher Vorstand
Direktor Forschungsbereich
Extragalaktische Astrophysik

Wolfram Rosenbach

Administrativer Vorstand
Direktor Administration

Prof. Dr. Klaus G. Strassmeier

Direktor Forschungsbereich
Kosmische Magnetfelder



*Das Humboldtthaus auf dem AIP-Campus
in Potsdam Babelsberg.
The Humboldtthaus on the AIP campus
in Potsdam Babelsberg.*

Das Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) erforscht den Ursprung, die Bestandteile und das Schicksal des Universums als Ganzes. Die beiden wissenschaftlichen Bereiche des AIP widmen sich den Forschungsschwerpunkten Kosmische Magnetfelder und Extragalaktische Astrophysik, zu denen jeweils drei bzw. vier Forschungsabteilungen gehören. Diese sind um den Entwicklungsschwerpunkt Forschungstechnologie und -infrastruktur mit fünf Abteilungen ergänzt, welche die F&E-Projekte des Forschungsprogramms adressieren, darunter das Zentrum für Innovationskompetenz innoFSPEC Potsdam.

Das AIP wurde 1992 als Stiftung des bürgerlichen Rechts des Landes Brandenburg gegründet. Das Institut wird zu je 50% vom Land Brandenburg und dem Bund finanziert. Es ist Nachfolger der 1700 gegründeten Berliner Sternwarte und des 1874 gegründeten Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam. Auf Grund seiner mehr als 300-jährigen Geschichte verwaltet das AIP auch ein bedeutendes wissenschaftshistorisches Erbe.

Ausgehend vom Hauptstandort auf dem Campus Babelsberg betreibt das AIP das Sonnenobservatorium Einsteinurm und den historischen Großen Refraktor auf dem Telegrafenberg, die Radioteleskopstation in Potsdam Bornim sowie vollrobotische Teleskope auf Teneriffa. Darüber hinaus entwickelt das Institut heute Forschungstechnologien für moderne Großteleskope. Computersimulationen auf Hochleistungsrechnern bilden die Basis für theoretische Arbeiten. Beobachtungsdaten werden an erdgebundenen und Weltraumteleskopen im Rahmen von nationalen und internationalen Kooperationen, oft in großen Konsortien, gesammelt.

In der Forschungslandschaft der Region ist das AIP mittels gemeinsamer Berufungen mit der Universität Potsdam, Lehraufträgen an den Universitäten in Potsdam und Berlin und der wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit regionalen Partnerinstitutionen vernetzt.

The Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP) explores the origin, components and fate of the universe as a whole. The two scientific areas of AIP are dedicated to the research priorities Cosmic Magnetic Fields and Extragalactic Astrophysics, which include three and four research sections, respectively. These are supplemented by the focal point of research Development of Research Technology and Infrastructure with five sections that address the R&D projects of the research programme, including the Centre for Innovation Competence innoFSPEC Potsdam.

AIP was founded in 1992 as a foundation under civil law of the State (Land) of Brandenburg. The institute is jointly funded (50% each) by the federal government and the State of Brandenburg. It is the successor to the Berlin Observatory, founded in 1700, and the Astrophysical Observatory Potsdam founded in 1874. Owing to its more than 300-year tradition, the AIP also maintains an extensive and significant historical scientific legacy.

From its main location on the Babelsberg campus, the AIP operates the solar observatory Einstein Tower and the historic Great Refractor on the Telegrafenberg, a radio telescope station in Potsdam Bornim, as well as fully robotic telescopes on Tenerife. Nowadays the institute also develops research technologies for modern large telescopes. Computer simulations carried out on high-performance computers provide the basis for the theoretical work of AIP. Observational data are collected at terrestrial and space telescopes within the framework of national and international collaborations, often in large consortia.

The AIP is closely linked to the region's research landscape through several joint appointments with the University of Potsdam, teaching positions at universities in Potsdam and Berlin and scientific collaborations with its regional partner institutions.

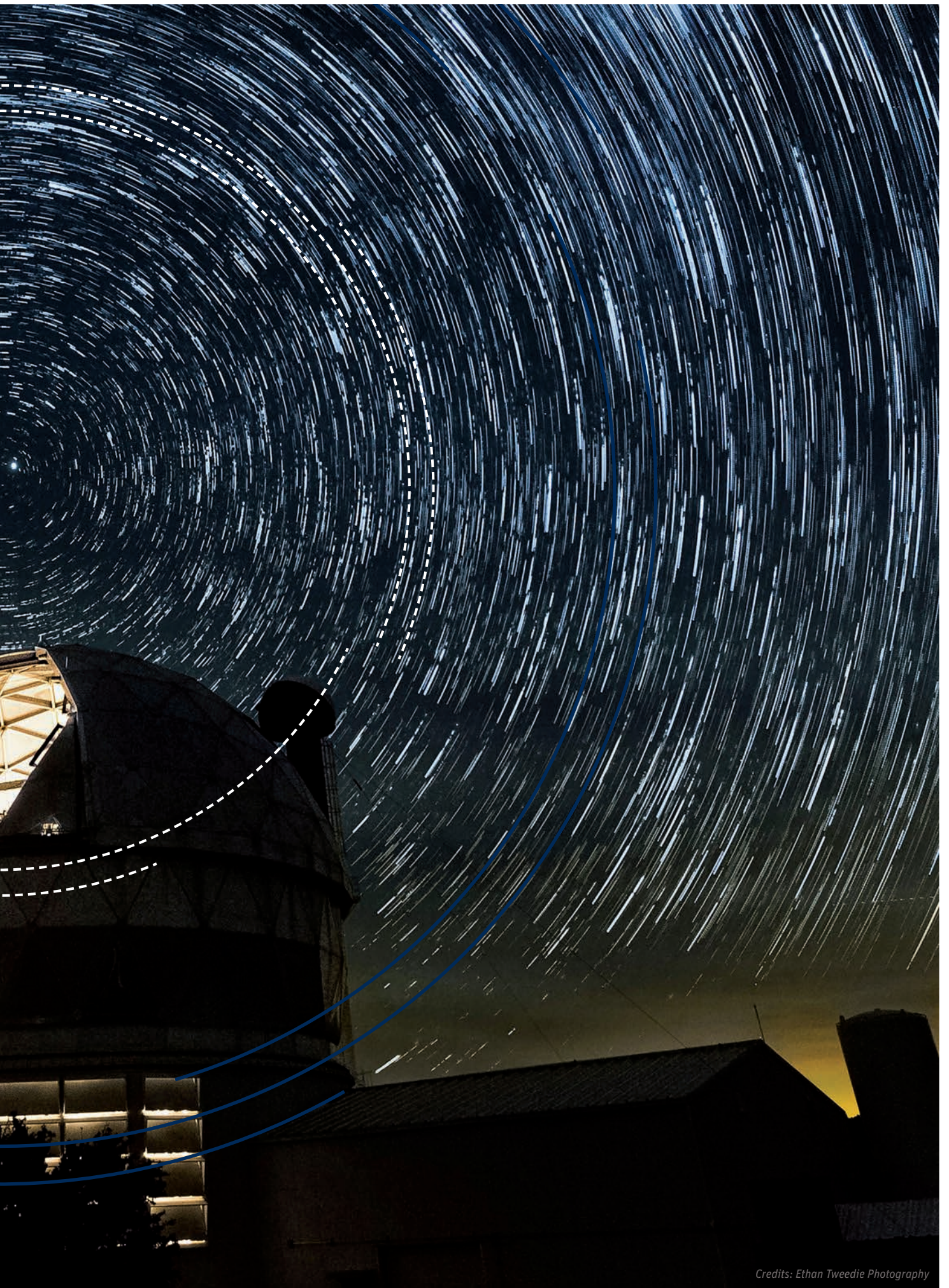
INHALT CONTENT

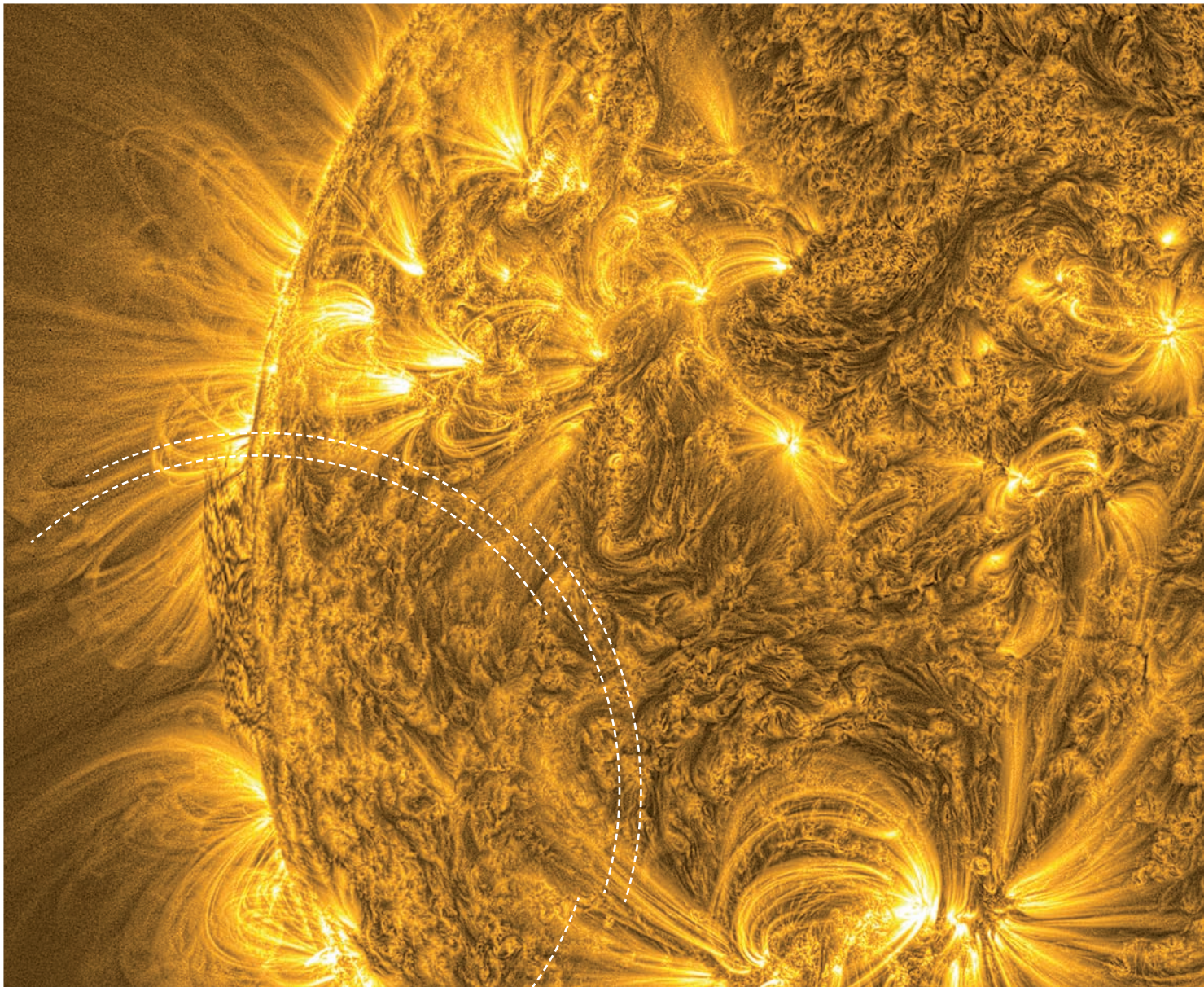
WISSENSCHAFTLICHE HIGHLIGHTS RESEARCH HIGHLIGHTS	6		
KOSMISCHE MAGNETFELDER COSMIC MAGNETIC FIELDS	8		
Magnetohydrodynamik und Turbulenz Magnetohydrodynamics and Turbulence	10		
Sonnenphysik Solar Physics	14		
Sternphysik und Exoplaneten Stellar Physics and Exoplanets	18	AIP IM ÜBERBLICK AIP AT A GLANCE	74
EXTRAGALAKTISCHE ASTROPHYSIK EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS	24	Das Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) im Überblick The Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP) at a Glance	76
Milchstraße und die lokale Umgebung Milky Way and the Local Volume	26	Campus Potsdam Babelsberg Campus Potsdam Babelsberg	78
4-metre Multi-Object Spectroscopic Telescope 4MOST 4-metre Multi-Object Spectroscopic Telescope 4MOST	30	Nachruf Obituary	89
Zwerggalaxien und der galaktische Halo Dwarf Galaxies and the Galactic Halo	32	Preise und Auszeichnungen Awards and Honours	90
Galaxien und Quasare Galaxies and Quasars	38	Geschichte des AIP History of AIP	92
Kosmologie und Hochenergie-Astrophysik Cosmology and High-Energy Astrophysics	44	Arbeiten am AIP Working at AIP	94
ENTWICKLUNG VON FORSCHUNGSTECHNOLOGIE UND -INFRASTRUKTUR DEVELOPMENT OF RESEARCH TECHNOLOGY AND INFRASTRUCTURE	50	Abgeschlossene Forschungsarbeiten Completed Research Projects	97
Teleskopsteuerung und Robotik Telescope Control and Robotics	52	Standorte Sites	98
Hochauflösende Spektroskopie und Polarimetrie High-resolution Spectroscopy and Polarimetry	56	Presse- und Öffentlichkeitsarbeit Public Relations	106
3D- und Multi-Objekt-Spektroskopie 3D and Multi Object Spectroscopy	60	ANHANG APPENDIX	110
Supercomputing und E-Science Supercomputing and E-Science	64	Institutsstruktur Institute Structure	112
innoFSPEC innoFSPEC	68	Anreise How to get to AIP	116

A long-exposure photograph of a night sky showing star trails in circular patterns. In the bottom right corner, the illuminated dome of a large astronomical telescope is visible. The text is overlaid on the lower half of the image.

WISSENSCHAFTLICHE HIGHLIGHTS

RESEARCH HIGHLIGHTS





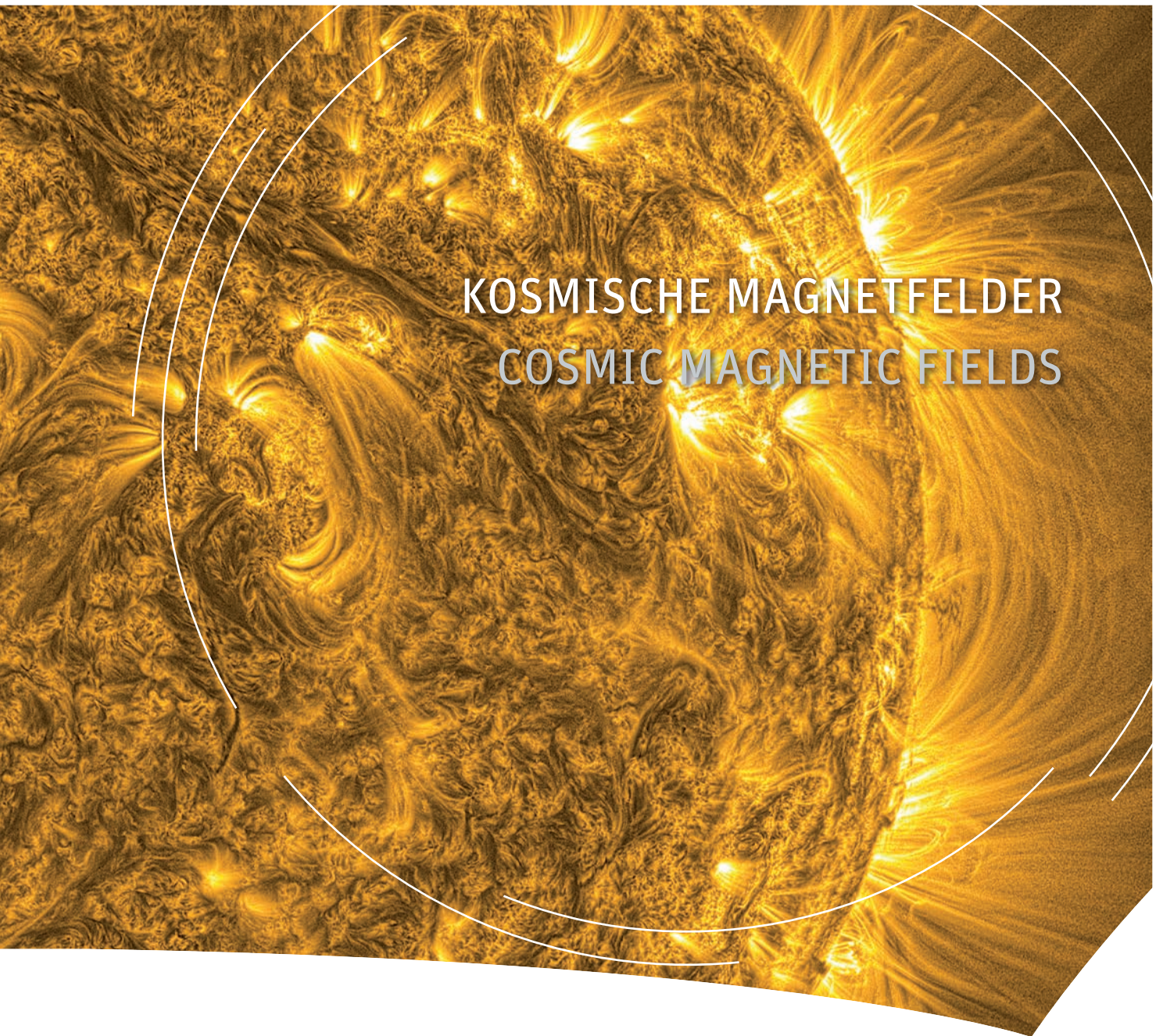
*Magnetfeldstruktur der vielen aktiven Regionen in der Sonnenkorona mit mehreren Millionen Grad heißem Plasma.
Magnetic field structure of the many active regions in the solar corona with plasma that is several million degrees hot.*

Credits: NASA/SDO/A. Diercke

Im Fokus des Forschungsbereiches Kosmische Magnetfelder steht die Erkundung solarer und stellarer Magnetfelder gemeinsam mit der Erforschung der magnetohydrodynamischen (MHD) Mechanismen, die sie erzeugen. Das Ziel ist ein umfassendes Verständnis der komplexen Zusammenhänge zwischen der Struktur der Materie und der Geometrie und Stärke von Magnetfeldern sowie deren Interaktion mit dem einschließenden astrophysikalischen Plasma. Dazu gehört auch der Einfluss des Magnetfeldes auf die Bewohnbarkeit von extrasolaren Planeten. Der Forschungsbereich verknüpft die Sonne und deren Heliosphäre, die wir detailliert beobachten können, mit anderen Sternen. Physikalische Prozesse wie Konvektion und Rotation, Turbulenz und Diffusion, Magnetfeldzerstörung und -verstärkung sowie Teilchenbeschleunigung sind dabei die Schlüsselkomponenten. Supercomputer werden für magnetohydrodynamische Simulationen, Großteleskope wie das LBT, VLT, LOFAR oder

in der Zukunft das ELT mit seinem hochauflösenden Spektrographen ANDES für die Beobachtungen verwendet. Weiterhin kommen kleinere, aber hochspezialisierte Teleskope zum Einsatz, z. B. das optische Sonnenteliskop GREGOR oder das Röntgenteliskop STIX an Bord des Solar Orbiter Satelliten sowie robotische Teleskope wie STELLA und BMK10k für Spektroskopie und bildgebende Photometrie.

Zwei technologische F&E-Abteilungen zu Robotik und hochauflösender Spektroskopie und Polarimetrie ergänzen, verbinden und fokussieren die detaillierten Fragestellungen durch die Thematiken der Verbindung zwischen unserer Sonne und anderen Sternen sowie der Beziehung zwischen Sternen und ihren Planeten.

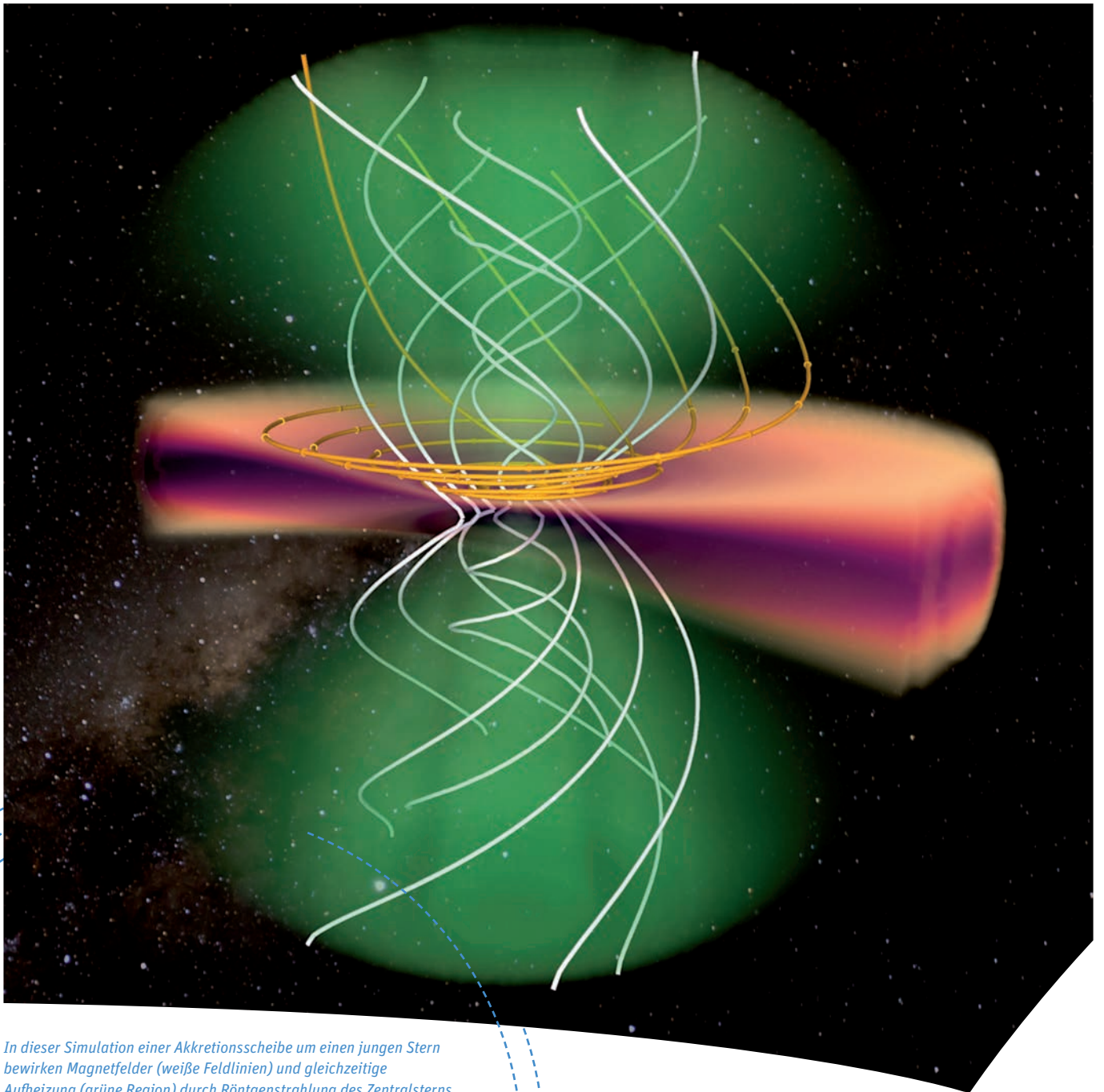


KOSMISCHE MAGNETFELDER COSMIC MAGNETIC FIELDS

The focus of the Cosmic Magnetic Fields research area lies on the exploration of solar and stellar magnetic fields, along with the magneto-hydrodynamic (MHD) mechanisms that generate them. The goal is to understand the complex relationship between the structure of matter and the geometry and strength of magnetic fields and their recoupling with the surrounding astrophysical plasma, including the effects on the habitability of exoplanets. It links the Sun and its heliosphere, seen in great detail, to other stars. The underlying processes of convection and rotation, turbulence and diffusion, magnetic field reconnection and amplification, and particle acceleration are the key physics drivers. Supercomputers are used for magneto-hydrodynamic simulations, and large telescopes such as the LBT, VLT, LOFAR, and in the future the ELT with its high-resolution spectrograph ANDES are employed, along with smaller and specialized telescopes, e.g., the

solar optical telescope GREGOR and the solar X-ray Telescope STIX on board of Solar Orbiter, or even fully robotic telescopes like STELLA and BMK10k for spectroscopy and imaging photometry.

Supported by two R&D sections on robotics and high-resolution spectroscopy and polarimetry above topics are connected by the joint themes of the solar-stellar connection and relations between stars and their planets.



In dieser Simulation einer Akkretionsscheibe um einen jungen Stern bewirken Magnetfelder (weiße Feldlinien) und gleichzeitige Aufheizung (grüne Region) durch Röntgenstrahlung des Zentralsterns einen Scheibenwind (gelbe Strömungslinien), der die Scheibe und die Entstehung von Planeten beeinflussen kann.

In this simulation of an accretion disk around a young star, magnetic fields (white field lines) and simultaneous heating (green region) by X-rays from the central star cause a disk wind (yellow flow lines), which can affect the disk and the formation of planets.

Credits: AIP/E. Sarafidou, O. Gressel; Hintergrund: AIP/A. Saviuk

MAGNETOHYDRODYNAMIK UND TURBULENZ

MAGNETOHYDRODYNAMICS AND TURBULENCE

Magnetfelder durchdringen das Universum, denn der Großteil der baryonischen Materie befindet sich im Plasmazustand mit Ionen und freien Elektronen. Chaotische Strömungen verstärken Magnetfelder durch die Umwandlung von Bewegung in magnetische Energie, ähnlich zu den aus der Technik bekannten Dynamomaschinen. Diese Prozesse wirken in der Erde, anderen Planeten, der Sonne, in Sternen und Galaxien. Um sie zu erklären, werden solare und stellare Konvektion sowie interstellare Turbulenz mit numerischen magnetohydrodynamischen Simulationen untersucht.

SOLARE UND STELLARE KONVEKTION

Sterne setzen Energie durch Kernfusion frei. In solchen mit geringer Masse wird diese durch Strahlung bis zu einem bestimmten Radius nach außen transportiert. Danach setzt die Konvektion ein, was bedeutet, dass heißes Gas nach oben steigt und kühles nach unten sinkt. Ihre Hauptfunktion ist zwar der Energietransport, aber die Konvektion wirkt sich auch auf die Sternentwicklung aus und ist ein wesentlicher Bestandteil des Dynamos, der die Sternaktivität antreibt. Um diese Phänomene zu verstehen, muss untersucht werden, wie die Corioliskraft die Konvektion selbst beeinflusst, die Gasbewegungen ablenkt und so differentielle Rotation treibt. Simulationen mit dem NIRVANA-Code zeigen, dass Magnetfelder den Drehimpuls transport beeinflussen. In der Sonne ist dieser Transport auf den Äquator gerichtet, der dadurch schneller rotiert als die Polkappen. Das Magnetfeld verringert diesen Effekt. Mit der Variation der Feldstärke im Laufe des Sonnenaktivitätszyklus variiert auch die differentielle Rotation. Sie ist etwas schwächer, wenn das Feld am stärksten ist.

DYNAMO UNTER DEM EINFLUSS VON KOSMISCHER STRAHLUNG

Kosmische Strahlung liefert einen signifikanten Beitrag zur Energiebilanz im interstellaren Medium. In numerischen Simulationen analysierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Einfluss von kosmischer Strahlung auf den damit verbundenen Dynamo. Die Eigenschaften der Turbulenz auf den Induktionsprozess wurden mit der sogenannten Testfeldmethode bestimmt. Ein Vergleich der direkten Simulation mit einfachen Dynamo-Modellen erlaubt die Interpretation der turbulenten Induktionsprozesse. Dabei zeigte sich ein von Karl-Heinz Rädler (1935–2020) vorhergesagter Prozess anisotroper turbulenter Diffusion als Treiber für den Dynamo. Ursache dafür ist die anisotrope Diffusion der kosmischen Strahlung entlang des Magnetfeldes.



Rainer Arlt, Oliver Gressel, Udo Ziegler, Laurene Jouve, Manfred Küker, Detlef Elstner, Eleftheria Sarafidou

CHEMISCHE ENTWICKLUNG IN GESCHOCKTEN GASWOLKEN

Schockwellen sind weit verbreitet im interstellaren Medium und ursächlich mitverantwortlich für dessen räumliche Struktur. Die Interaktion einer solchen Schockwelle mit einer interstellaren Gaswolke stellt einen hochgradig komplexen Vorgang dar. Das geschockte Gas der Wolke wird komprimiert und aufgeheizt, was eine Abfolge chemischer Reaktionen in Gang setzt. Dadurch verändert sich u. a. die ursprüngliche chemische Zusammensetzung der Wolke. Fortwährende Wechselwirkungen zwischen Schocks und weitere Gasverdichtung innerhalb der entstehenden Wolkenstruktur treiben dessen chemische Entwicklung weiter an. Von besonderer Bedeutung ist dabei das Vorhandensein von Molekülen wie H_2 , CO , H_2O oder O_2 , da diese wesentlich zur Gaskühlung bei höheren Dichten beitragen und damit die Entstehung von Stern-Vorstufen fördern. Die dynamische chemische Zusammensetzung in geschockten Gaswolken wurde mit dem am AIP entwickelten NIRVANA-Code simuliert, der neben numerischen Verfahren zur Selbstgravitation auf adaptiven Gittern auch ein umfangreiches chemisches Netzwerk implementiert.

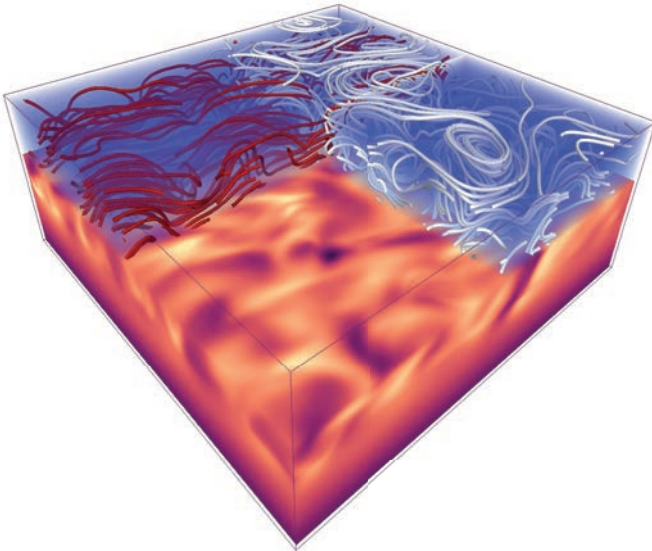
PLANETENBILDENDE ZIRKUMSTELLARE SCHEIBEN

Protoplanetare Scheiben sind rotierende Scheiben aus Gas und Staub, die junge Sterne umgeben. Man geht davon aus, dass sie die Umgebung sind, in der sich Planeten, ihre Satelliten, Kometen und Asteroiden in einem Zeitraum von mehreren Millionen Jahren bilden. Die Entwicklung der Scheiben wird durch Massenverlust in Form von Winden vorangetrieben. Auch Photoverdampfung durch hochenergetische Strahlung spielt in den letzten Phasen der Dispersion der Scheiben eine Rolle. Die Struktur dieser Scheiben kann einzigartige Erkenntnisse darüber liefern, wie ihre Bedingungen die Eigenschaften der Planeten, die sie formen, beeinflussen. Die Beobachtung



TEAM Rainer Arlt, Detlef Elstner, Oliver Gressel (head), Manfred Küker, Günther Rüdiger, Eleftheria Sarafidou, Manfred Schultz, Yusuf Taufique, Iva Vilović, Udo Ziegler

des Streulichts und der thermischen Kontinuumsemission lassen auf den Zustand und die Verteilung der Festkörper in der Scheibe schließen. Die Beobachtung der Spektrallinien gibt Aufschluss über die Eigenschaften des Gases selbst. Mit der Weiterentwicklung der Technologie besteht die Hoffnung, dass die Rätsel der Planetenentstehung und -entwicklung durch eine Kombination von Beobachtungen und Berechnungen endlich gelöst werden können.



Magneto-hydrodynamische Simulation der thermischen Konvektion im Inneren eines Sterns. Die Sternrotation bedingt systematische Verwirbelungen (sichtbar in den weißen Strömungslinien), die ihrerseits Magnetfelder (rote Feldlinien) verzwirbeln und damit verstärken können.

Magneto-hydrodynamic simulation of thermal convection inside a star. The star's rotation causes systematic swirls (visible in the white flow lines), which in turn can twist magnetic fields (red field lines) and thus amplify them.

Credits: AIP/M. Küker, O. Gressel

Magnetic fields permeate the universe as the majority of baryonic matter is in the plasma state with ions and free electrons. Chaotic flows enable the amplification of magnetic fields by converting motion into magnetic energy, similar to the dynamo machines known from engineering. Such processes operate in the Earth, other planets, the Sun, stars and galaxies. Their explanation is a challenging problem. To this end, solar and stellar convection as well as interstellar turbulence are studied with numerical magneto-hydrodynamic simulations.

SOLAR AND STELLAR CONVECTION

In the cores of stars, energy is released by nuclear fusion. In low-mass stars, that energy is transported outwards by radiation up to a certain radius, where convection sets in. That means that hot gas rises and cool gas sinks down. While its main function is energy transport, convection also has an impact on stellar evolution and is a vital ingredient in the dynamo that drives stellar activity. To understand these phenomena, it is necessary to study how convection is affected by the Coriolis force that deflects the gas motions and drives a

differential rotation. It also causes helical gas motions, which are vital for the generation of large-scale magnetic fields. Simulations using the NIRVANA code show that the magnetic field impacts angular momentum transport. In the Sun, this transport is directed towards the equator, which consequently rotates more rapidly than the polar caps. The magnetic field reduces this effect. The differential rotation thus follows the variation of the field strength over the solar activity cycle; it is slightly weaker when the field is strongest.

DYNAMO UNDER THE INFLUENCE OF COSMIC RAYS

Cosmic rays provide a significant contribution to the energy balance in the interstellar medium. Researchers performed numerical simulations to analyse the influence of cosmic rays onto the dynamo in the interstellar medium. The impact of turbulence onto the induction process is determined using the so-called test-field method. A comparison of direct simulations with simple dynamo models allows a detailed interpretation of turbulent induction processes. Anisotropic turbulent diffusion predicted by Karl-Heinz Rädler (1935–2020) was shown to be the driver for the dynamo. This is itself caused by the anisotropic diffusion of cosmic rays along the magnetic field.



Magneto-hydrodynamische Simulation des turbulenten interstellaren Mediums mit sichtbaren blasenförmigen Schockfronten von Supernova-Überresten.

Magneto-hydrodynamic simulation of the turbulent interstellar medium with visible bubble-like shock fronts from supernova remnants.

Credits: AIP/O. Gressel

CHEMICAL EVOLUTION IN SHOCKED GAS CLOUDS

Shock waves are widespread in the interstellar medium and are causally responsible for its spatial structure. The interaction of such a shock wave with an interstellar gas cloud is a highly complex process. The gas of the cloud is compressed and heated, which starts a sequence of chemical reactions. This changes the original chemical composition of the cloud. Continuing interactions between shocks and further gas compression within the cloud structure that is formed further drive its chemical evolution. Of particular importance is the presence of molecules such as H₂, CO, H₂O or O₂, as they can contribute significantly to the gas cooling at higher densities and thus promote the formation of precursors to stars. The dynamical chemical composition in shocked gas clouds was simulated using the NIRVANA code developed at AIP, which implements numerical methods for self-gravity on adaptive grids as well as an extensive chemical network.

PLANET-FORMING CIRCUMSTELLAR DISKS

Protoplanetary disks are rotating disks of gas and dust that surround young stars. They are considered to be the environments where planets, their satellites, comets and asteroids form over a timescale of several million years. Disk evolution is driven by mass loss in the form of winds; photo-evaporation from high-energy radiation likely dominates the final stages of disk dispersal. The structure of these disks can offer unique insights on how their conditions affect the properties of the planets that they shape. Observing the scattered light and the thermal continuum emission helps to provide information regarding the condition and distribution of solids. Observing the spectral line emission gives an insight to the properties of the gas itself. As technology evolves, there is hope that with a combination of observational and computational efforts the mysteries of the planet formation and evolution will finally be answered.



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN SELECTED PUBLICATIONS

Arlt, R., Vaquero, J. M. (2020): **Historical sunspot records**, Living Reviews in Solar Physics, 17, 1

Carrasco, V. M. S., Gallego, M. C., Arlt, R., Vaquero, J. M. (2020): **On the Use of Naked-eye Sunspot Observations during the Maunder Minimum**, The Astrophysical Journal, 904, 60

Gressel, O., Elstner, D. (2020): **On the spatial and temporal non-locality of dynamo mean-field effects in supersonic interstellar turbulence**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 494, 1180

Gressel, O., Ramsey, J. P., Brinch, C., Nelson, R. P., Turner, N. J., Bruderer, S. (2020): **Global Hydromagnetic Simulations of Protoplanetary Disks with Stellar Irradiation and Simplified Thermochemistry**, The Astrophysical Journal, 896, 126

Rüdiger, G., Küker, M., Käpylä, P. J. (2020): **Electrodynamics of turbulent fluids with fluctuating electric conductivity**, Journal of Plasma Physics, 86

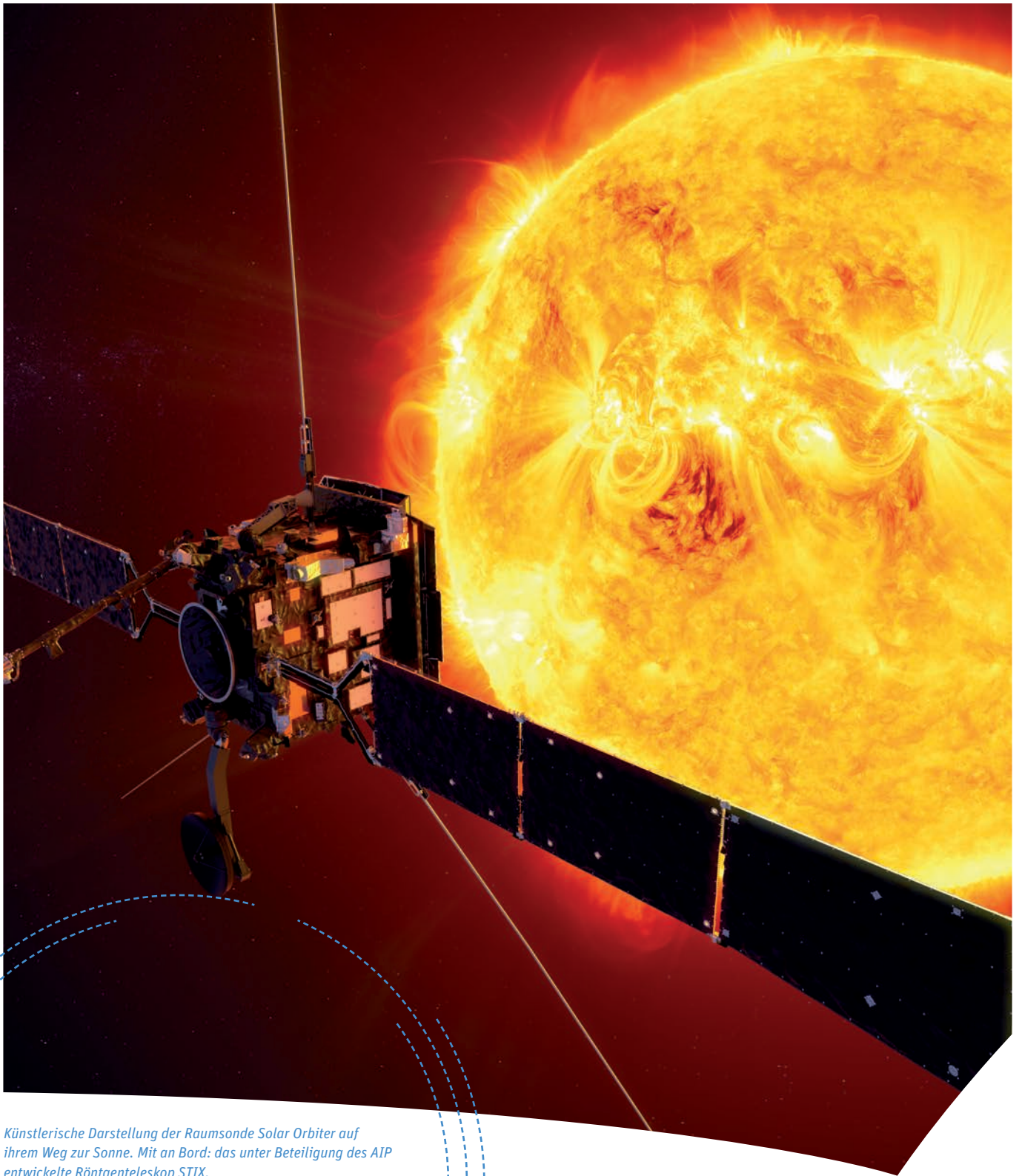
Cheng, G.-C., Ni, L., Chen, Y.-J., Ziegler, U., Lin, J. (2021): **The Ellerman bomb and ultraviolet burst triggered successively by an emerging magnetic flux rope**, Research in Astronomy & Astrophysics, 21, 229

Bendre, A. B., Elstner, D., Gressel, O. (2021): **On the combined role of cosmic rays and supernova-driven turbulence for galactic dynamos**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 500, 3527

Vokhmyanin, M., Arlt, R., Zolotova, N. (2021): **Sunspot Positions and Areas from Observations by Cigoli, Galilei, Cologna, Scheiner, and Colonna in 1612 - 1614**, Solar Physics, 296, 4

Rüdiger, G., Küker, M. (2021): **Angular momentum transport by magnetoconvection and the magnetic modulation of the solar differential rotation**, Astronomy & Astrophysics, 649, A173

Rüdiger, G., Schultz, M., Hollerbach, R. (2021): **Destabilization of super-rotating Taylor-Couette flows by current-free helical magnetic fields**, Journal of Plasma Physics, 87



Künstlerische Darstellung der Raumsonde Solar Orbiter auf ihrem Weg zur Sonne. Mit an Bord: das unter Beteiligung des AIP entwickelte Röntgenteleskop STIX.

Artist's impression of the Solar Orbiter spacecraft on its way to the Sun. On board: the X-ray telescope STIX, which was developed in collaboration with AIP.

Credits: ESA/ATG Medialab

SONNENPHYSIK SOLAR PHYSICS

Solare Magnetfelder besitzen eine komplexe räumliche Anordnung und sind untrennbar mit Plasmaprozessen verbunden. Die neueste Generation von bodengestützten Teleskopen und Weltraummissionen kann diese Eigenschaften entschlüsseln. Die Sonnenphysik am AIP konzentriert sich auf die zugrundeliegenden Prozesse der Konvektion und Rotation, der Turbulenz, der Magnetfelderzeugung und -verstärkung sowie der Teilchenbeschleunigung.

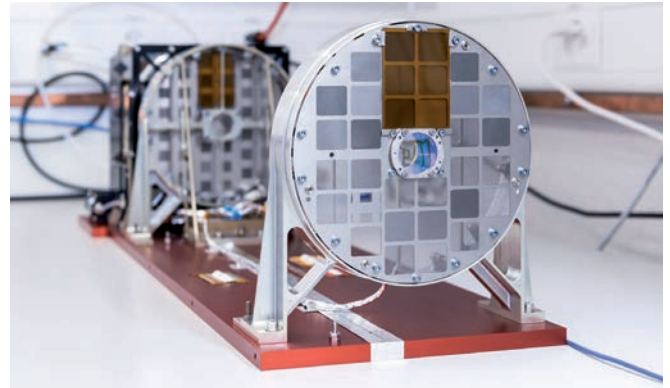
DYNAMIK UND FEINSTRUKTUR DER PHOTOSPHÄRE UND CHROMOSPÄRE

Eigens entwickelte und betriebene Instrumente für hochauflösende Sonnenbeobachtungen verfolgen die Sonnenaktivität von der Sonnenoberfläche über die Atmosphäre bis hin zu ihren Auswirkungen auf die innere Heliosphäre. Das allgemeine wissenschaftliche Thema ist der grundlegende Prozess der Wechselwirkung zwischen Plasmabewegungen und Magnetfeldern, beispielsweise in hochdynamischen, kleinräumigen Wirbelströmungen. Die Entwicklung solarer aktiver Gebiete wird genau verfolgt, insbesondere untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Rolle elektrischer Ströme, um Strahlungsausbrüche und koronale Massenauswürfe besser zu verstehen. Dies erfordert hochauflösende Aufnahmen von Sonnenflecken während der besten Beobachtungsbedingungen mit dem GREGOR-Sonnenteleskop, die die gesamte Lebensdauer von der Entstehung bis zum Zerfall der Sonnenflecken abdecken. Diese dynamische und magnetische Umgebung ändert sich mit der Zeit und erzeugt eine Vielzahl von chromosphärischen Strukturen, von Minifilamenten über Bogenfilamente und Filamente der aktiven Region bis hin zu Riesenfilamenten, die sich in den zerfetzten Magnetfeldern zerfallener aktiver Gebiete befinden.

START VON SOLAR ORBITER UND ERSTES LICHT FÜR STIX

Das Jahr 2020 war ein Höhepunkt für die europäische Sonnenphysik: Am 10. Februar startete die ESA-Mission Solar Orbiter von Cape Canaveral aus. Die Raumsonde wird sich der Sonne bis auf 42 Millionen Kilometer nähern, um mit zehn Instrumenten an Bord neue Erkenntnisse über die Sonnenaktivität und den Einfluss der Sonne auf unser Planetensystem zu gewinnen. Das AIP ist seit mehr als zehn Jahren Partner dieser Mission. Neben Beiträgen zum Energetic Particle Detector (EPD) war es maßgeblich an der Entwicklung und dem Bau des Spectrometer/Telescope for Imaging X-rays (STIX) beteiligt. Nach dem Start nahmen alle Instrumente erfolgreich ihre Arbeit auf. STIX beobachtete bereits Hunderte von Sonneneruptionen, und die Qualität der zu Beginn der Mission gewonnenen Beobachtungen verspricht hervorragende Daten für die eigentliche wissenschaftliche Phase, die im Jahr 2022 beginnt. Neben der

Erfassung von Röntgendaten leistete das optische System von STIX, das vom AIP entwickelt und betrieben wird, weitere wertvolle Beiträge zur Mission. Dieses System misst die Orientierung des Teleskops relativ zur Sonne, was wesentlich zur Verbesserung der Ausrichtungsstabilität von Solar Orbiter beiträgt, wovon alle anderen Instrumente profitieren.



Flugmodell des Röntgenteleskops STIX. Die Metallgitter dienen zur räumlichen Abbildung der Röntgenquellen. Die Linse im Zentrum des vorderen Gitters ist Teil des optischen Systems, das die Ausrichtung des Teleskops relativ zur Sonne misst.

Flight model of the STIX X-ray telescope. The metal grids are used for spatial imaging of the X-ray sources. The lens in the centre of the front grid is part of the optical system which measures the pointing of the telescope relative to the Sun.

Credits: AIP/H. Önel

ERUPTIVE EREIGNISSE AM ÜBERGANG ZWISCHEN KORONA UND HELIOSPHÄRE

Die Sonne produziert eine große Anzahl energetischer Teilchen (Elektronen, Protonen und schwere Ionen), die als solare kosmische Strahlung bekannt sind. Diese energiereichen Teilchen werden in Strahlungsausbrüchen erzeugt und teilweise in Teilchen mit hoher kinetischer Energie umgewandelt und als koronale Massenauswürfe (CMEs) freigesetzt. Das internationale Radioteleskop LOw Frequency ARray (LOFAR) überwacht Radiobursts vom Typ II, die typische solare Signatur für CMEs. Die Forschung konzentriert sich auf Plasmaprozesse im Zusammenhang mit kleinen und großen zeitlichen und räumlichen magnetischen Skalen. Da auf der Sonne Bedingungen herrschen, die auf der Erde nicht erzeugt werden können, sind die Aktivitätsprozesse von besonderem Interesse für die Plasmaphysik. Mit der LOFAR-Station in Potsdam Bornim beteiligt sich das AIP am Internationalen LOFAR-Teleskop. LOFAR-Beobachtungen der Sonnenkorona während der Periheldurchgänge der Parker Solar Probe bereichern auch das wissenschaftliche Programm der Mission an der Schnittstelle von Korona und Heliosphäre. So trägt beispielsweise die Untersuchung der Struktur koronaler Löcher dazu bei, den Ursprung des jungen Sonnenwindes zu ermitteln.

TEAM



Özgün Adebali, Kurt Arlt, Horst Balthasar, Malte Bröse, Carsten Denker (head), Andrea Diercke, Ekaterina Dineva, Axel Hofmann, Stefan Hofmeister, Robert Kamlah, Ioannis Kontogiannis, Christoph Kuckein, Doris Lehmann, Gottfried Mann, Partha S. Pal, Jürgen Rendtel, Frédéric Schuller, Jürgen Staudé, Senthamizh Pavaï Valliappan, Meetu Verma, Christian Vocks, Alexander Warmuth, Aneta Wiśniewska, Yihong Wu



Doris Lehmann, Frédéric Schuller, Aneta Wiśniewska, Jürgen Rendtel, Meetu Verma, Horst Balthasar, Yihong Wu, Ioannis Kontogiannis, Ekaterina Dineva, Olena Podladchikova, Özgün Adebali, Christian Vocks, Robert Kamlah, Stefan Hofmeister, Gottfried Mann, Malte Bröse, Alexander Warmuth, Carsten Denker

Solar magnetic fields have a complex topology and an inseparable relationship with plasma processes. The latest generation of ground-based telescopes and space missions can unravel these characteristics. Solar physics at AIP focuses on the underlying processes of convection and rotation, turbulence, magnetic field generation and amplification, and particle acceleration.

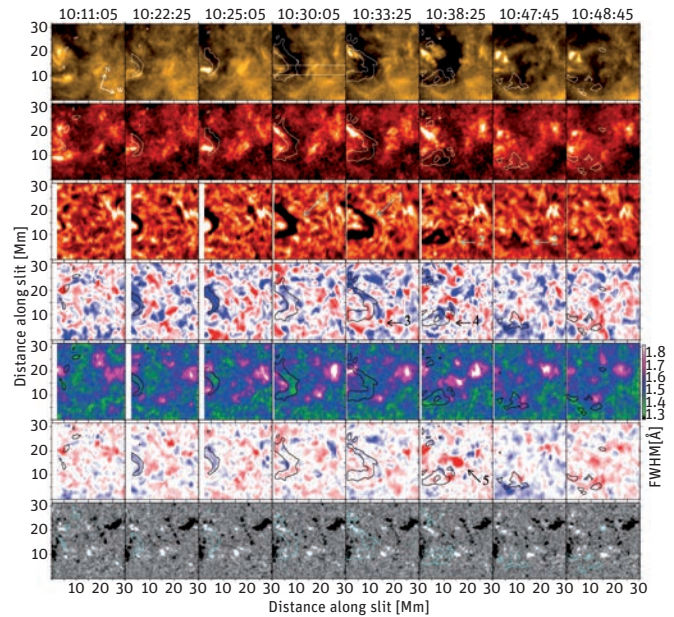
DYNAMICS AND FINE STRUCTURE OF THE PHOTOSPHERE AND CHROMOSPHERE

Instruments for high-resolution solar observations, developed and operated by AIP, trace solar activity from the Sun's surface through its atmosphere to its impacts on the inner heliosphere. The general scientific topic is the fundamental process of the interaction between plasma motions and magnetic fields, for instance in highly dynamic, small-scale vortex flows. The evolution of solar active regions is closely followed, in particular, the role of electric currents is scrutinized, to better understand flares and coronal mass ejections (CMEs). This requires high-resolution observations of sun-spots, during the best seeing conditions with the GREGOR solar telescope, covering their entire lifetime from flux emergence to decay. This dynamic and magnetic environment changes with time, producing a variety of chromospheric structures from mini filaments, arch filament systems and active region filaments, to giant filaments, which reside in the shredded magnetically decayed active regions.

LAUNCH OF SOLAR ORBITER AND FIRST LIGHT FOR STIX

The year 2020 was a highlight for European solar physics: on 10 February, ESA's Solar Orbiter mission began its journey from Cape Canaveral. With ten instruments on board, the spacecraft will approach the Sun as close as 42 million kilometres to gain new insights into solar activity and the Sun's influence on our planetary system. AIP researchers have been part of this mission for more than ten years. In addition to participating in the Energetic Particle Detector (EPD), they significantly contributed to the development and construction of the Spectrometer/Telescope for Imaging

X-rays (STIX). After launch, with all instruments commissioned successfully, STIX has already observed hundreds of solar flares, and the quality of data acquired early in the mission promises excellent observations for the actual science phase, which began in 2022. In addition to collecting X-ray data, the STIX optical aspect system, developed and operated by AIP, made other valuable contributions to the mission. The system measures the telescope's orientation relative to the Sun, which significantly helped to improve Solar Orbiter's pointing stability, thus benefiting all other instruments.



Zeitliche Entwicklung der Eruption eines kleinen Filaments auf der Sonne, welches in verschiedenen Wellenlängen mit SDO/HMI, SDO/AIA und dem VTT Echelle-Spektrographen beobachtet wurde.

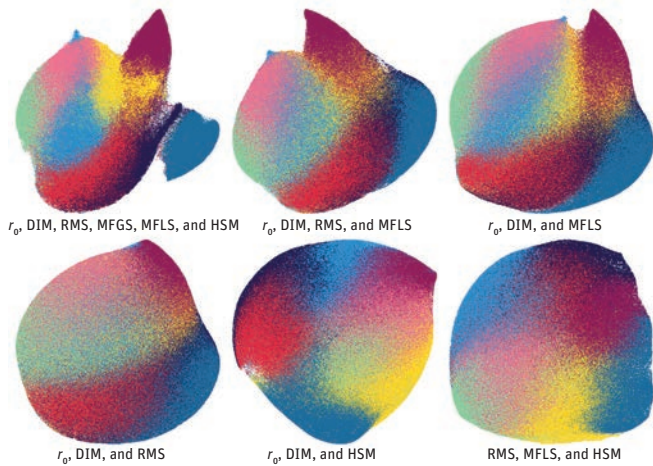
Temporal evolution of a mini filament eruption on the Sun, observed in different spectral regions with SDO/HMI, SDO/AIA and the VTT Echelle spectrograph.

Credits: AIP/I. Kontogiannis

TRANSIENT EVENTS AT THE CORONA HELIOSPHERE INTERFACE

The Sun produces a large number of energetic particles (electrons, protons, and heavy ions) better known as solar cosmic rays. These energetic particles are generated during flares and partly transferred to particles with high kinetic energies and released as coronal mass ejections (CME). The international radio telescope LOw Frequency ARray (LOFAR) monitors Type II radio bursts, which are the typical solar signature for CMEs. The research focuses on plasma processes related to small and large temporal and spatial magnetic scales. Since conditions prevail on the Sun that cannot be produced on Earth, the activity processes are of special interest for plasma physics. AIP participates in the International LOFAR Telescope via the LOFAR station in Potsdam Bornim. LOFAR observations of the solar corona during perihelion transits of the Parker Solar Probe also enhance the mission's science programme at the interface of corona and heliosphere. For example, investigating the structure of coronal holes contributes to identifying the origins of the young solar wind.

16-07-2016 17-07-2016 19-07-2016 24-07-2016 25-07-2016 27-07-2016 01-08-2016 02-08-2016



Diese zweidimensionalen Karten wurden mit dem UMAP Algorithmus für maschinelles Lernen berechnet. Sie zeigen verschiedene Kombinationen von Seeing-Parametern und Bildqualitätsmetriken für acht Beobachtungstage. Der Farbcode für die Beobachtungstage wird oben angezeigt.

Two-dimensional projections generated with the UMAP algorithm for machine learning. They show different combinations of seeing parameters and image quality metrics for eight observing days. The colour code for the observing days is displayed at the top.

Credits: AIP/R. Kamlah



Der Beginn einer langen Reise: Start von Solar Orbiter auf einer Atlas-V-Trägerrakete von Cape Canaveral aus.

The beginning of a long journey: launch of Solar Orbiter on an Atlas V launch vehicle from Cape Canaveral.

Credits: NASA



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN SELECTED PUBLICATIONS

Rodríguez-Pacheco, J. et al. (2020): **The Energetic Particle Detector**, *Astronomy & Astrophysics*, 642, A7

Krucker, S. et al. (2020): **The Spectrometer/Telescope for Imaging X-rays (STIX)**, *Astronomy & Astrophysics*, 642, A15

Warmuth, A., Mann, G. (2020): **Thermal-nonthermal energy partition in solar flares derived from X-ray, EUV, and bolometric observations**, *Astronomy & Astrophysics*, 644, A172

Kontogiannis, I., Tsiropoula, G., Tziotziou, K., Gontikakis, C., Kuckein, C., Verma, M., Denker, C. (2020): **Emergence of small-scale magnetic flux in the quiet Sun**, *Astronomy & Astrophysics*, 633, A67

Dineva, E., Verma, M., González Manrique, S. J., Schwartz, P., Denker, C. (2020): **Cloud model inversions of strong chromospheric absorption lines using principal component analysis**, *Astronomische Nachrichten*, 341, 64

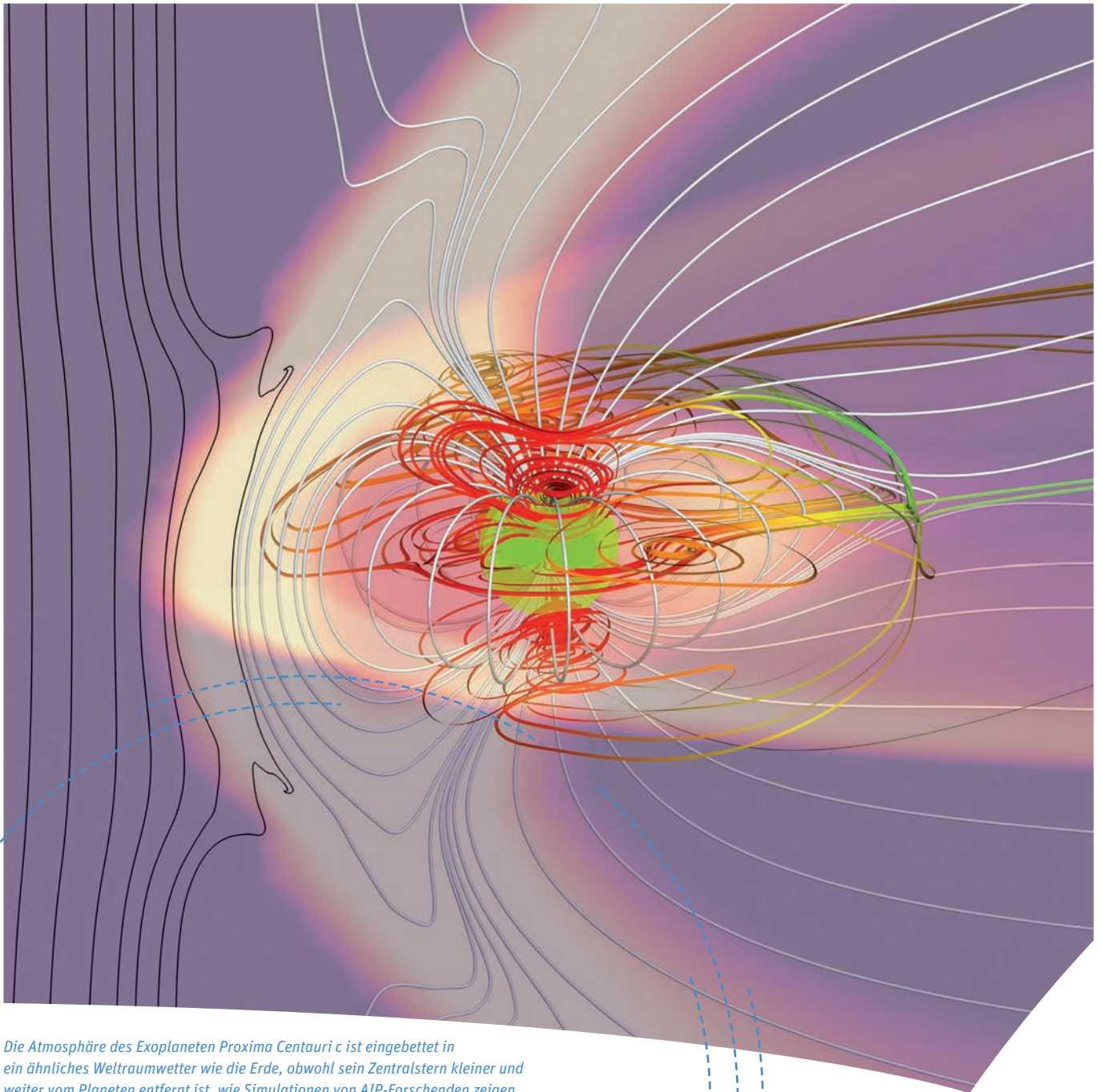
Verma, M. et al. (2021): **Classification of High-resolution Solar Ha Spectra Using t-distributed Stochastic Neighbor Embedding**, *The Astrophysical Journal*, 907, 54

Kuckein, C. et al. (2021): **Multiple Stokes I inversions for inferring magnetic fields in the spectral range around Cr I 5782 Å**, *Astronomy & Astrophysics*, 653, A165

Wu, Y. et al. (2021): **On the Origin of Hard X-Ray Emissions from the Behind-the-limb Flare on 2014 September 1**, *The Astrophysical Journal*, 909, 163

Kamlah, R., Verma, M., Diercke, A., Denker, C. (2021): **Wavelength Dependence of Image Quality Metrics and Seeing Parameters and Their Relation to Adaptive Optics Performance**, *Solar Physics*, 296, 2

Warmuth, A. et al. (2020): **The STIX Aspect System (SAS): The Optical Aspect System of the Spectrometer/Telescope for Imaging X-Rays (STIX) on Solar Orbiter**, *Solar Physics*, 295, 7



Die Atmosphäre des Exoplaneten Proxima Centauri c ist eingebettet in ein ähnliches Weltraumwetter wie die Erde, obwohl sein Zentralstern kleiner und weiter vom Planeten entfernt ist, wie Simulationen von AIP-Forschenden zeigen. Die farbigen Linien zeigen beispielhafte Trajektorien von Teilchen in der Magnetosphäre des Planeten, der vom Wind des Sterns (links außerhalb des Bildes) umweht wird.

The atmosphere of the exoplanet Proxima Centauri c is embedded in a similar space weather environment as the Earth experiences, even though its host star is smaller and farther away, as simulations by AIP scientists show. The coloured lines show examples for trajectories of particles in the magnetosphere of the planet, which is enveloped by the wind of the star (outside the image on the left).

Credits: AIP/J. Alvarado-Gómez

STERNPHYSIK UND EXOPLANETEN

STELLAR PHYSICS AND EXOPLANETS

Exoplaneten und ihre Zentralsterne beeinflussen sich gegenseitig und sollten deshalb zusammen betrachtet werden, um ihre Eigenschaften korrekt verstehen zu können. Exoplaneten, insbesondere solche in engen Umlaufbahnen, wechselwirken mit ihren Zentralgestirnen durch Gezeitenkräfte und Magnetfelder. Sonnen heizen die Atmosphären ihrer Exoplaneten durch energiereiche Photonen auf, wodurch sich diese über ihre Lebenszeit stark verändern können. Eine Kombination von Beobachtungen und Simulationen am AIP untersucht dieses Zusammenspiel von Sternen und Exoplaneten.

PLANETEN IM RÖNTGENLICHT

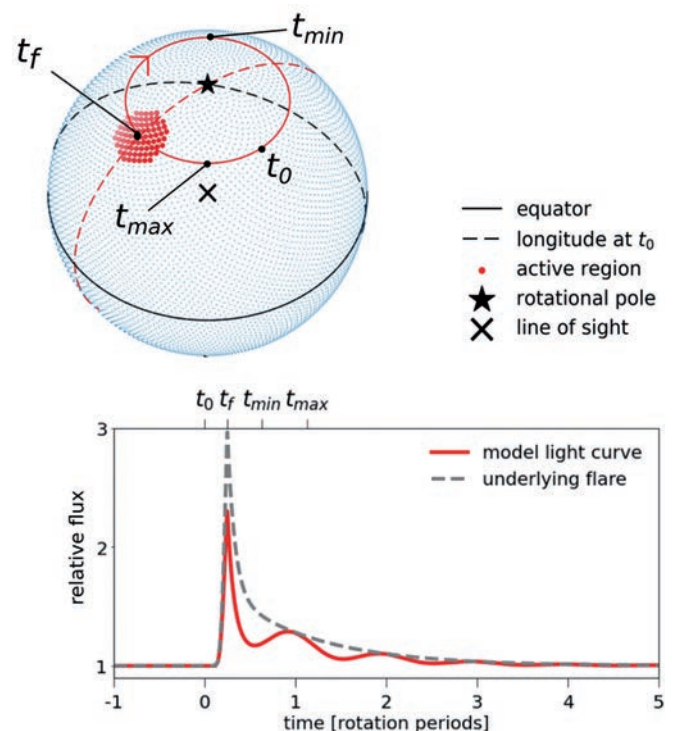
Röntgenstrahlung von Sternen erhitzt die oberen Atmosphärenschichten von Exoplaneten, so dass diese sich ausdehnen und ins All verkochen können. Dieser Effekt ist für Planeten, die ihre Sterne in Umlaufbahnen von nur einigen Tagen umkreisen, besonders stark. Um den Massenverlust der Planetenatmosphäre abschätzen zu können, muss die Röntgenhelligkeit der Zentralsterne bekannt sein. Neueste Beobachtungen mit dem deutsch-russischen Weltraumteleskop eROSITA führten zu dem bislang größten Katalog an Röntgenhelligkeiten von planetentragenden Sternen. Er enthält erstmalig Informationen zur Röntgenbestrahlung von mehr als 90 Exoplaneten. Viele von ihnen werden sehr stark im Röntgenlicht angestrahlt, so dass ihr erwarteter Massenverlust in weiteren Beobachtungen in anderen Wellenlängenbereichen näher untersucht werden kann.

FLARES VON STERNEN LOKALISIERT

Flares sind energetische Explosionen auf der Oberfläche von Sternen, die bei Beobachtungen über das gesamte elektromagnetische Spektrum sichtbar sind. Wo genau auf der Sternoberfläche diese Explosionen stattfinden, ist wichtig für die langfristige Existenz von Planetenatmosphären: Je nachdem, ob Flares und die damit verbundenen koronalen Massenauswürfe in Richtung des Exoplaneten stattfinden oder nicht, können diese dessen Atmosphäre mehr oder weniger erodieren. Durch eine neue Methode der Lichtkurvenanalyse hat sich gezeigt, dass kleine, schnell rotierende Sterne, sogenannte M-Zwerg, ihre größten Flares nahe an den Rotationspolen des Sterns entstehen lassen – im Gegensatz zu unserer eigenen Sonne, wo Flares meist in der Nähe des Sonnenäquators stattfinden. Dies zeigte die Rotationsmodulation von Flares, die länger andauern als eine Rotationsperiode des Sterns selbst. Bei dieser Geometrie sind die Atmosphären von Exoplaneten weniger der ionisierenden Strahlung und ausgestoßenen Teilchen ausgesetzt, was vorteilhaft für die Entwicklung von Leben sein kann.

EXOPLANETEN-ATMOSPHÄREN IN HÖCHSTER AUFLÖSUNG

Transmissionsspektroskopie erforscht die Atmosphären von Exoplaneten an der Grenze ihrer Tag- und Nachtseite. Licht unterschiedlicher Wellenlängen ist dabei sensitiv auf das Vorhandensein unterschiedlicher Elemente in der Planetenatmosphäre. Eine internationale Studie über Exoplaneten, der PEPSI Exoplanet Transit Survey, nutzt den am AIP entwickelten und gebauten hochauflösenden Spektrographen PEPSI. Die Studie untersucht Exoplaneten, von klein und erdähnlich bis zu heißen Jupitern, hinsichtlich ihrer Atmosphären. Erste Ergebnisse zeigen, dass der kleine Gesteinsplanet 55 Cancri keine ausgedehnte Atmosphäre hat. Weitere Beobachtungen zielen auf die verdampfenden Atmosphären von größeren Exoplaneten ab.



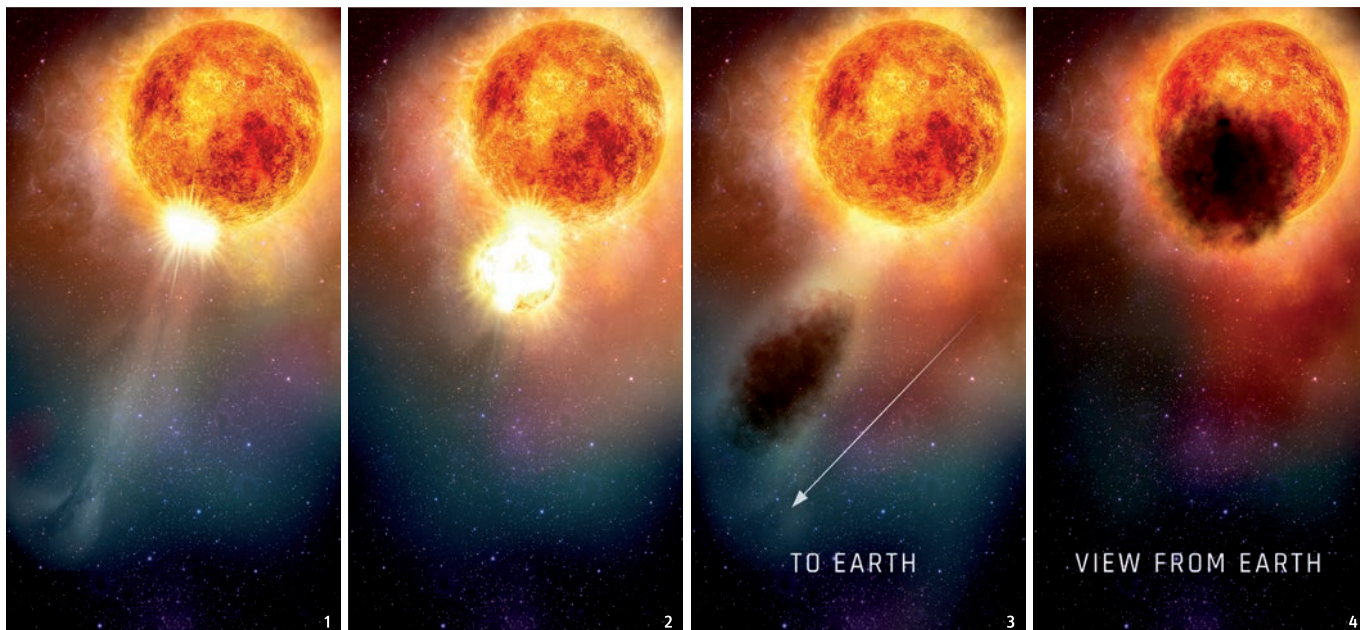
Die Position von Flares auf der Oberfläche von Sternen kann aus Lichtkurven errechnet werden, wenn Sterne schneller rotieren als der Flare andauert.

The location of flares on the surface of a star can be deduced from light curves if the star rotates faster than it takes the flare to fade away.

Credits: AIP/E. Ilin



Özgün Adebali, Xanthippi Alexoudi, Julián Alvarado-Gómez, Eliana Maritza Amazo-Gómez, Sydney Barnes, Thorsten A. Carroll, Judy Chebly, Elizabeth Cole-Kodikara, Alexandre Gillet, Mary Grace Foster, Dario Fritzewski, Andrew Gallagher, David Gruner, Marzieh Hosseini, Nikoleta Ilic Petkovic, Ekaterina Ilin, Silva Järvinen, Engin Keles, Laura Ketzer, Matthias Mallonn, Katja Poppenhäger (head), Julia Schötzig, Matthias Steffen, Klaus G. Strassmeier, Jörg Weingrill, Joana Wokittel



Der Riesenstern Beteigeuze stieß eine Wolke aus seiner Sternatmosphäre aus, welche zu der starken Verdunklung des Sterns führte, die 2019/2020 beobachtet wurde. The giant star Betelgeuse emitted a cloud of atmospheric material which caused the strong dimming of the star that was observed in 2019/2020.

Credits: NASA, ESA, und E. Wheatley (STScI)

EIN RIESENSTERN HUSTET

Der Riesenstern Beteigeuze machte im Jahr 2020 Schlagzeilen, da er sich spontan verdunkelte, was auf eine bevorstehende Sternexplosion hätte hindeuten können. SES, der hochauflösende Spektrograph des institutseigenen STELLA-Teleskops, misst seit über einem Jahrzehnt fast täglich die Radialgeschwindigkeit dieses Sterns. Zusammen mit ultravioletten Beobachtungen mit dem Weltraumteleskop Hubble zeigte sich aus diesen Daten, dass Beteigeuze doch nicht kurz vor der Explosion steht. Stattdessen stieß der Stern durch ein „Husten“ ein Stück seiner Atmosphäre lokal begrenzt aus, welches sich dann abkühlte und dadurch den Stern verdunkelte. Zusätzlich gelang mit weltraumbasierten Lichtkurven und den STELLA-Spektren der Nachweis dafür, dass sich die Oberfläche des Sterns etwa einen Monat nach dem Beginn der Verdunklung wieder zusammengezogen hatte.

EXOPLANETEN UND WELTRAUMWETTER

Sterne stoßen einen Sternwind aus, analog zum Sonnenwind unserer Sonne. Es ist derzeit jedoch fast unmöglich, diesen Sternwind mit den aktuell zur Verfügung stehenden Instrumenten genau zu vermessen, so dass Forschende auf Simulationen angewiesen sind. Diese basieren auf Magnetfeldmessungen und Beobachtungen der stellaren Koronen. Damit kann das Weltraumwetter, das Exoplaneten umgibt, simuliert und besser verstanden werden. Für die nächstgelegenen bekannten Exoplaneten, die um den roten Zwergstern Proxima Centauri kreisen, führten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des AIP solche Simulationen durch. Trotz der Tatsache, dass dieser Stern sehr viel kleiner ist als unsere Sonne, zeigte sich, dass der Exoplanet Proxima Centauri c eine erdähnliche Weltraumwetter-Umgebung hat. Dies ist besonders interessant, da er sogar etwas weiter von seinem

Zentralstern entfernt ist als die Erde von der Sonne. Weitere Simulationen werden zeigen, wie sich andere Exoplaneten-Atmosphären im Laufe der Zeit entwickeln und ob sie der Erosion durch den Sternwind standhalten können.

DIE ROTATIONSUHR DER STERNE

Sterne wie unsere Sonne verlieren über den Sternwind nach und nach an Drehimpuls. Daher kann man in vielen Fällen das Sternalter aus der Rotationsperiode eines kühlen Sterns ableiten. Um diese Alters-Rotations-Beziehung jedoch richtig zu eichen, müssen Gruppen von gleichaltrigen Sternen untersucht werden. Dies geschieht am AIP mittels Beobachtungen von offenen Sternhaufen. So wurden der junge Sternhaufen NGC 3532 und der viel ältere Sternhaufen NGC 6774, der etwa halb so alt wie unsere Sonne ist, auf die Rotationseigenschaften ihrer Sterne hin untersucht. Besonders interessant dabei ist, dass erstmals die Erweiterung der Alters-Rotations-Beziehung auch für massearme M-Zwergsterne gelang, welche im Fokus der Suche nach bewohnbaren Exoplaneten stehen.

Exoplanets and their host stars influence each other and should therefore be studied together to understand their properties and evolution correctly. Exoplanets, especially those in close orbits around their central stars, can interact with the stars through tidal and magnetic forces. Host stars heat the atmospheres of their planets with high-energy photons and can thus change the planets strongly over their lifetime. This interplay of stars and exoplanets is studied through a combination of observations and simulations at AIP.

X-RAYING EXOPLANETS

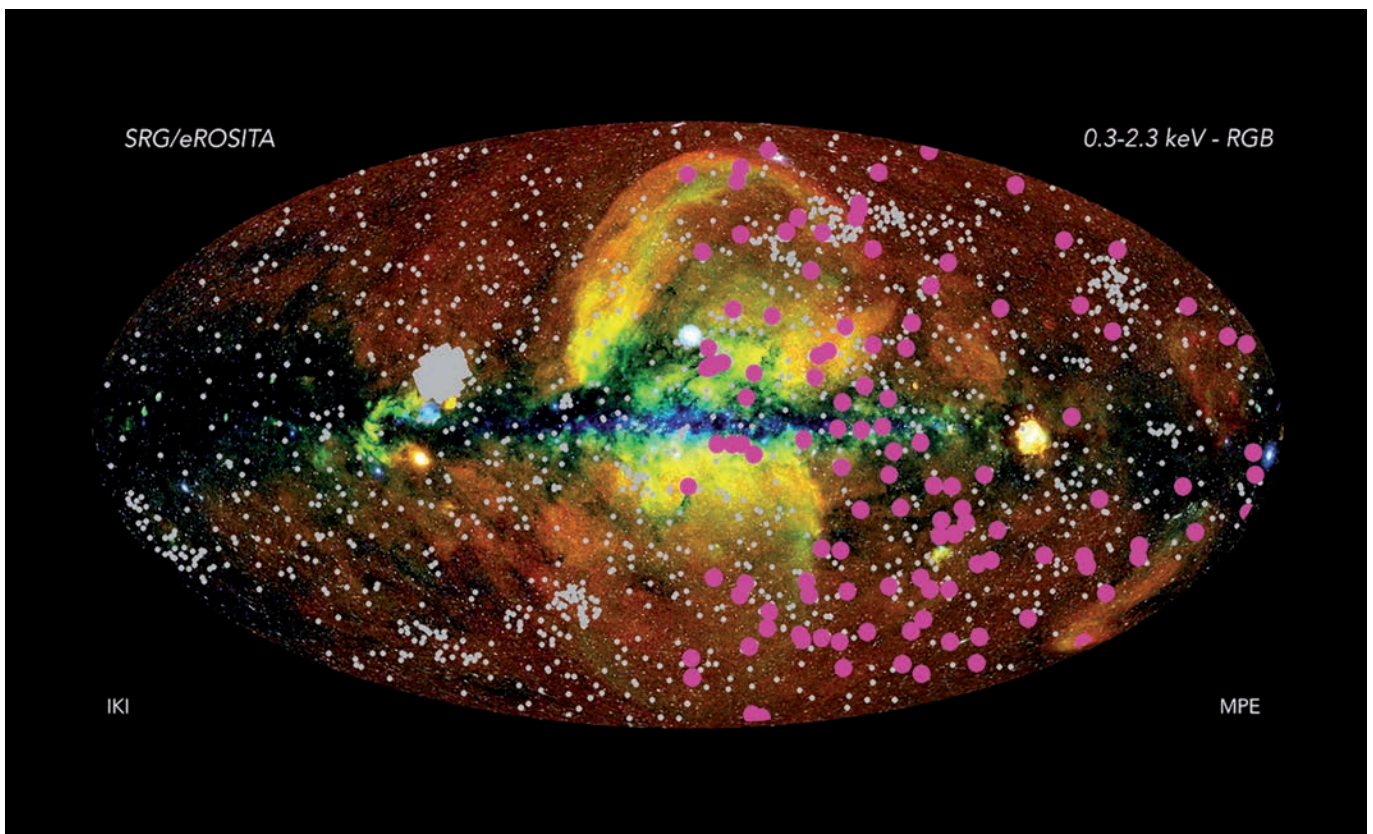
X-ray photons from stars heat the upper atmosphere layers of exoplanets, causing those layers to expand and evaporate into space. This effect is particularly strong for exoplanets that orbit their stars at close distances, with orbital periods of only a few days. To estimate how much mass different exoplanets' atmospheres lose over time, astronomers need to know the X-ray luminosity of their central stars. New observations with the German-Russian space telescope eROSITA have resulted in the biggest catalogue of X-ray properties of exoplanet host stars to date. Over 90 exoplanets were studied for their X-ray irradiation for the first time with this data. Many of them are irradiated strongly at X-ray energies, so that further studies at other wavelengths can address their expected mass loss in the future.

LOCALIZING FLARES ON STARS

Flares are energetic explosions on the surfaces of stars that shine across the entire electromagnetic spectrum. The long-term survival of exoplanet atmospheres may depend on where exactly those explosions happen on the star: flares and their associated coronal mass ejections can erode atmospheres, but depending on the geometry they may be pointed at the planet or miss it. A new method to analyse flare light curves revealed that small, fast-rotating stars, so-called M dwarfs, produce their flares close to the rotational poles. This is a stark contrast to our own Sun, where most flares occur close to the solar equator. This result was achieved by looking at the rotational modulation of flares that last longer than one full rotation period of the star. With this geometry, where the flares happen close to the poles, the atmospheres of exoplanets will be less exposed to highly energetic photons and massive particles, which can increase the prospects for life to develop.

EXOPLANET ATMOSPHERES AT HIGH RESOLUTION

Transmission spectroscopy probes the atmospheres of exoplanets at the day-night terminator. Light of different wavelengths is sensitive to the presence of different kinds of atomic and molecular species in the exoplanetary atmosphere. The high-resolution spectrograph PEPSI, which was



Viele Zentralsterne von Exoplaneten wurden erstmals mit der eROSITA-Mission im Röntgenband detektiert. Die grauen Punkte zeigen die Positionen der Exoplaneten-Zentralsterne, die pinkfarbenen Punkte die Röntgendetektionen dieser Sterne am deutschen Teil des eROSITA-Himmels.

Many host stars of exoplanets were detected in X-rays for the first time with the eROSITA mission. The grey dots show the locations of the known exoplanet host stars, the pink dots show the X-ray detected host stars that are located in the German part of the eROSITA sky.

Credits: MPE/IKI/K.Poppenhäger

developed and built at AIP, performs an international observational study of exoplanets, the PEPSI Exoplanet Transit Survey. It aims to understand the atmospheres of different kinds of exoplanets, from small and rocky ones to the much larger Hot Jupiters. First results show that the small rocky planet 55 Cancri e does not have an extended atmosphere. Further observations target the evaporating atmospheres of Neptune-like exoplanets, for example.

A GIANT STAR COUGHS

The giant star Betelgeuse was featured prominently on the news in 2020 because it suddenly became darker, which could have pointed towards an imminent explosion. However, this is not what happened. SES, the high-resolution spectrograph of AIP's STELLA telescope at Tenerife, has measured the radial velocities of Betelgeuse almost daily for a decade now. This data, combined with data from the Hubble Space Telescope, showed that Betelgeuse was not about to explode, but rather that it "coughed": it expelled a cloud of material from its own atmosphere, which then cooled and blocked the light from the star. In addition, space-based light curves and the STELLA data showed that Betelgeuse's surface contracted again about one month after the dimming.

EXOPLANETS AND SPACE WEATHER

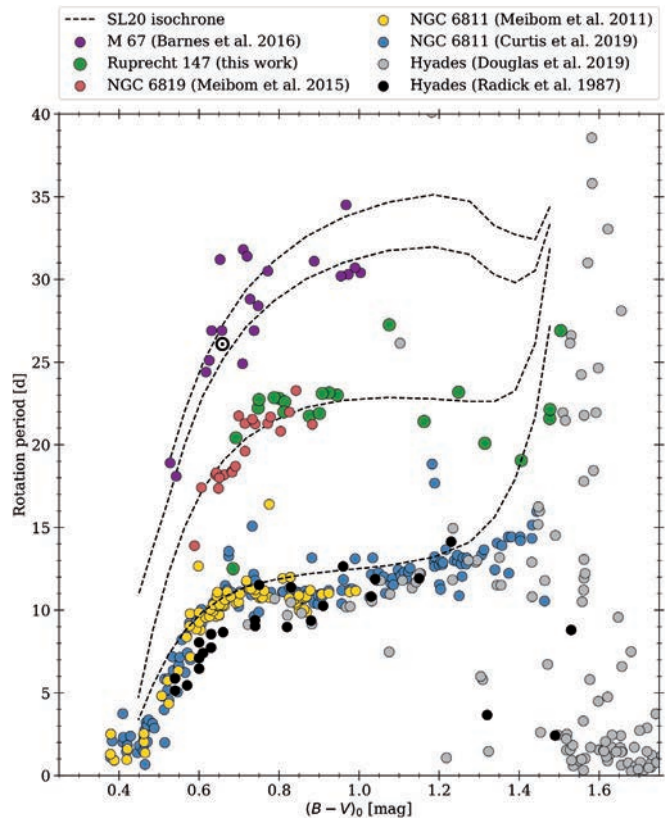
Stars expel a stellar wind analogous to the solar wind expelled by our Sun. However, it is presently almost impossible to study this stellar wind in detail with current instrumentation, so that simulations are needed to improve astronomers' understanding. Those simulations are based on measurements of stellar magnetic fields and observations of stellar coronae. With these inputs, the space weather around an exoplanet can be simulated. Such simulations were recently performed for the closest known exoplanets, orbiting the star Proxima Centauri. Even though Proxima Centauri is much smaller than the Sun, the small planet Proxima Centauri c has a similar space weather environment to Earth. This is interesting, because the distance of this planet to its star is even somewhat larger than the distance between the Earth and the Sun. Further simulations will show how other exoplanetary atmospheres will fare over time and whether they can withstand erosion by the stellar wind.

THE ROTATION CLOCK OF STARS

Stars like our Sun lose their angular momentum over time by emitting a stellar wind. Therefore, scientists can infer the age of a cool star – in many cases at least – from its rotation period. To gauge the age-rotation relationship properly, samples of same-age stars need to be studied. This happens at AIP by observing open stellar clusters. The young open cluster NGC 3532 and the much older NGC 6774, which is about half as old as the Sun, were analysed for the rotational behavior of their stars. Particularly interesting is that it was finally possible to extend the age-rotation relationship to low-mass stars, so-called M dwarfs, which are at the focus of the search for exoplanets in the habitable zone.

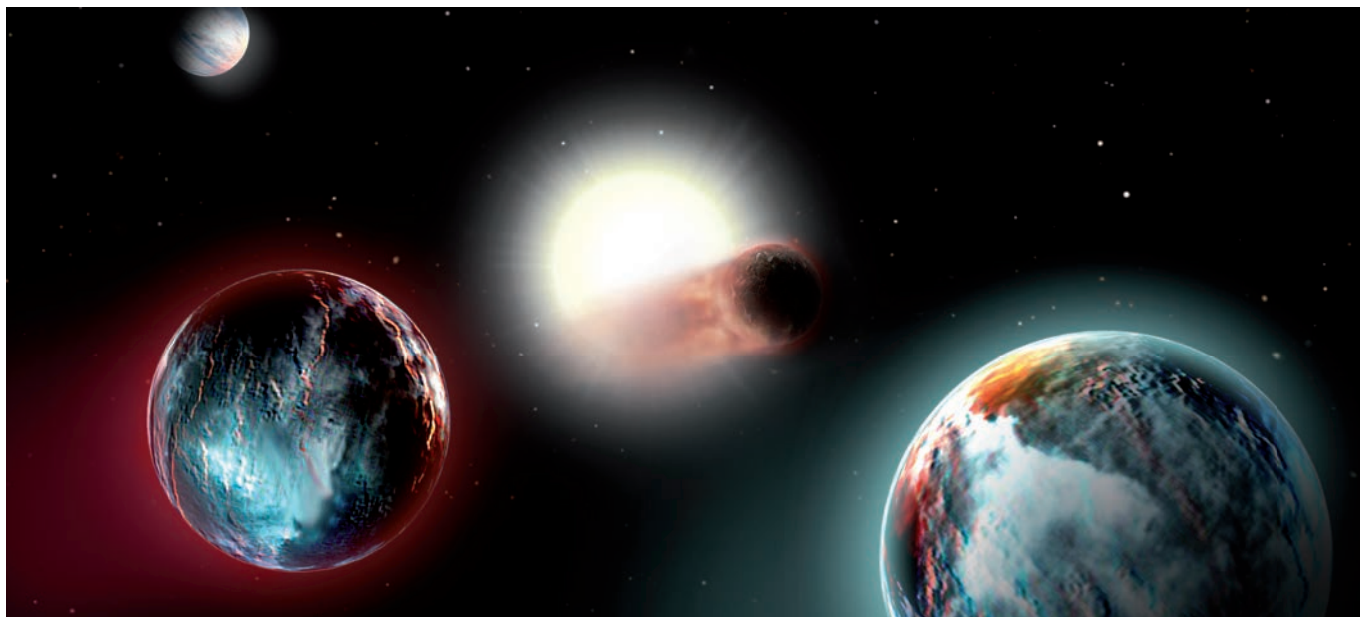


Klaus G. Strassmeier, Matthias Steffen, Dario Fritzewski, David Gruner; Laura Ketzer, Desmond Dsouza, Coleman Kilby, Matthias Mallonn, Elizabeth Cole-Kodikara; Judy Chebly, Xanthippi Alexoudi, Eliana Amazo-Gómez, Julián Alvarado-Gómez; Joana Wokittel, Xu Yu, Sydney Barnes, Katja Poppenhäger, Nikoleta Ilic, Silva Järvinen, Özgün Adebali



Die Rotation von kühlen Sternen wird langsamer mit ihrem Alter. Die Sterne des mittelalten Clusters Ruprecht 147 (NGC 6774), hier in grün gezeigt, wurden kürzlich am AIP untersucht. Das Alter steigt von der untersten zur obersten gestrichelten Linie von etwa 100 Millionen Jahren bis zu rund 4 Milliarden Jahren an. The rotation of cool stars slows down with age. The stars of the middle-aged cluster Ruprecht 147 (NGC 6774), shown in green, were recently investigated at AIP. The age increases from the lowest to the uppermost dashed line from about 100 million years to roughly 4 billion years.

Credits: AIP/D. Gruner



Der junge sonnenähnliche Stern V1298 Tau wird von vier Exoplaneten umkreist. Röntgenbeobachtungen des Systems haben gezeigt, dass mehrere der Planetenatmosphären wahrscheinlich im Begriff sind zu verkochen, so dass nur noch ihre Gesteinskerne übrig bleiben, wenn sie so alt sind wie unser eigenes Sonnensystem.
The young Sun-like star V1298 Tau hosts four exoplanets. X-ray observations of this star-planet system showed that several of the planets are likely in the process of losing their atmosphere, so that they may become bare rocky cores by the time the planets reach the age of our own solar system.

Credits: AIP/J. Fohlmeister



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN

SELECTED PUBLICATIONS

Ilin, E., Poppenhaeger, K., Schmidt, S. J. et al. (2021): **Giant white-light flares on fully convective stars occur at high latitudes**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 507, 1723

Poppenhaeger, K., Ketzner, L., Mallonn, M. (2021): **X-ray irradiation and evaporation of the four young planets around V1298 Tau**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 500, 4560

Keles, E. et al. (2020): **Probing the atmosphere of HD189733b with the Na I and K I lines**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 498, 1023

Alvarado-Gómez, J. D. et al. (2020): **An Earth-like Stellar Wind Environment for Proxima Centauri c**, The Astrophysical Journal Letters, 902, L9

Foster, G., Poppenhaeger, K., Ilic, N., Schwöpe, A. (2022): **Exoplanet X-ray irradiation and evaporation rates with eROSITA**, Astronomy & Astrophysics, 661, A23

Ilin, E., Schmidt, S. J., Poppenhäger, K. et al. (2021): **Flares in open clusters with K2. II. Pleiades, Hyades, Praesepe, Ruprecht 147, and M 67**, Astronomy & Astrophysics, 645, A42

Järvinen, S. P. et al. (2021): **Magnetic field geometry and magnetospheric environment of the strongly magnetic Of?p star NGC 1624-2**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 501, 4534

Fritzewski, D. et al. (2021): **A detailed understanding of the rotation-activity relationship using the 300 Myr old open cluster NGC 3532**, Astronomy & Astrophysics, 656, A103

Foster, G., Poppenhaeger, K., Alvarado-Gómez, J. D., Schmitt, J. H. M. M. (2020): **The corona of GJ 1151 in the context of star-planet interaction**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 497, 1015

Gruner, D., Barnes, S. A. (2020): **Rotation periods for cool stars in the open cluster Ruprecht 147 (NGC 6774)**, Astronomy & Astrophysics, 644, A16




*Eines der Teleskope des Paranal-Observatoriums der ESO in Chile vor der Milchstraße im Hintergrund. Die Laserstrahlen erzeugen künstliche „Sterne“ in der Erdatmosphäre für die Korrektur atmosphärischer Störungen, so dass z. B. das MUSE-Instrument schärfere Bilder erzeugen kann.
One of the telescopes at ESO's Paranal Observatory in Chile. The laser beams create artificial "stars" in the Earth's atmosphere for correcting atmospheric disturbances so that, for example, the MUSE instrument can produce sharper images.*

Credits: AIP/A. Saviauk

In der Extragalaktischen Astrophysik untersuchen Forschende Galaxien, wobei besonders deren Vielfalt berücksichtigt wird: beginnend bei unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße, und ihrem Satellitensystem mit den Magellanschen Wolken als bekannteste Vertreter, über andere Galaxien in direkter Umgebung bis hin zu weit entfernten Objekten, die wir noch in ihrer kosmischen Jugend erfassen. In der Milchstraße und ihren Begleitgalaxien können Sternpopulationen, Bewegungsmuster und chemische Zusammensetzungen studiert werden. Mit geeigneten Methoden und Instrumenten können wir Galaxien sogar bei Entfernungen von einigen zehn bis einigen hundert Millionen Lichtjahren zumindest noch räumlich auflösen und in verschiedene Komponenten zerlegen. Aber auch in noch größeren Entfernungen lässt sich der Wissensdurst stillen: Beobachtungen von aktiven Galaxien mit supermassereichen Schwarzen Löchern und

Quasaren, den Leuchttürmen im All, liefern Erkenntnisse zur Struktur des Kosmos.

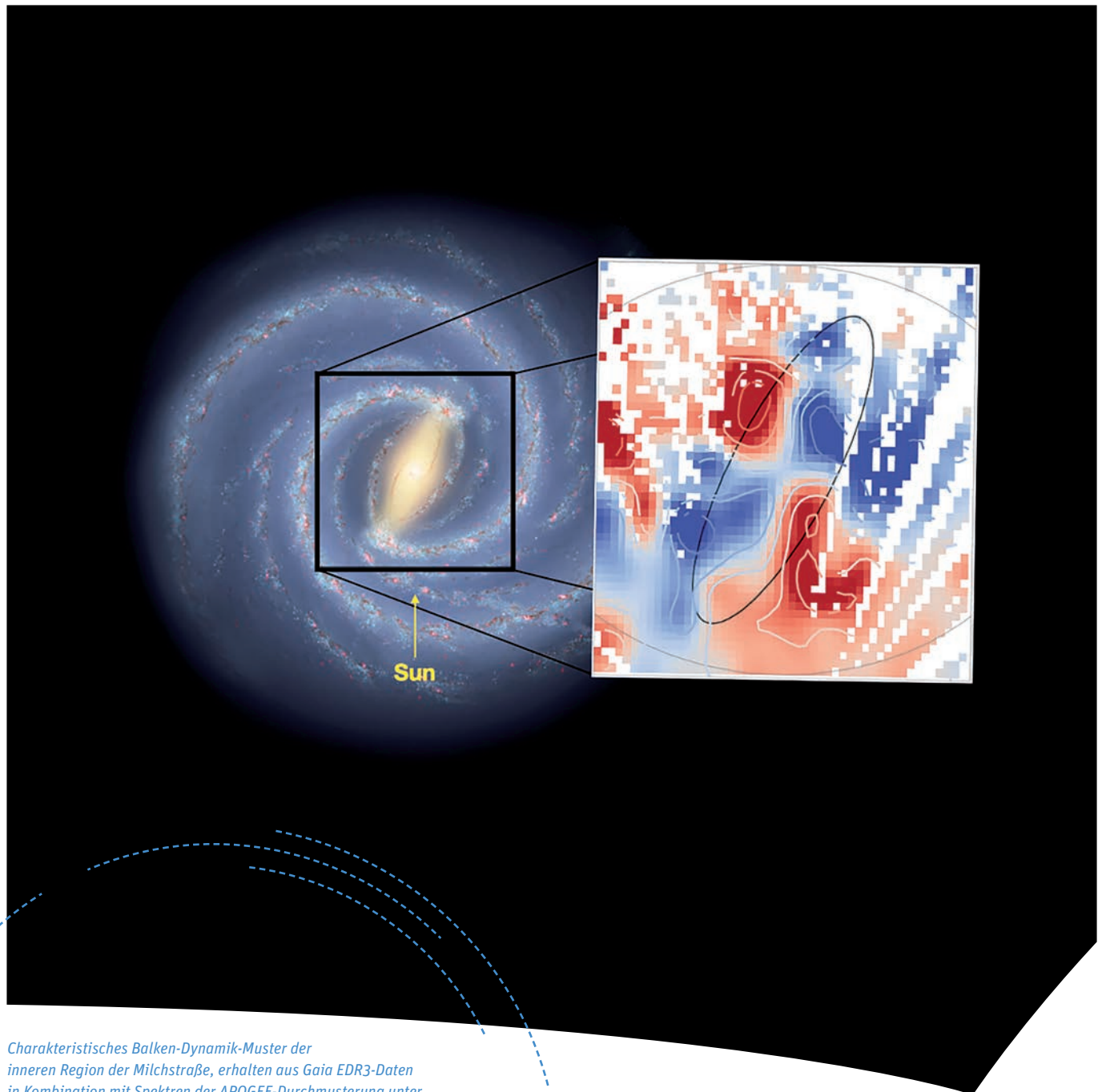
Kosmologische Simulationen an Supercomputern vollziehen die Entstehungsgeschichte von Galaxien nach, einschließlich des Wechselspiels verschiedenster physikalischer Prozesse. Satellitenmissionen wie Gaia und das Röntgenteleskop eROSITA sowie Instrumente an erdgebundenen Großteleskopen wie MUSE und 4MOST liefern die unentbehrlichen Daten, ohne die uns die Geheimnisse des Weltalls verschlossen bleiben würden.



EXTRAGALAKTISCHE ASTROPHYSIK EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS

In Extragalactic Astrophysics, researchers study galaxies, taking in particular into account their diversity: starting with our home galaxy, the Milky Way, and its satellite system with the Magellanic Clouds as the best-known representatives, to other galaxies in the immediate vicinity, to distant objects that we still detect in their cosmic youth. In the Milky Way and its companion galaxies, stellar populations, kinematics and chemical compositions can be studied. With suitable methods and instruments, we can at least still spatially resolve galaxies even at distances of several tens to several hundred million light years and break them down into different components. But the scientific thirst for knowledge does not stop at even greater distances: Observations of active galaxies with supermassive black holes and quasars, which serve as lighthouses in space, provide insights into the structure of the cosmos.

Cosmological simulations on supercomputers trace the formation history of galaxies, including the interplay of a wide variety of physical processes. Satellite missions such as Gaia and the X-ray telescope eROSITA, as well as instruments on large Earth-based telescopes such as MUSE and 4MOST, provide the indispensable data without which the secrets of the universe would remain closed to us.



Charakteristisches Balken-Dynamik-Muster der inneren Region der Milchstraße, erhalten aus Gaia EDR3-Daten in Kombination mit Spektren der APOGEE-Durchmusterung unter Verwendung des StarHorse-Codes. Die Ellipse zeigt die Lage des Balkens. Blaue Bereiche bewegen sich auf uns zu, rote Bereiche entfernen sich von uns. Das blau/rote Kreuz in der Mitte wird durch den Einfluss des Balkens auf die Radialgeschwindigkeiten der Sterne verursacht.

Characteristic bar dynamics pattern of the inner region of the Milky Way obtained from Gaia EDR3 data combined with APOGEE survey spectra using the StarHorse code. The ellipse shows the location of the bar. Blue areas are approaching us, red areas move away from us. The blue/red cross in the centre is caused by the effect of the bar on the stars' radial velocities.

Credits: AIP/A. Queiroz

MILCHSTRASSE UND DIE LOKALE UMGEBUNG

MILKY WAY AND THE LOCAL VOLUME

Die Forschungsabteilung Milchstraße und die lokale Umgebung studiert unsere Milchstraße und ähnliche Galaxien in der Nachbarschaft. Diese nächstgelegenen Sternsysteme sind nah genug, um im Detail erforscht zu werden. Die größten spektroskopischen, astrometrischen und astero-seismologischen Himmelsdurchmusterungen helfen dabei, die Struktur und Entstehungsgeschichte der Milchstraße zu verstehen. Das Studium der Entstehung und Entwicklung galaktischer Systeme mittels Untersuchungen ihrer aufgelösten Sternpopulationen und deren chemischer Zusammensetzung und Dynamik aus kosmologischer Sicht nennt man Galaktische Archäologie oder Nahfeld-Kosmologie.

GAIA-DATENVERÖFFENTLICHUNG

Im Dezember 2020 erschien die Datenveröffentlichung Early Data Release 3 (EDR3) der ESA-Weltraummission Gaia, welche die Erforschung der Milchstraße durch die Bereitstellung präziser Parallaxen, Eigenbewegungen, Photometrie und Radialgeschwindigkeiten für fast zwei Milliarden Sterne revolutionierte. Forschende des AIP tragen zur Datenaufbereitung von Gaia bei, indem sie die Vollständigkeit von neun sehr dichten Himmelsregionen erhöhen, die Hintergrundkorrektur von Gaia-Spektren erarbeiten und einen Spiegel des Gaia-Datenarchivs bereitstellen.

DIE STRUKTUR UND GESCHICHTE DER MILCHSTRASSE

Die Gaia-Daten wurden mit Photometrie und Spektroskopie unter Verwendung des StarHorse-Codes des AIP kombiniert, um stellare Parameter, Entfernungen und Lichtextinktionswerte für Hunderte von Millionen von Sternen zu veröffentlichen. Dieser Datensatz zeigte eine auffällige Dualität in der Elementhäufigkeit in Sternen von den inneren zu den äußeren Regionen der Milchstraßenebene, was auf das unterschiedliche Alter der Sternpopulationen in der Milchstraße hinweist. Außerdem wurden 8.000 Sterne in der inneren Galaxienregion identifiziert, die sich durch Analyse ihrer Bahnparameter, Metallizitäten und chemischen Häufigkeiten so eindeutig entweder dem Balken, der inneren dünnen Scheibe, der dicken Scheibe oder einer druckunterstützten Komponente zuordnen lassen. Die Sterne auf Umlaufbahnen im Balken zeigen keine eindeutige Signatur in den chemischen Häufigkeiten, was darauf hindeutet, dass Sterne im Inneren der Galaxie effizient in Balkenumlaufbahnen eingefangen sind.

Die Kombination von Asteroseismologie-Daten der Kepler-Mission für Rote Riesensterne mit spektroskopischen Informationen ergab hochpräzise Sternalter, die zeigen, dass es sich bei der dicken Scheibe um eine Population etwa gleichaltriger, alter Sterne handelt, die bereits vor der Kollision der Milchstraße mit der mittlerweile zerrissenen Zwerggalaxie Gaia Enceladus vor über acht Milliarden Jahren existierte.

DIE BALKENGRÖSSE DER MILCHSTRASSE

Die Analyse modernster Simulationen der Entstehung der Milchstraße zeigte, dass sowohl die Länge als auch die Rotationsgeschwindigkeit des Milchstraßenbalkens aufgrund seiner periodischen An- und Abkopplung an die Spiralarme der Milchstraße zeitlich stark schwanken. Diese Kopplung bewirkt, dass der Balken zu bestimmten Zeiten in Beobachtungen bis zu doppelt so lang erscheint und sich um 20% schneller dreht. Dies löst die anhaltende Debatte über den Balken, bei der direkte Beobachtungen einen langsamen und langen Balken ergeben, während die Auswirkungen des Balkens auf die Geschwindigkeitsverteilung in der Sonnenumgebung für einen schnelleren und kürzeren Balken sprechen.

FINALE DATENVERÖFFENTLICHUNG VON RAVE

Die vom AIP geleitete spektroskopische Durchmusterung des Südhimmels, Radial Velocity Experiment (RAVE), stellte die Ergebnisse für eine halbe Million Sterne in ihrer sechsten und finalen Datenveröffentlichung vor. Dabei kam ein eigens entwickeltes Convolutional Neural Network (CNN) zur Ableitung der RAVE-Sternparameter zum Einsatz, das durch die Kombination von Spektren, Photometrie und Parallaxen bessere Ergebnisse als frühere Ansätze erzielte. CNNs, künstliche neuronale Netze, die nach dem Prinzip des maschinellen Lernens funktionieren, sind optimal für die Auswertung großer Datenmengen geeignet, wie z.B. den Millionen von Spektren aus Durchmusterungen wie 4MOST und Gaia.

IDENTIFIZIERUNG DER ÜBERRESTE VON ZWERGGALAXIEN IN SIMULATIONEN DER MILCHSTRASSE

Die Analyse von Galaxien aus der HESTIA-Reihe von kosmologischen hydrodynamischen Simulationen, die ähnliche Eigenschaften wie die Milchstraße und Andromeda-Galaxie aufweisen, konnte belegen, dass bereits die Überreste einer einzelnen Verschmelzung einer Galaxie mit einer Zwerggalaxie mehrere auffällige Überdichten im Energie-Drehimpuls-Raum verursachen können. Die Verteilung der Sterne in der Radial-Rotationsgeschwindigkeitsebene zeigte, dass alle Galaxien der HESTIA-Simulationen Sterngruppen mit hohen Radialgeschwindigkeiten, aber nicht rotierenden oder schwach gegenläufigen Geschwindigkeiten aufweisen, ähnlich wie die kürzlich im Halo der Milchstraße entdeckten Überreste der Gaia-Enceladus-Galaxie.



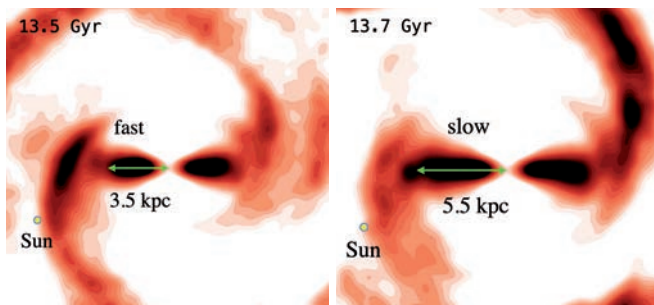
TEAM

Cristina Chiappini, Guillaume Guiglion, In-Sung Jang, Roelof de Jong (head), Sergey Khoperskov, Sayali Kulkarni, Genoveva Micheva, Ivan Minchev, Ranjith Mudimadugula, Samir Nepal, Anna Queiroz, Elena Sacchi, Ralf-Dieter Scholz, Katja Weingrill

The Milky Way and the Local Volume research section studies our Milky Way and similar nearby galaxies. These nearby galactic stellar systems are close enough to be studied in great detail. Large spectroscopic, astrometric, and asteroseismic surveys help scientists to understand the Milky Way's structure and formation history. This research field is called galactic archaeology or near-field cosmology, i.e., the study of the formation and evolution of galactic systems through investigations of resolved stellar populations and their chemistry and dynamics within a cosmological framework.

GAIA DATA RELEASE

In December 2020, the Early Data Release 3 (EDR3) of ESA's space mission Gaia was published, revolutionizing studies of the Milky Way by providing accurate parallaxes, proper motions, photometry, and radial velocities for nearly two billion stars. Scientists at AIP contribute to the Gaia data reduction effort by increasing the completeness of nine very dense sky regions, by developing the background correction of Gaia spectra and by publishing a mirror of the Gaia archive.



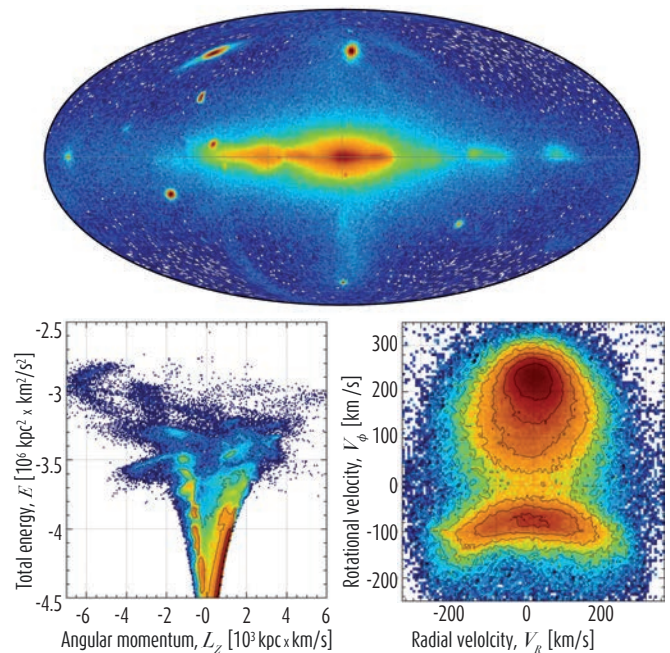
Zwei Momentaufnahmen einer Simulation einer Balkenspiralgalaxie 13,5 und 13,7 Milliarden Jahre nach dem Urknall. Der Balken und die Spiralarme weisen unterschiedliche Geschwindigkeiten auf. Das führt dazu, dass die beobachtete Größe des Balkens in der Länge zwischen 3,5 und 5,5 Kiloparsec schwankt, wenn sich die Arme im Laufe der Zeit mit dem Balken verbinden und wieder von ihm lösen.

Two snapshots of a simulation of a barred spiral galaxy at 13.5 and 13.7 billion years after the Big Bang. The bar and spiral arms have different pattern speeds, resulting in the size of the bar fluctuating in length between 3.5 and 5.5 kiloparsec when the arms couple and decouple from the bar over time.

Credits: AIP/L. Minchev

THE STRUCTURE AND HISTORY OF THE MILKY WAY

The Gaia data were combined with photometry and spectroscopy using AIP's StarHorse code to publish stellar parameters, distances, and light extinction values for hundreds of millions of stars. This data set revealed a striking duality in the elemental abundance in stars from the inner to the outer regions in the Milky Way plane, indicating the different ages of the stellar populations across the Milky Way. Also, 8.000 stars were identified in the inner galaxy region that, through analysis of their orbit parameters, metallicities, and chemical abundances, were unambiguously associated with either the bar, inner thin disk, thick disk, or a pressure supported bulge-like component. The stars on bar orbits do not show a distinct chemical abundance signature, suggesting that inner Galaxy stars can be efficiently trapped into bar orbits.



Oben: Durch Verschmelzungen mit Zwerggalaxien entstandener stellarer Halo einer Galaxie aus einer hochauflösenden HESTIA-Simulation, wie er von der Erde aus beobachtet werden könnte. Unten: Verteilung der Sterne im Energie-Drehimpuls-Raum (links) und der radialen Geschwindigkeit aufgetragen gegen die tangentielle Geschwindigkeit (rechts) in der Simulation. Es zeigen sich reichhaltige Strukturen und Merkmale, die denen im stellaren Halo der Milchstraße ähneln. Top: Accreted stellar halo of a galaxy from a high-resolution HESTIA simulation as it would be observed from Earth. Bottom: Distribution of stars in energy-angular momentum space (left) and radial versus tangential velocity (right) in the simulation, showing rich structures and features similar to the ones discovered in the Milky Way stellar halo.

Credits: AIP/N. Libeskind, S. Khoperskov

The combination of asteroseismology data of red giants from the Kepler mission with spectroscopic information yielded high-precision stellar ages revealing that the thick disk is a coeval old stellar population that was already present before the Milky Way collided with the now disrupted dwarf galaxy Gaia Enceladus more than eight billion years ago.

THE SIZE OF THE MILKY WAY BAR

The analysis of state-of-the-art galaxy formation simulations of the Milky Way showed that both the length and the rotational speed of the Milky Way bar fluctuate rapidly in time due to its periodic coupling and decoupling to the Milky Way spiral arms. This coupling causes the bar to appear up to twice as long and rotate 20 percent faster at certain times. This resolves the ongoing bar debate, where direct observations find a slow and long bar, while the effect of the bar on the solar neighbourhood velocity distribution supports a faster and shorter one.

FINAL DATA RELEASE FOR RAVE SURVEY

In its sixth and final data release, the AIP-led spectroscopic survey RAdial Velocity Experiment (RAVE) presented results for half a million stars. To derive RAVE stellar parameters, a convolutional neural network (CNN) was developed that obtains better results than previous approaches by combining spectra, photometry, and parallaxes. CNNs, artificial neural networks that function according to the principle of machine

learning, are optimal for dealing with large amounts of data, such as the tens of millions of spectra coming from surveys such as 4MOST and Gaia.

IDENTIFYING SATELLITE ACCRETION REMNANTS IN MILKY WAY SIMULATIONS

By analysing Milky Way and Andromeda galaxy analogues in the HESTIA suite of cosmological hydrodynamical simulations, it was shown that debris of a single individual merger of a galaxy with a dwarf galaxy can already exhibit multiple prominent over-densities in energy versus angular momentum space. The distribution of stars in the radial versus rotational velocity plane revealed that all the HESTIA simulated galaxies have features with stellar groups with high radial velocities, but non-rotating or weakly counterrotating velocities, similar to the Gaia Enceladus accreted galaxy debris recently discovered in the Milky Way halo.



Ranjith Mudimadugula, Samir Nepal, Ivan Minchev, Stefano Souza, Guillaume Guiglion, Matthias Steinmetz, Julien Marabotto, Sergey Khoperskov, Anna Queiroz, Elena Sacchi, Ralf-Dieter Scholz, Roelof de Jong, Katja Weingrill, Genevva Micheva



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN SELECTED PUBLICATIONS

Guiglion, G. et al. (2020): **The RADial Velocity Experiment (RAVE): Parameterisation of RAVE spectra based on convolutional neural networks**, *Astronomy & Astrophysics*, 644, A168

Jang, I. S. et al. (2020): **Is NGC 300 a pure exponential disk galaxy?**, *Astronomy & Astrophysics*, 640, L19

Jang, I. S. et al. (2021): **The Carnegie–Chicago Hubble Program. IX. Calibration of the Tip of the Red Giant Branch Method in the Megamaser Host Galaxy, NGC 4258 (M106)**, *The Astrophysical Journal*, 906, 125

Khoperskov, S., Haywood, M., Snaith, O., Di Matteo, P., Lehnert, M., Vasiliev, E., Naroenkov, S., Berczik, P. (2021): **Bimodality of $[\alpha \text{ Fe}]$ – $[\text{Fe}/\text{H}]$ distributions is a natural outcome of dissipative collapse and disc growth in Milky Way-type galaxies**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 501, 5176

Miglio, A. et al. (2021): **Age dissection of the Milky Way discs: Red giants in the Kepler field**, *Astronomy & Astrophysics*, 645, A85

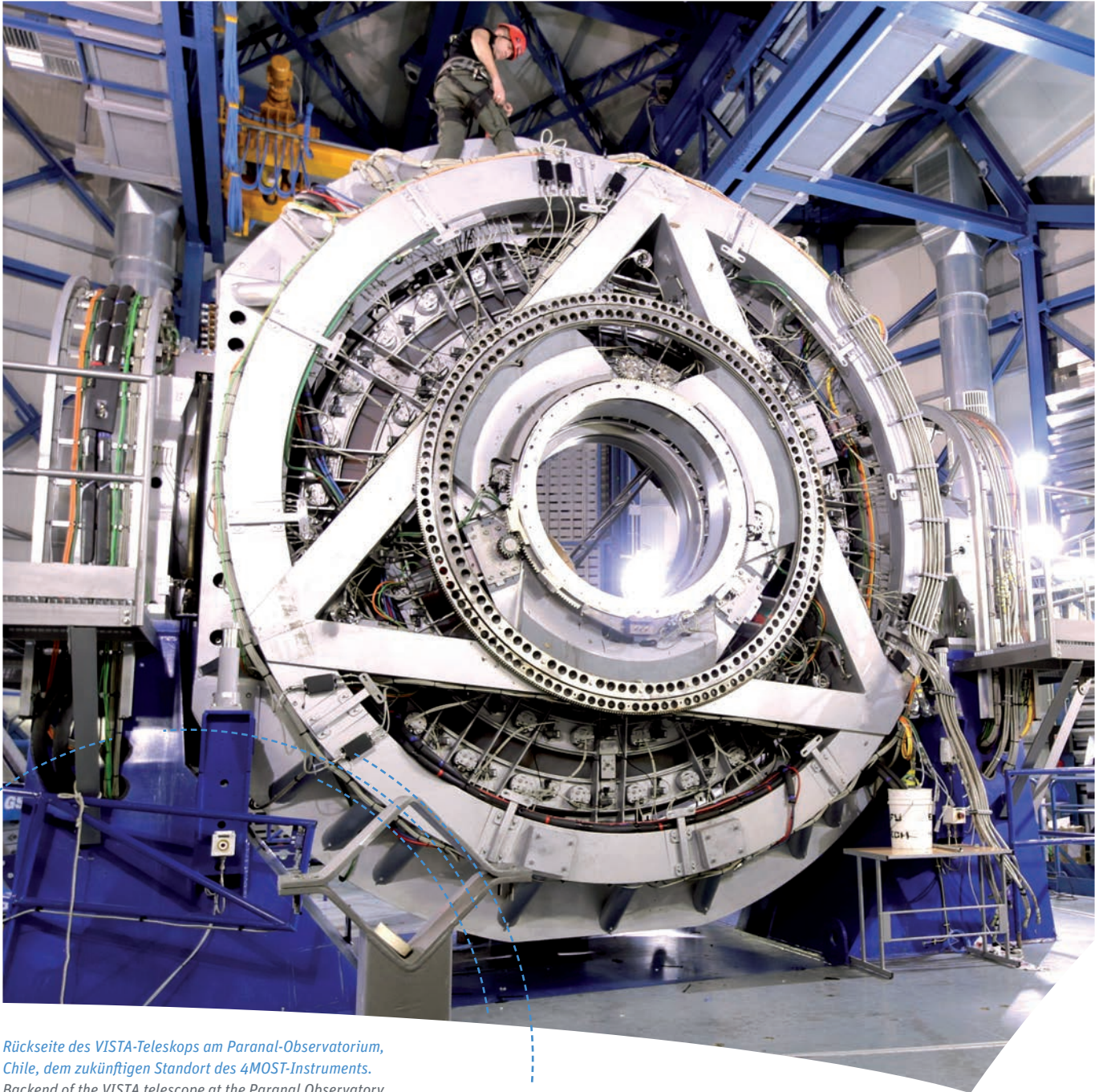
Queiroz, A. B. A. et al. (2020): **From the bulge to the outer disc: StarHorse stellar parameters, distances, and extinctions for stars in APOGEE DR16 and other spectroscopic surveys**, *Astronomy & Astrophysics*, 638, A76

Queiroz, A. B. A. et al. (2021): **The Milky Way bar and bulge revealed by APOGEE and Gaia EDR3**, *Astronomy & Astrophysics*, 656, A156

Scholz, R. (2020): **New ultracool dwarf neighbours within 20 pc from Gaia DR2**, *Astronomy & Astrophysics*, 637, A45

Steinmetz, M. et al. (2020): **The Sixth Data Release of the Radial Velocity Experiment (RAVE). I. Survey Description, Spectra, and Radial Velocities**, *The Astronomical Journal*, 160, 82

Steinmetz, M. et al. (2020): **The Sixth Data Release of the Radial Velocity Experiment (RAVE). II. Stellar Atmospheric Parameters, Chemical Abundances, and Distances**, *The Astronomical Journal*, 160, 83



*Rückseite des VISTA-Teleskops am Paranal-Observatorium, Chile, dem zukünftigen Standort des 4MOST-Instruments.
Backend of the VISTA telescope at the Paranal Observatory, Chile. This is the future location of the 4MOST instrument.
Credits: AIP/A. Saviak*

4-METRE MULTI-OBJECT SPECTROSCOPIC TELESCOPE 4MOST

4-METRE MULTI-OBJECT SPECTROSCOPIC TELESCOPE 4MOST

Das spektroskopische Instrument 4MOST soll als größte Beobachtungseinrichtung ihrer Art in der südlichen Hemisphäre den aktuell drängendsten astronomischen Fragen der Galaktischen Archäologie, der Hochenergie-Astrophysik, der Entwicklung von Galaxien sowie der Kosmologie nachgehen. Der Bau von 4MOST erfolgt für das VISTA-Teleskop der Europäischen Südsternwarte (ESO).

Nach Inbetriebnahme wird 4MOST ein weltweit führendes Instrument mit einer einzigartigen Kombination aus großem Gesichtsfeld, Multiplex, spektraler Auflösung und Lichtempfindlichkeit sein. Das Instrument wird über ein 2,6 Grad durchmessendes Gesichtsfeld verfügen, in dem 2.436 Spektren simultan aufgenommen werden können: 1.624 Spektren mit einer mittleren Auflösung ($R \sim 6500$) und einer Wellenlängenabdeckung von 370 bis 950 Nanometern parallel zu 812 hochaufgelösten Spektren ($R \sim 20.000$) in drei Wellenlängenbändern.

Das 4MOST-Konsortium unter Leitung des AIP besteht aus 29 Instituten in Europa und Australien. Zu seinen Aufgaben zählt die Entwicklung und der Bau des Instruments, aber auch der Betrieb und die wissenschaftliche Auswertung. Im Jahr 2021 stellte das Konsortium mehrere Hardware-Teilsysteme fertig. Dazu gehörten zum Beispiel der Faserpositionierer AESOP, ein niedrig auflösender Spektrograph und Messkameras. Somit begannen die Integration und der Test des Gesamtsystems, die voraussichtlich Anfang 2023 abgeschlossen sein werden. Danach erfolgt der Transport des Instruments zum Paranal-Observatorium in Chile, wo es in das Teleskop integriert wird und Anfang 2024 den wissenschaftlichen Betrieb aufnimmt.

4MOST soll dazu dienen, eine vollständige dreidimensionale Karte der Bewegung und der Elementhäufigkeiten der Sterne in der Milchstraße zu erstellen, die es ermöglicht, die Geheimnisse der Entstehung unserer Galaxie zu entschlüsseln. Außerdem soll die weitreichende dreidimensionale Verteilung von Galaxien und aktiven Galaxienkernen vermessen werden, um sowohl die Ausdehnungsgeschichte und das Wachstum großer Strukturen innerhalb des Universums zu messen, als auch die Entwicklungsgeschichte von Galaxien und Schwarzen Löchern zu studieren.

Im Jahr 2021 nahm 4MOST im Rahmen eines begutachteten Auswahlverfahrens fünfzehn neue Wissenschaftsprogramme aus der ESO-Gemeinschaft in das erste Fünf-Jahres-Himmelsdurchmusterungsprogramm auf. Durch den Zusammenschluss mit den zehn vom 4MOST-Konsortium geleiteten Durchmusterungen plant das Projekt nun über achtzehn Durchmusterungen mit unabhängigen Wissenschaftsprogrammen. Aufgrund der Aufnahme der neuen Programme steigerte sich die Gesamtzahl der Forschenden, Ingenieurinnen und Ingenieure und Softwareentwicklerinnen und -entwickler, die an dem Projekt arbeiten, auf über 700. Damit ist 4MOST eines der größten Astronomieprojekte in Europa. Mehrere Betriebsproben trugen dazu bei, die Koordination der Aktivitäten zwischen den verschiedenen Teams, die am wissenschaftli-

chen Betrieb und an der Auswertung beteiligt sind, zu testen. Weitere Proben sind geplant, bis der volle Betrieb beginnt.

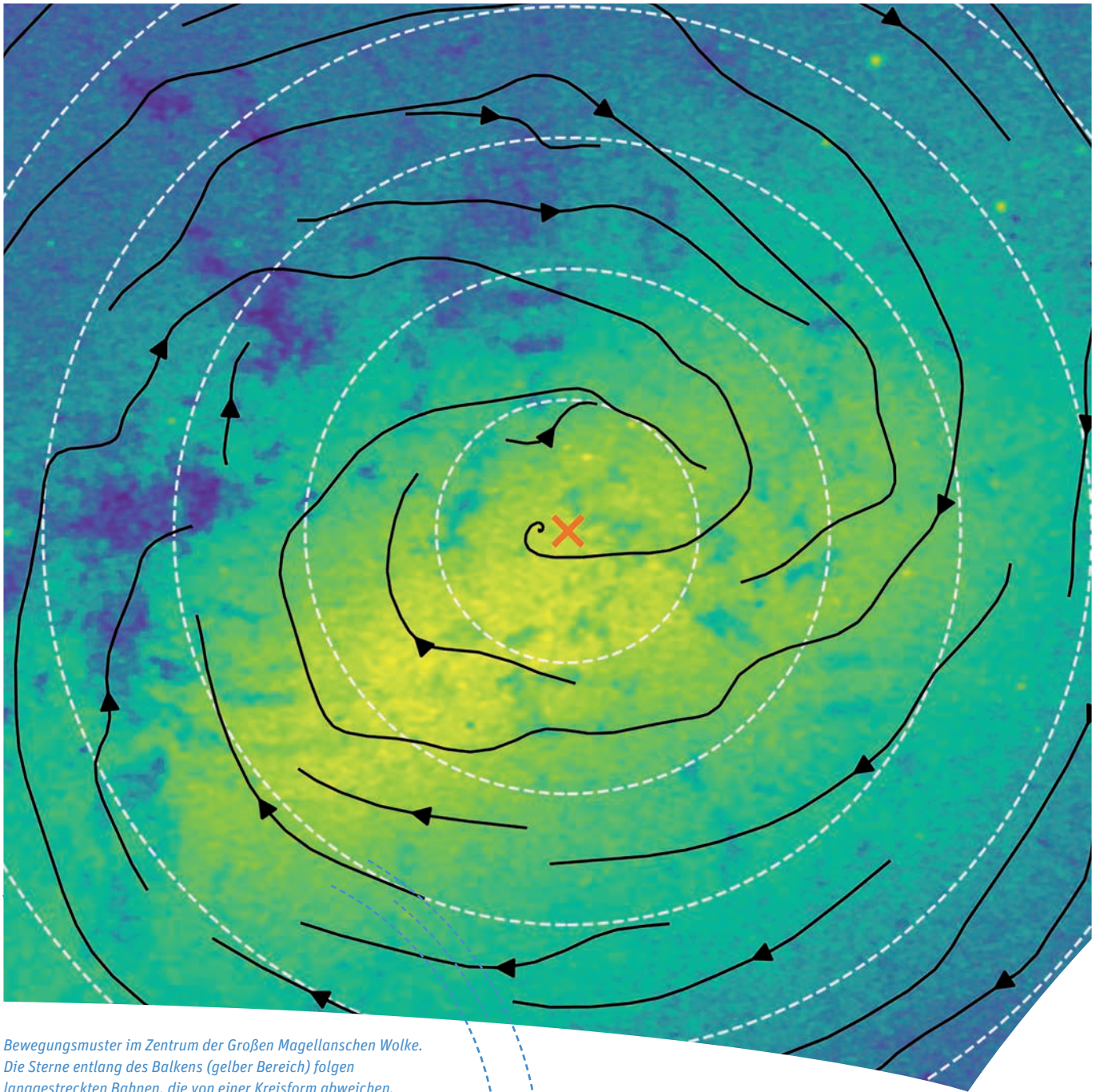
The 4-metre Multi-Object Spectroscopic Telescope (4MOST) will be the largest observing facility of its kind in the southern hemisphere and investigate the most pressing astronomical questions of galactic archaeology, high-energy astrophysics, the evolution of galaxies, and cosmology. 4MOST is being built for the VISTA telescope of the European Southern Observatory (ESO).

Once completed, 4MOST will be a world-leading spectroscopic survey facility that is unique in its combination of wide-field, multiplex, spectral resolution, and sensitivity. The instrument will provide a 2.6-degree diameter field-of-view in which 2,436 spectra are obtained simultaneously: 1,624 spectra of medium resolution ($R \sim 6,500$) and wavelength coverage from 370 to 950 nanometres in parallel with 812 high-resolution spectra ($R \sim 20,000$) in three wavelength bands.

The 4MOST consortium under AIP leadership consists of 29 institutes in Europe and Australia. It is tasked with developing, constructing, commissioning, operating, and scientifically exploiting the facility. In 2021, the consortium finished several hardware subsystems: the fibre positioner, a low-resolution spectrograph and metrology cameras. Integration and testing of the full system has commenced with an expected completion in early 2023. The hardware will then be shipped to the Paranal observatory in Chile to be integrated with the telescope and to start science operations early in 2024.

4MOST will help to create a full three-dimensional map of the motion and element abundances of the stars in the Milky Way, enabling astronomers to unravel the mysteries of the formation of our galaxy. Another scientific goal is to create an expansive three-dimensional map of galaxies, active galactic nuclei, and intergalactic gas to measure the expansion history of the universe and the growth of structures within it. The evolutionary history of galaxies and black holes will also be charted.

In 2021, using a peer-review selection process, 4MOST added fifteen new science programmes from the ESO community to its first 5-year survey programme. As a result of a merger with the ten surveys led by the 4MOST consortium, the project is now planning eighteen surveys with independent science programmes. The inclusion of these new community survey members has brought the total number of scientists, engineers, and software developers working on the project to above 700, making it one of the largest astronomy projects in Europe. Several operation rehearsals to coordinate the activities between all the different teams involved in science operations and exploitation were already held, with more planned until full operation starts.



Bewegungsmuster im Zentrum der Großen Magellanschen Wolke. Die Sterne entlang des Balkens (gelber Bereich) folgen langgestreckten Bahnen, die von einer Kreisform abweichen. Die Farbkodierung im Hintergrund zeigt die Dichte der Sterne aus der VMC-Durchmusterung.

Movement pattern within the central parts of the Large Magellanic Cloud. The stars along the bar follow elongated orbits which deviate from a circular shape. Colour coding in the background shows the density of stars obtained from the VMC survey.

Credits: Niederhofer et al. 2022, MNRAS, 512, 5423

ZWERGGALAXIEN UND DER GALAKTISCHE HALO

DWARF GALAXIES AND THE GALACTIC HALO

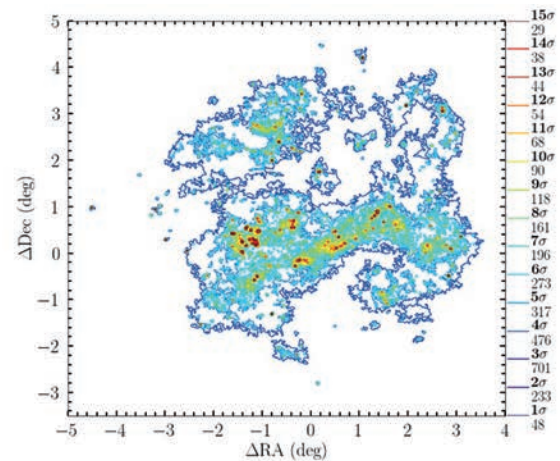
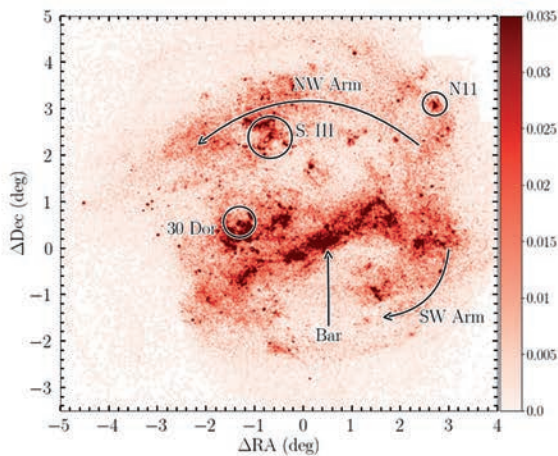
Massereiche Galaxien, darunter unsere Milchstraße, sind von Schwärmen massearmer Satellitengalaxien umgeben. Die Große und die Kleine Magellansche Wolke sind die hellsten Satelliten der Milchstraße. Die Abteilung Zwerggalaxien und der Galaktische Halo untersucht die Sterne, die Struktur und die Bewegung der Magellanschen Wolken und anderer Satelliten sowie die Anzahl und Verteilung solcher Zwerggalaxien um die Milchstraße und weiter entfernte Systeme.

STERNE UND STAUB IN DEN MAGELLANSCHEN WOLKEN

Die zentralen Regionen der Magellanschen Wolken, die dicht mit Sternen, Gas und Staub gefüllt sind, und die äußeren Regionen, die weniger stark durch die Schwerkraft gebunden und daher am stärksten von Wechselwirkungen betroffen sind, bergen Informationen über die Entwicklung der Satellitengalaxien. Junge Sterne scheinen in einem hierarchischen und fraktalen Muster organisiert zu sein, ähnlich dem beobachteten Muster in Gasstrukturen. Anhand von Daten aus der VISTA-Himmelsdurchmusterung der Magellanschen Wolken (VMC) wurde eine Oberflächendichtekarte mit über 300.000 jungen Sternen in der gesamten Großen Magellanschen Wolke erstellt. Ein Clustering-Algorithmus half dabei, die Positionen und räumlichen Grenzen von über 2.500 jungen Sterngruppen zu erkennen. Die statistischen Eigenschaften dieser Gruppen deuten darauf hin, dass die jungen Sterne in der Großen Magellanschen Wolke einer fraktalen Verteilung folgen und dass die Überschallturbulenz ein dominanter physikalischer Mechanismus zur Erzeugung dieser Architektur ist.

Eine Karte des Gesamtstaubgehalts der Kleinen und der Großen Magellanschen Wolke wurde aus der spektralen Energieverteilung von 0,5 bzw. 2,5 Millionen Hintergrundgalaxien abgeleitet. Tiefe optische Photometrie und Nahinfrarotphotometrie wurden kombiniert und die Rötung mit Hilfe einer Template-basierten Routine bestimmt. In der Kleinen Magellanschen Wolke stimmt die resultierende Staubkarte am besten mit den von jungen Sternen abgeleiteten Ergebnissen überein. Die Karte der Großen Magellanschen Wolke ist konsistent mit jener, die von Roten-Klumpen-Sternen, der Analyse der Sternentstehungsgeschichte und der Morphologie der Staubemission im fernen Infrarot abgeleitet wurde.

Cepheiden-Veränderliche sind sehr helle, pulsierende Sterne, bei denen eine enge Beziehung zwischen Leuchtkraft und Pulsationsdauer besteht. Diese Beziehung scheint erheblich von der Metallizität der Sterne beeinflusst zu werden. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gewannen Metallizitäten aus einer neuen Reihe von hochauflösenden Spektren für Cepheiden in der äußeren Milchstraßenscheibe. In Vorbereitung der 4MOST-Durchmusterungen wurden die effektiven Temperaturen als Funktion der Pulsationsphase sowohl für Cepheiden in der Milchstraße als auch in den Magellanschen Wolken bestimmt. Diese Temperaturen dienen als Trainingsprobe für einen Algorithmus zum maschinellen Lernen, um Temperaturen aus niedrig aufgelösten Spektren ermitteln zu können, was ein wichtiger Schritt bei der spektroskopischen Bestimmung der Metallizität von Sternen ist.



Oberflächendichtekarte junger Sterne in der Großen Magellanschen Wolke, ausgewählt aus den VMC-Daten, in Einheiten von Sternen pro Quadratparsec (links). Identifizierte junge Sternstrukturen, eingefärbt nach ihrer Signifikanzstufe (rechts). Die Signifikanz gibt an, ob eine Struktur eher zufällig aufgetaucht sein könnte (niedriger Wert) oder nicht (hoher Wert). Die Anzahl der in jeder Stufe enthaltenen Sternstrukturen ist auf dem Farbbalken angegeben.

Surface density map of young stars in the Large Magellanic Cloud selected from the VMC data in units of stars per parsec squared (left). Detected young stellar structures coloured by their confidence level (right). The confidence level is a measure for the likelihood that a structure may have appeared randomly (low value) or not (high value). The number of structures contained in each level is labelled on the colour bar.

Credits: Miller et al. 2022, MNRAS, 512, 1196



TEAM Cameron Bell, Maria-Rosa Cioni (head), Dalal El Youssefi, Nikolay Kacharov, Kosuke Jamie Kanehisa, Pengfei Li, Shubham Mamgain, Amy Miller, Alexey Mints, Florian Niederhofer, Abinaya Omkumar, Marcel Pawlowski, Thomas Schmidt, Jesper Storm, Salvatore Taibi, Erasmo Trentin, Marica Valentini, Viswajith Vanaraj

STELLARE BEWEGUNGEN IN DEN MAGELLANSCHEN WOLKEN

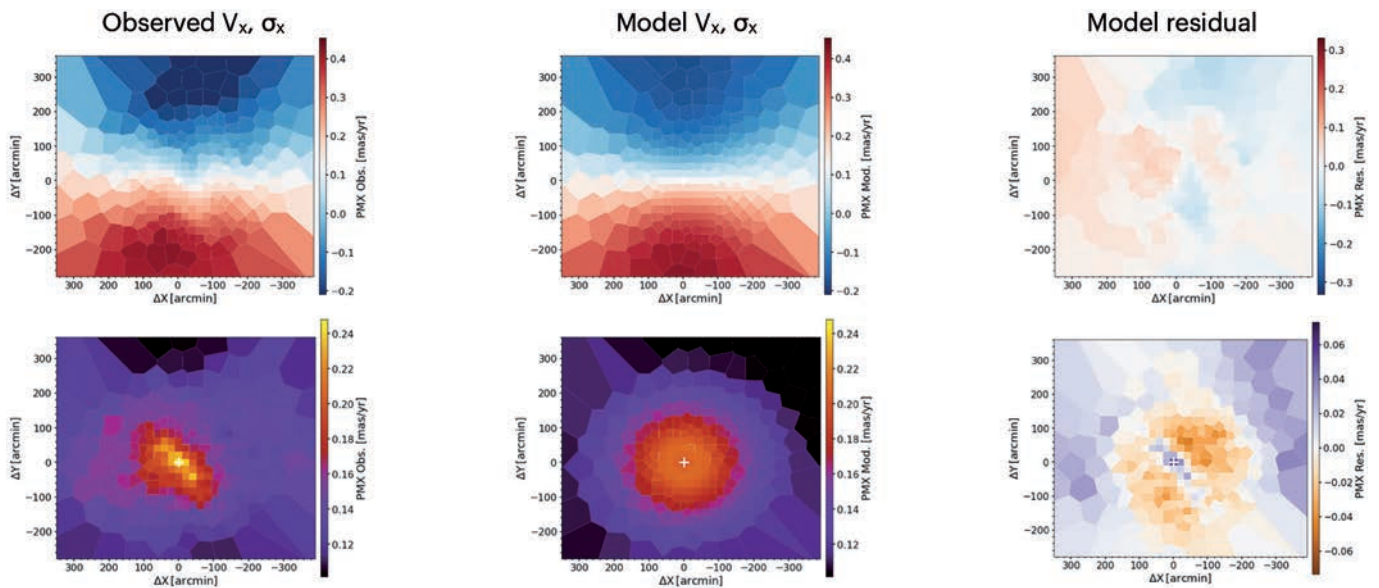
Die Magellanschen Wolken sind ein komplexes System aus zwei wechselwirkenden Zwerggalaxien, die auch mit der Milchstraße interagieren. Sowohl diese Wechselwirkungen als auch die Stern-, Gas- und Massenverteilungen bestimmen ihre dynamische Situation. Ein einfaches achsensymmetrisches dynamisches Modell, das auf den Jeans-Gleichungen basiert, um die Gaia-Eigenbewegung von etwa einer Million Sternen zu interpretieren, sagt die Geometrie und Ausrichtung der Großen Magellanschen Wolke korrekt voraus: Eine dünne Scheibengalaxie, geneigt in einem Winkel von 32 Grad und mit einer Masse von 14 Milliarden Sonnenmassen innerhalb einer Ausdehnung von 6,7 Kiloparsec. Das physikalische Modell beschreibt die mittlere Geschwindigkeit und die Geschwindigkeitsdispersion der stellaren Scheibe der Großen Magellanschen Wolke gut, kann aber nicht die Bewegungen des Balkens reproduzieren, der ein nicht-achsensymmetrischer Bestandteil ist. Neue tiefe VISTA-Beobachtungen haben das Ziel, Lichtquellen in der zentralen Region der Satellitengalaxie zu entflechten. Dort kann die Position eines möglichen Schwarzen Lochs mit einer neuen Analyse von MUSE-Daten überprüft werden; Gaia-Sky-Mapper-Beobachtungen sollen die Entdeckung von Quellen in dicht gedrängten Feldern verbessern.

Unter Verwendung der Multi-Epochen-Daten der VMC-Durchmusterung wurden die stellaren Eigenbewegungen im Hauptbereich der Kleinen Magellanschen Wolke und der inneren Großen Magellanschen Wolke gemessen. Das interne Geschwindigkeitsfeld der ersteren zeigt ein divergierendes Muster, das auf eine Gezeitenwechselwirkung mit der zehnmal masserei-

cheren Großen Magellanschen Wolke hinweist. Mehrere neu entdeckte Sternströme können mit vorhergesagten Gezeitenarmen in Verbindung gebracht werden.

Die Große Magellansche Wolke weist insgesamt ein geordnetes Rotationsmuster auf, während sich die Sterne innerhalb ihres Balkens auf langgestreckten Bahnen bewegen. Dies ist der erste Beobachtungsnachweis für solche Bahnen, die als das Rückgrat stellarer Balken gelten. Die jungen Sterne folgen einer Rotationskurve mit einer insgesamt höheren Geschwindigkeit im Vergleich zu denen mittleren Alters und alten Sternen. In der Peripherie der Magellanschen Wolken zeigte eine Kombination aus Nahinfrarot-Photometrie der VISTA-Hemisphären-Durchmusterung und Daten von Gaia neue stellare Merkmale. Diese weisen auf eine Verformung der Scheibe der Großen Magellanschen Wolke aufgrund der Wechselwirkung mit der Milchstraße hin und auf einen Gezeiten- bzw. Staudruckeffekt, der Material der Kleinen Magellanschen Wolke aufgrund der Wechselwirkung mit der Großen Magellanschen Wolke entfernt.

Um den Einfluss der Kleinen Magellanschen Wolke auf die äußere Region der Großen Magellanschen Wolke zu untersuchen, entwickelten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am AIP eine neue Methode zur Unterscheidung zwischen magellanschen und Milchstraßensternen. Diese basiert auf einem maschinellen Lernalgorithmus, der Daten von VMC, Gaia und den neuesten StarHorse-Entfernungsschätzungen kombiniert. Eine im Vergleich zu früheren Studien größere Anzahl magellanscher Quellen ermöglichte es, die Kinematik einzelner Sternpopulationen abzuleiten. Residuale Eigenbewegungen auf der nördlichen und nordöstlichen Seite

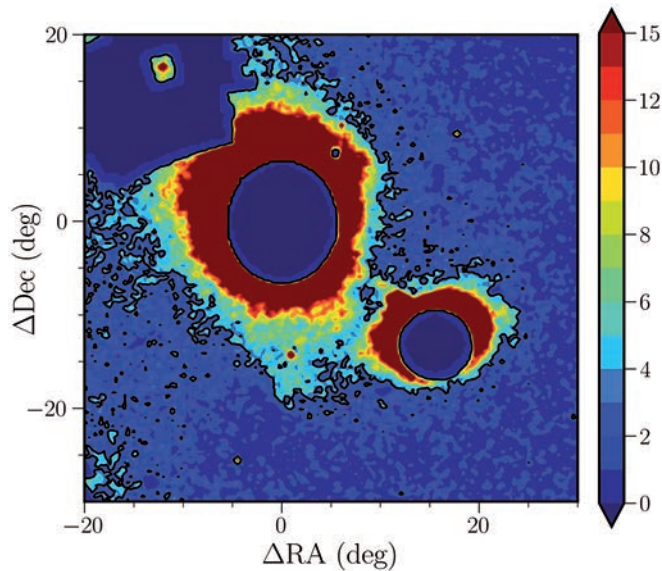


Beobachtete, modellierte und residuale Voronoi-Karten der Dynamik der Großen Magellanschen Wolke. Mittlere Eigenbewegungen und Eigenbewegungsdispersionen sind in der oberen und unteren Reihe dargestellt. Die Rotation und die zunehmende Geschwindigkeitsdispersion zum Zentrum hin sind deutlich sichtbar. Die hohen Residuen im Zentrum sind auf den Einfluss des Balkens zurückzuführen.

Observed, modelled and residual Voronoi maps of the dynamics of the Large Magellanic Cloud. Mean proper motions and proper motion dispersions are shown in top and bottom rows. The rotation and rising velocity dispersion towards the centre are clearly visible. The high residuals in the centre are due to the influence of the bar.

Credits: AIP/N. Kacharov

könnten auf den Einfluss der Milchstraße zurückzuführen sein, während Residuen in der südlichen inneren Region auf einen Zusammenhang mit der jüngsten Wechselwirkung zwischen den Magellanschen Wolken vor einigen hundert Millionen Jahren hindeuten, in Übereinstimmung mit den jüngsten Modellvorhersagen.



Morphologische Merkmale in den Randgebieten der Magellanschen Wolken, die aus VISTA-Beobachtungen stammen. Die zentralen Regionen der Großen und Kleinen Magellanschen Wolke sind maskiert. Die räumliche Auflösung beträgt 0,09 Quadratgrad, und der Farbbalken gibt die Anzahl der Sterne pro Auflösungselement an. Einige Strukturen sind bereits aus früheren Studien bekannt, während andere zum ersten Mal hervortraten.

Morphological features in the outskirts of the Magellanic Clouds obtained from VISTA observations. The central regions of the Large and Small Magellanic Cloud are masked. The spatial resolution is 0.09 square degrees and the colour bar depicts the number of stars per resolution element. Some features are known from previous studies whereas a few became apparent for the first time.

Credits: El Youssofi et al. 2021, MNRAS, 505, 2, 2020

SYSTEME VON SATELLITENGALAXIEN

Die räumliche Verteilung der Satellitengalaxiensysteme der Milchstraße und einer zunehmenden Anzahl von weiter entfernten Galaxien ist weniger isotrop als von kosmologischen Simulationen erwartet. Mit Hilfe neuer Beobachtungen ihrer Eigenbewegungen leiteten Forschende die vollständige dreidimensionale Bewegung vieler Satellitengalaxien der Milchstraße und sogar einiger Satelliten der nahen Andromeda-Galaxie ab. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Satelliten erstaunlich kohärent bewegen und dass sie offenbar höhere Bahnenergien haben und näher an ihren Perizentren, also den Bahnpunkten mit dem geringsten Abstand zur Hauptgalaxie, liegen als erwartet. Solche Unstimmigkeiten werfen Fragen über ihren Ursprung, ihre Beziehung zum umgebenden kosmischen Netz und sogar über die Natur der Dunklen Materie auf. Das AIP hat eine Junior Research Group etabliert welche sich mit Systemen von Satellitengalaxien und ihrer Dynamik befasst. Die neue Gruppe ist in der einzigartigen Position, diese Thematik durch die Kombination von Beobachtungen, theoretischen und numerischen Ansätzen umfassend zu untersuchen.

Massive galaxies including our Milky Way are surrounded by swarms of lower-mass satellite galaxies. The Large and Small Magellanic Clouds are the brightest satellites of the Milky Way. The members of the Dwarf Galaxies and the Galactic Halo section study the stars, structure and motion of the Magellanic Clouds and of other satellites as well as the number and distribution of such dwarf galaxies around the Milky Way and more distant systems.

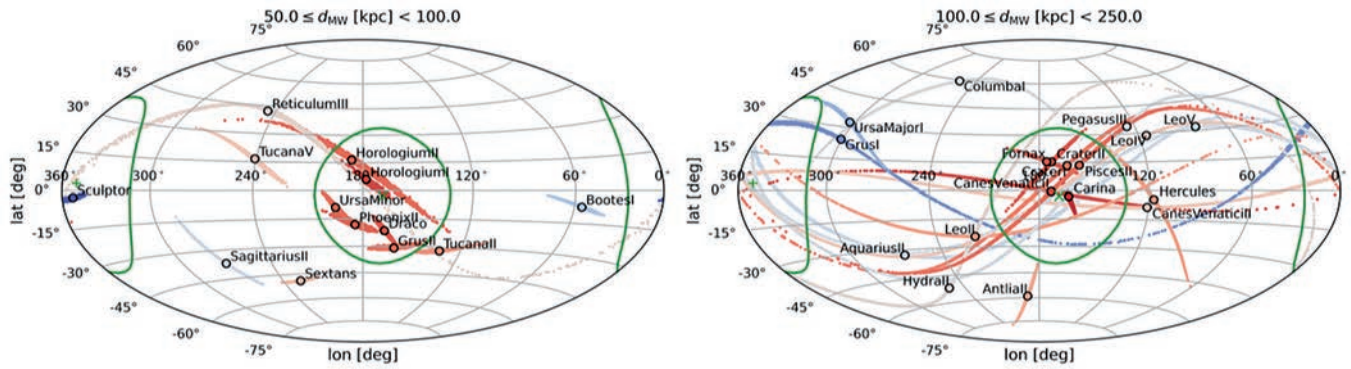
STARS AND DUST IN THE MAGELLANIC CLOUDS

Understanding the evolution of the Magellanic Clouds necessitates the study of the central regions densely packed with stars, gas and dust, and of the outer regions, less gravitationally bound and hence most subjected to interaction events. Young stars appear organized in a hierarchical and fractal pattern, similar to the pattern observed in gas structures. Using data from the VISTA survey of the Magellanic Clouds (VMC), scientists created a surface density map with over 300,000 young stars across the Large Magellanic Cloud. The locations and spatial boundaries of over 2,500 young stellar groups were then detected with a clustering algorithm. The statistical properties of these groups indicate that young stars in the Large Magellanic Cloud follow a fractal distribution and that supersonic turbulence is a dominant physical mechanism for generating this architecture.

A map of the total dust content of the Small and the Large Magellanic Cloud was derived using the spectral energy distribution of 0.5 and 2.5 million background galaxies, respectively. Deep optical and near-infrared photometry were combined and reddening inferred from a template-based routine. In the Small Magellanic Cloud, the resulting map agrees best with that derived from young stars. In the Large Magellanic Cloud, the resulting map is consistent with maps derived from red clump stars, the analysis of the star formation history and the morphology of far-infrared dust emission. The Cepheid variable stars are very bright, pulsating young stars which follow a tight relation between luminosity and pulsation period. This relation appears significantly affected by the metallicity of the stars. Scientists derived metallicities from a new sample of high-resolution spectra of Cepheids in the outer Milky Way disk. In preparation of the 4MOST surveys, effective temperatures as a function of pulsation phase have been determined for both Milky Way and Magellanic Clouds Cepheids. These temperatures have been used as a training sample for a machine learning algorithm to provide temperatures from low resolution spectra, which is an important step in the spectroscopic metallicity determination.

STELLAR MOTIONS IN THE MAGELLANIC CLOUDS

The Magellanic Clouds are a complex system of two interacting dwarf galaxies which also interact with the Milky Way. Their dynamical situation is driven both by these interactions and also by the stellar, gas, and mass distributions. A simple axisymmetric dynamical model, based on the Jeans equations, to interpret the Gaia proper motion of about one million stars correctly predicts the geometry and orientation of the Large



Die Richtungen der Drehimpulse der Milchstraßen-Satellitengalaxien häufen sich in der Nähe der Normalen zur galaktischen Satellitenebene (grüner Kreis), was zeigt, dass sie sich bevorzugt in die gleiche Richtung bewegen. Rötliche Farben kennzeichnen mitumlaufende Satelliten, Punktwolken zeigen aktuelle Messunsicherheiten. The directions of angular momenta of Milky Way satellite galaxies cluster close to the normal to the Galactic satellite plane (green circle), showing them to preferentially co-orbit. Redder colours indicate co-orbiting satellites, point clouds show current measurement uncertainties.

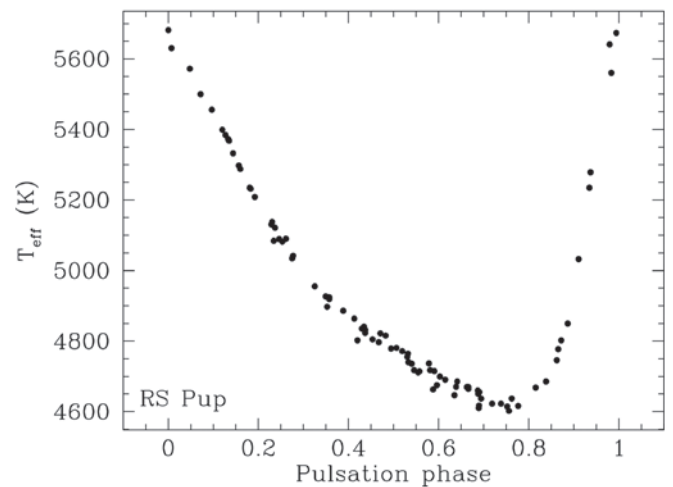
Credits: AIP/S. Taibi

Magellanic Cloud: a thin disk galaxy inclined at a 32 degree angle and with a mass of 14 billion solar masses at an extension of 6.7 kiloparsec. The physical model describes the mean velocity and velocity dispersion of the stellar disk of the Large Magellanic Cloud well, but fails to reproduce the motions of the bar, which is a non-axisymmetric feature. New deep VISTA observations aim to disentangle light sources in the central region of the Large Magellanic Cloud. There, the location of a possible black hole is being revisited with a new analysis of MUSE data, and Gaia sky mapper observations will improve the detection of sources in crowded fields.

Using the multi-epoch data from the VMC survey, stellar proper motions across the main body of the Small Magellanic Cloud and the inner Large Magellanic Cloud were measured. The internal velocity field of the Small Magellanic Cloud shows a diverging pattern which indicates tidal interactions with the ten times more massive Large Magellanic Cloud. Several streams of stars that can be associated with predicted tidal arms were also detected. The Large Magellanic Cloud displays an overall ordered rotational pattern, whereas stars within the bar move on elongated orbits. This is the first observational evidence for such orbits, which are considered to be the backbone of stellar bars. The young stars follow a rotation curve with an overall higher velocity compared to the intermediate-age and old stars. In the periphery of the Magellanic Clouds, a combination of near-infrared photometry from the VISTA Hemisphere Survey and data from Gaia showed new stellar features suggesting an elongation of the disk of the Large Magellanic Cloud, due to the interaction with the Milky Way, and a tidal or ram pressure effect removing material from the Small Magellanic Cloud, due to the interaction with the Large Magellanic Cloud.

To investigate the impact of the Small Magellanic Cloud on the outer region of the Large Magellanic Cloud, scientists at AIP developed a new method to distinguish between Magellanic and Milky Way stars. This is based on a machine learning algorithm, which combines data from VMC, Gaia and the newest StarHorse distance estimates. With an increased

number of Magellanic sources compared to previous studies, it became possible to derive the kinematics of individual stellar populations. Residual proper motions on the northern and north-eastern sides could be ascribed to the influence of the Milky Way, whereas residuals in the southern inner region suggest a connection with the most recent interaction between the Magellanic Clouds a few hundred million years ago, in agreement with recent model predictions.



Die Variation der effektiven Temperatur des Cepheiden-Sterns RS Puppis über seinen Pulsationszyklus, bestimmt durch eine Baade-Wesselink-Analyse des pulsierenden Sterns unter Verwendung von optischen und Nahinfrarot-Lichtkurven sowie einer Radialgeschwindigkeitskurve.

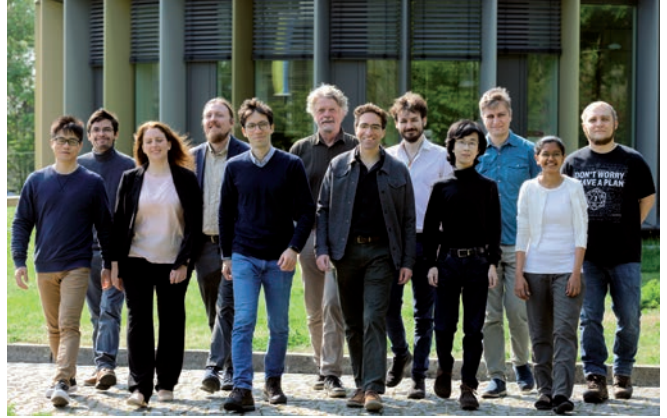
The variation of effective temperature of the Cepheid star RS Puppis over its pulsation cycle as determined from a Baade-Wesselink analysis of the pulsating star using optical and near-infrared light curves as well as a radial velocity curve.

Credits: AIP/J. Storm

SYSTEMS OF SATELLITE GALAXIES

The spatial distribution of the satellite galaxy systems of the Milky Way, as well as an increasing number of more distant hosts, are found to be less isotropic than expected from cosmological simulations. Using new observations of the proper motions, researchers inferred the full three-dimensional motion of many satellite galaxies of the Milky Way and even some satellites of the nearby Andromeda galaxy. These

revealed that the satellites move surprisingly coherently, and that they appear to have higher orbital energies and are closer to their pericenters, that is, the orbit points that are closest to their host galaxy, than expected. Such mismatches raise questions about their origin, their relation to the larger-scale cosmic web, and even the nature of dark matter. The AIP has established a junior research group that is focused on studying systems of satellite galaxies and their dynamics. The new group is uniquely positioned to comprehensively address these issues by combining observational, theoretical, and numerical approaches.



Pengfei Li, Stefano Souza, Marica Valentini, Marcel Pawlowski, Salvatore Taibi, Jesper Storm, Nikolay Kacharov, Erasmo Trentin, Kosuke Jamie Kanehisa, Alexey Mints, Abinaya Omkumar, Thomas Schmidt



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN SELECTED PUBLICATIONS

Bell, C. P. M. et al. (2020): **The intrinsic reddening of the Magellanic Clouds as traced by background galaxies – II. The Small Magellanic Cloud**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 499, 993

Niederhofer, F. et al. (2021): **The VMC survey – XLI. Stellar proper motions within the Small Magellanic Cloud**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 502, 2859

El Youssoufi, D. et al. (2021): **Stellar substructures in the periphery of the Magellanic Clouds with the VISTA hemisphere survey from the red clump and other tracers**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 505, 2020

Schmidt, T. et al. (2020): **The VMC survey – XXXVIII. The proper motion of the Magellanic Bridge**, Astronomy & Astrophysics, 641, A134

Gaia Collaboration; Luri, X. et al. (2021): **Gaia Early Data Release 3. Structure and Properties of the Magellanic Clouds**, Astronomy & Astrophysics, 649, A7

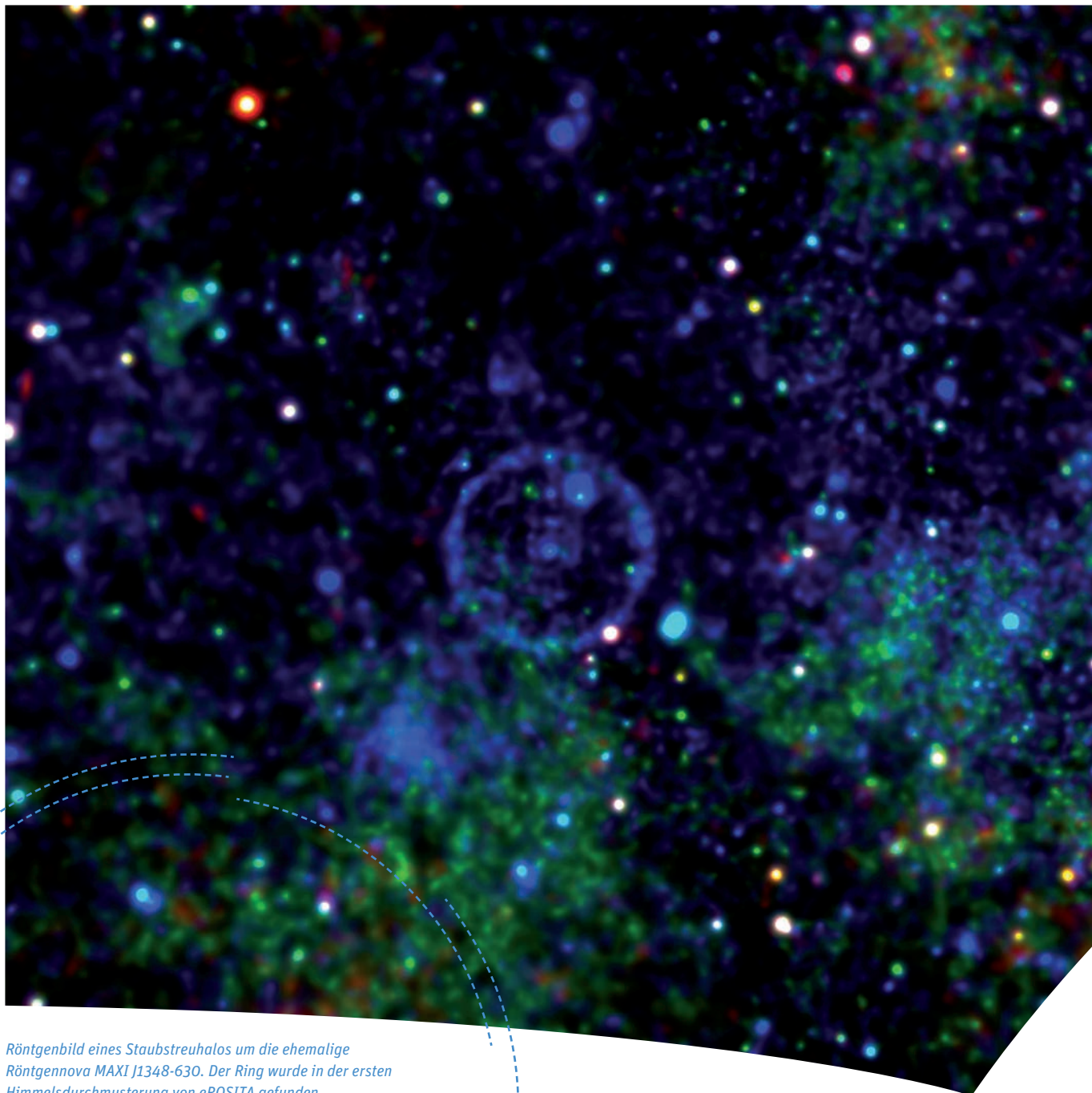
Müller, O. et al. (2021): **The coherent motion of Cen A dwarf satellite galaxies remains a challenge for Λ CDM cosmology**, Astronomy & Astrophysics, 645, L5

Lemasle, B., Hanke, M., Storm, J., Bono, G., Grebel, E. K. (2020): **Atmospheric parameters of Cepheids from flux ratios with ATHOS**, Astronomy & Astrophysics, 641, A71

Pawlowski, M. S., Tony Sohn, S. (2021): **On the Co-orbitation of Satellite Galaxies along the Great Plane of Andromeda: NGC 147, NGC 185, and Expectations from Cosmological Simulations**, The Astrophysical Journal, 923, 42

Graczyk, D. et al. (2020): **A Distance Determination to the Small Magellanic Cloud with an Accuracy of Better than Two Percent Based on Late-type Eclipsing Binary Stars**, The Astrophysical Journal, 904, 13

Alfaro-Cuello, M. et al. (2020): **A Deep View into the Nucleus of the Sagittarius Dwarf Spheroidal Galaxy with MUSE. II. Kinematic Characterization of the Stellar Populations**, The Astrophysical Journal, 892, 20



*Röntgenbild eines Staubstreuhalos um die ehemalige Röntgennova MAXI J1348-630. Der Ring wurde in der ersten Himmelsdurchmusterung von eROSITA gefunden.
X-ray image of a dust scattering ring around the X-ray nova remnant MAXI J1348-630. The ring was discovered by eROSITA during its first X-ray all-sky survey.*

Credits: MPE/AIP/G. Lamer

GALAXIEN UND QUASARE

GALAXIES AND QUASARS

Galaxien und Quasare sind die leuchtkräftigsten Objekte im Universum. Es gilt, die Entstehungs- und Entwicklungswege dieser Systeme aus astronomischen Beobachtungen zu rekonstruieren und die dabei relevanten Prozesse im Rahmen der Gesetze der Physik zu verstehen. Insbesondere sind die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den Sternen in Galaxien, dem interstellaren und zirkumgalaktischen Gas, der Dunklen Materie im Kosmos sowie Schwarzen Löchern in den Galaxienzentren von Interesse.

DIE KOMPLEXE INNERE STRUKTUR DER MASSEREICHSTEN GALAXIEN

Ein grundlegendes Problem bei der Untersuchung von Galaxien ist die Tatsache, dass sie immer nur in Projektion beobachtet werden können. Die dreidimensionale Struktur einer Galaxie lässt sich daher nur mit Hilfe von vereinfachenden Modellen und Zusatzannahmen herausbekommen. Am größten ist dieses Problem bei sehr massereichen Galaxien, die häufig triaxiale Formen zeigen, also in etwa Rugby-Bällen ähneln. Bei einer Untersuchung der massereichsten Galaxien im lokalen Universum mit dem MUSE-Instrument entdeckten Forschende des AIP ein System, das die komplexeste innere Struktur aufweist, die jemals in einer Galaxie nachgewiesen wurde. Die detaillierte dynamische Modellierung ergab, dass die Sterne in dieser Galaxie einer Vielzahl unterschiedlichster Bahnen folgen, mit Vibrations-, Rotations- und Gegenrotationsbewegungen um die zwei Hauptachsen des Systems. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Entstehungsgeschichte solcher Galaxien außerordentlich ereignisreich verlaufen sein muss.

EIN DETAILLIERTER ZENSUS VON AKTIVEN GALAXIENKERNEN

Das CARS-Projekt (Close AGN Reference Survey) zielt darauf ab, die Auswirkungen Schwarzer Löcher in den Zentren von Galaxien auf ihre Umgebung besser zu verstehen. Dazu wurden vielfältige Beobachtungsdaten für eine Stichprobe von etwa 40 nahen kernaktiven Galaxien eingeworben und ausgewertet. Nachdem CARS in den letzten Jahren bereits etliche interessante Einzeluntersuchungen ermöglicht hatte, erschien nunmehr die vollständige CARS-Durchmusterung als allgemein verfügbare Datenpublikation mit umfassenden Analyseprodukten für alle Daten. Zu den wichtigsten Resultaten des Projekts gehört die Erkenntnis, dass energetische Ausflüsse aus aktiven Kernen von Galaxien zwar häufig vorkommen, diese aber überwiegend nicht die jeweilige Galaxie als Ganzes verändern. Entgegen mancher theoretischer Erwartungen ist die Sternentstehungsrate in den Galaxien auch nicht merklich unterdrückt oder erhöht gegenüber inaktiven Galaxien mit vergleichbaren Stern- und Gasmassen.

Spektroskopische Diagnostik ferner Galaxien

Spektrale Emissionslinien des ionisierten interstellaren Gases gehören zu den wichtigsten Informationsquellen über die astrophysikalischen Zustände in Galaxien. Bei solch lichtschwachen und weit entfernten Objekten mit hoher Rotverschiebung des Lichts sind diese Informationen nur schwer zugänglich. In einer automatischen Auswertung von über 2.000 Galaxienspektren bei Rotverschiebungen zwischen 1,5 und 4,5, aufgenommen mit dem MUSE-Instrument, wurde für viele dieser Systeme zum ersten Mal eine Vielzahl von Emissionslinien des ultravioletten Spektralbereichs entdeckt und vermessen. Anhand ausgewählter Linienverhältnisse sowie durch den Vergleich mit Modellen ließen sich anschließend relevante physikalische Parameter für solche Galaxien bestimmen. Diese Ergebnisse dienen als Grundlage für zukünftige Untersuchungen bei noch höheren Rotverschiebungen bis hin zur Epoche der kosmischen Reionisation. Das Team veröffentlichte die Ergebnisse dieser Studie zusammen mit einer eigens entwickelten Analysesoftware.

Das neue Bild des Röntgenhimmels mit eROSITA

Seit Dezember 2019 tastet das Weltraumteleskop eROSITA den Himmel ab, um die umfangreichste Bestandsaufnahme aller Röntgenobjekte durchzuführen. Es folgt der Bewegung der Erde um die Sonne und erstellt alle sechs Monate ein vollständiges Bild des Himmels. Das Instrument rotiert innerhalb von vier Stunden um seine eigene Achse und wird insgesamt acht Mal den gesamten Himmel abtasten. Die zusammengesetzten Daten entwerfen nach und nach ein neues dynamisches und zugleich tiefes Bild des hochenergetischen Universums.

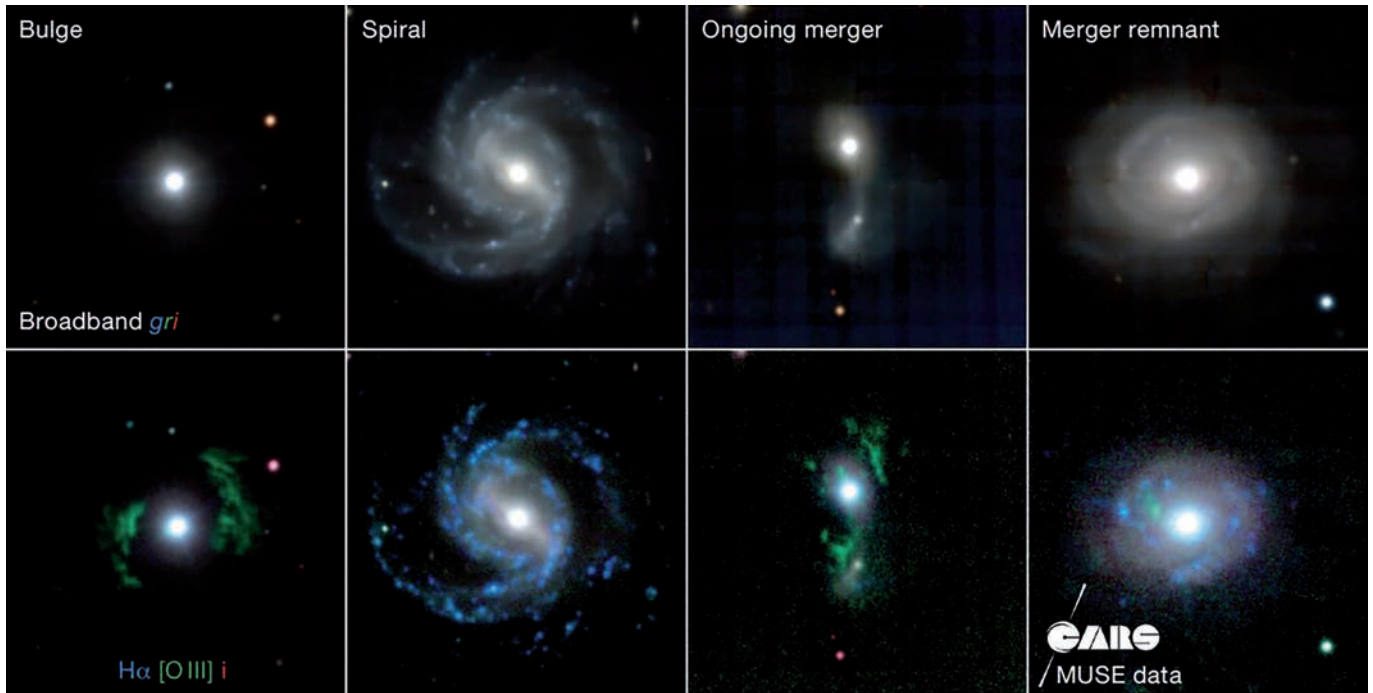
Kosmisches Röntgenecho

Galaktische stellare Schwarze Löcher können gewaltige Ausbrüche zeigen, so genannte Röntgenovae. Im Januar 2019 wurde von der Internationalen Raumstation ISS aus die extrem helle Röntgenova MAXI J1348-630 um ein stellares Schwarzes Loch entdeckt. An dieser Stelle des Himmels registrierte eROSITA ein Jahr später einen perfekten Röntgenring, das Lichtecho der Nova, gestreut an einer Staubschicht im interstellaren Medium und das größte bekannte derartige Objekt. Besondere Bedeutung erlangte der Zufallsfund durch die Kombination genauer Messungen der Ringgröße, der Zeitverzögerung zwischen dem Ausbruch und der Beobachtung des Rings und des Abstands zur Staubschicht mit Hilfe von Gaia-Daten. Damit gelang die genaueste je erreichte Bestimmung der Entfernung zu einem galaktischen Schwarzen Loch und somit die genaueste Bestimmung der Leuchtkraft der das Schwarze Loch umgebenden Materie.



TEAM

Sabina Bahic, Anika Beer, Roisín Brogan, Mark den Brok, Miquel Colom i Bernadich, Laurent Gabriel Stuetz, Yohana Herrero Alonso, David Sebastiaan Homan, Kira Knauff, Davor Krajnović, Mirko Krumpe, Jan Kurpas, Georg Lamer, Adriana Mancini Pires, Nico Manthey, Guilherme dos Santos Couto, Kasper Schmidt, Axel Schwöpe, Thomas Sedgwick, Annegret Standke, Dominic Taylor, Iris Traulsen, Tanya Urrutia, Jakob Walcher, Peter Weilbacher, Lutz Wisotzki (head)



Echtfarbbilder von Galaxien mit aktiven Kernen, aufgenommen mit dem MUSE-Instrument und untersucht im Rahmen des CARS-Projekts.
True colour images of galaxies with active nuclei obtained with the MUSE instrument and investigated within the CARS project.

Credits: AIP, B. Husemann and The Close AGN Reference (CARS) Team, <https://cars.aip.de>

SPEKTRALLINIEN IN DEN SPEKTREN VON NEUTRONENSTERNEN

Die spektrale Empfindlichkeit der Kameras von eROSITA wird anhand der Beobachtungen von Neutronensternen geeicht. Diese Sterne wurden ausgesucht, weil ihr Spektralverlauf dem von Schwarzen Körpern, also idealisierten thermischen Strahlungsquellen, nahekommt und kann daher, im Prinzip, sehr gut durch Modellrechnungen nachvollzogen werden. Schon das Weltraumteleskop XMM-Newton fand jedoch Abweichungen vom theoretisch einfachen Modell, die entweder als Zyklotronresonanzen oder als Absorptionslinien aus den Sternatmosphären interpretiert wurden. Das bessere spektrale Auflösungsvermögen von eROSITA führte zur Entdeckung von weiteren Spektrallinien oder sogar Liniensystemen, die abhängig von der Rotationsphase der Sternüberreste verfolgt werden können. Ihre theoretische Deutung erlaubt Rückschlüsse auf komplexe Temperatur- und Magnetfeldverteilungen in den Neutronensternatmosphären.

QUASI-PERIODISCHE AUSBRÜCHE IN AKTIVEN GALAXIENKERNEN

Quasi-periodische Ausbrüche (QPEs) der Röntgenhelligkeit auf Zeitskalen von Stunden können in der Nähe supermassereicher Schwarzer Löcher in den Zentren aktiver Galaxien entstehen. Es ist gegenwärtig noch unklar, was genau diese Ereignisse hervorruft und wie lange sie andauern. Durch eine systematische Suche mit eROSITA gelang die Entdeckung zweier weiterer QPE-Quellen, zusätzlich zu zwei bereits zufällig gefundenen. Möglicherweise handelt es sich dabei um sogenannte EMRIs (Extreme Mass Ratio Inspirals), die Verschmelzung eines kompakten stellaren Objektes mit dem zentralen Schwarzen Loch. Diese sind möglicherweise Stan-

dardkerzen und damit von hoher Bedeutung für das Gravitationswellenobservatorium LISA.

DURCHMUSTERUNGEN DES RÖNTGENHIMMELS MIT XMM-NEWTON

XMM-Newton ist das Flaggschiff-Röntgenobservatorium der ESA und lieferte die Daten für mehr als 7.000 wissenschaftliche Publikationen. Grundlage dafür sind u.a. die am AIP entwickelten Algorithmen zur Entdeckung der Vielzahl neu gefundener Röntgenquellen. Eine neu eingerichtete Webseite stellt die Datenprodukte von weit mehr als 8.000 kombinierten Beobachtungen weltweit zur Verfügung. Die Datenveröffentlichung beinhaltet detaillierte Bilder, Kataloge, Lichtkurven und optische Suchkarten. Die Kataloge werden weltweit genutzt und bilden den Ausgangspunkt vieler wissenschaftlicher Studien, z.B. zur Suche nach ultraleuchtkräftigen Röntgenquellen, nach neuen Neutronensternen und allen Arten zeitveränderlicher Phänomene am Röntgenhimmel.

Galaxies and quasars are the most luminous objects in the universe. The challenge is to reconstruct their formation and subsequent evolution pathways from astronomical observations and understand the relevant processes in the context of the laws of physics. Of particular interest are the diverse interactions between stars in galaxies, the interstellar and circumgalactic gas, cosmic dark matter, and black holes in the centres of galaxies.

THE COMPLEX INNER STRUCTURE OF THE MOST MASSIVE GALAXIES

A fundamental problem in the observational study of galaxies is the fact that they can only be seen in projection, not as the three-dimensional objects that they really are. In order to infer the true inner structure of a galaxy, models must be employed that are based on several, sometimes oversimplifying, assumptions. The deprojection challenge is most severe for very massive galaxies which tend to have triaxial ellipsoidal shapes, i.e., similar to rugby balls. While investigating a sample of the most massive galaxies in the nearby universe with the MUSE instrument, one system was discovered to exhibit the most complex inner structure of any observed galaxy to date. Detailed dynamical modelling of the observed spectra revealed a multitude of diverse stellar orbits that vibrate, rotate and counter-rotate around the two main axes of the system. These results show that such galaxies must have experienced a very eventful formation history.

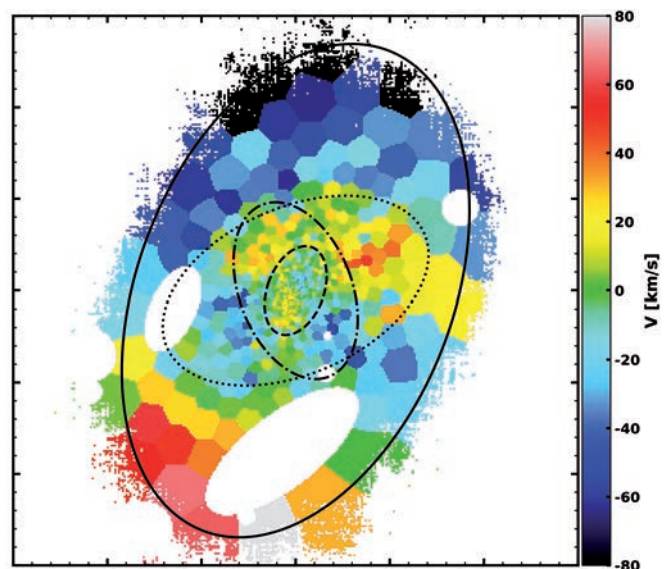
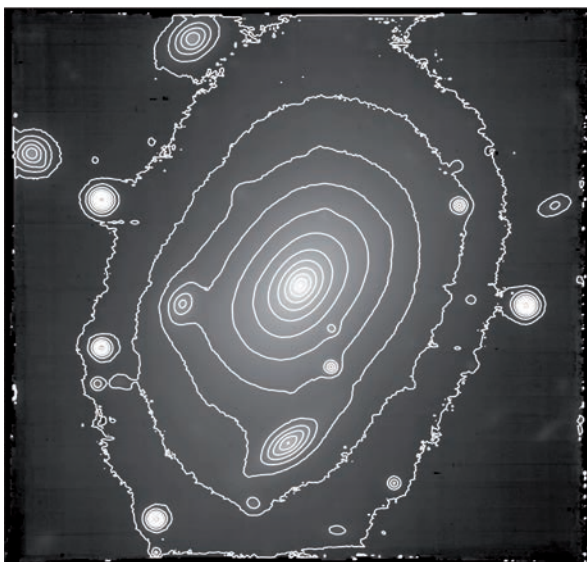
A DETAILED CENSUS OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI

The CARS project (Close AGN Reference Survey) aims at a better understanding of how black holes in the centres of

galaxies influence their galactic environments. Extensive observational data for about 40 nearby active galaxies was obtained and analysed. After CARS already facilitated several interesting studies of individual objects, now the full CARS survey material was made available to the scientific community, including extensive high-level data analysis products. Among the most important results of the project is the finding that energetic outflows from the active nuclei – while very common among such galaxies – usually do not reach very far out and thus rarely affect the host galaxy as a whole. Contrary to some theoretical expectations, the star formation rates in these galaxies are neither suppressed nor enhanced when compared with inactive galaxies of comparable stellar and gas masses.

SPECTROSCOPIC DIAGNOSTICS OF DISTANT GALAXIES

Spectral emission lines from ionized interstellar gas are among the most important sources of information about the astrophysical conditions in galaxies. For such faint and distant objects at high redshifts, this information is extremely difficult to access. In an analysis of the spectra of more than 2,000 faint galaxies at redshifts between 1.5 and 4.5, obtained with the MUSE instrument, a multitude of emission lines from the ultraviolet spectral range was discovered and measured, for most of these systems for the first time. On the basis of selected diagnostic emission line ratios and by comparison with models, it was then possible to determine the physical parameters for such galaxies. These results serve as basis for future investigations at even higher redshifts, up to the epoch of cosmic reionization. The team published the results of this study together with a specifically developed analysis software.



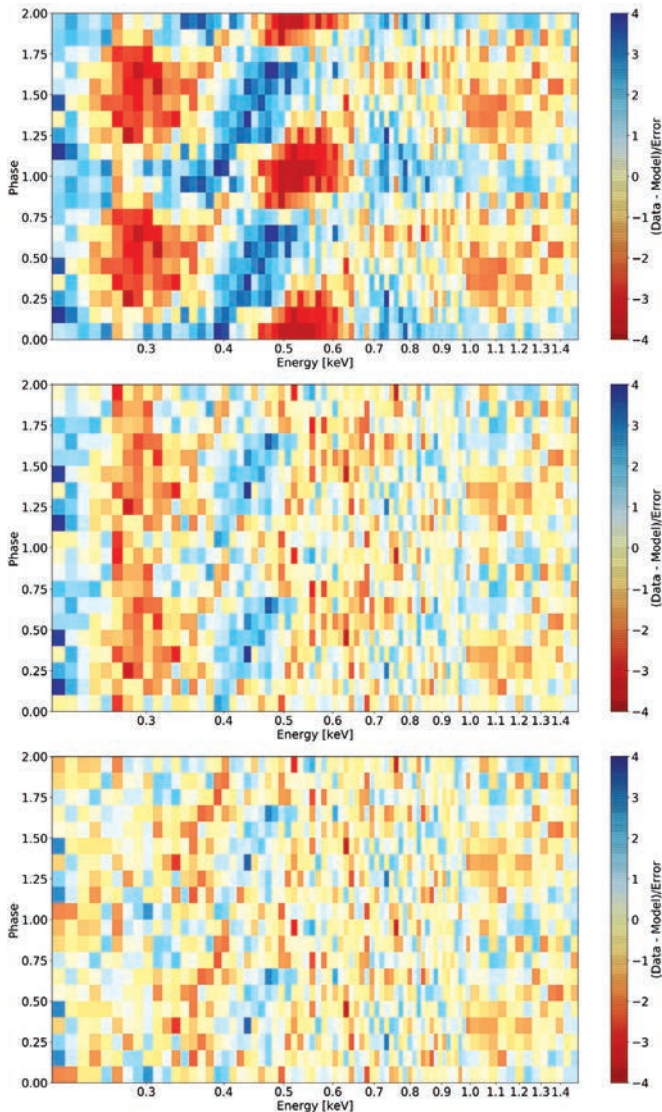
Links: Bild der elliptischen Galaxie PGC046832, eine der massereichsten Galaxien im lokalen Universum. Rechts: Radialgeschwindigkeitskarte dieser Galaxie, im gleichen Maßstab dargestellt. Die Farbe deutet an, ob sich die Sterne relativ zum Systemschwerpunkt auf uns zu (blau) oder von uns weg bewegen (rot). Die dynamische Modellierung ergab, dass die Galaxie aus einer Überlagerung von mindestens fünf unterschiedlichen Komponenten besteht, von denen die inneren vier jeweils mit einer schwarzen Ellipse gekennzeichnet sind.

Left: Image of the elliptical galaxy PGC046832, one of the most massive galaxies in the local universe. Right: Radial velocity map of the same galaxy, displayed with the same scale. Colours indicate the stellar motions (blue approaching to and red moving away from us, relative to the centre of gravity). The dynamical modelling revealed a superposition of at least five distinct components, the inner four of which are each indicated by an ellipse in black.

Credits: AIP/D. Krajnović

THE NEW IMAGE OF THE X-RAY SKY ESTABLISHED BY EROSITA

Since December 2019, the space telescope eROSITA has been performing the most comprehensive census of the X-ray sky. Following the motion of the Earth around the Sun, it creates one image of the whole sky every six months. Rotating every four hours, it will continue its scan of the sky until eight surveys are completed. The combined data gradually establish a new deep and dynamic image of the high-energy universe.



Zeitaufgelöste Röntgenspektroskopie des Röntgenpulsars B0656+14 mit eROSITA. Dargestellt sind die Residuen zwischen Beobachtungsdaten und Modellrechnungen als Funktion der Rotationsphase. Je gleichmäßiger und je kleiner die Fehler sind (helle Felder), umso genauer stimmen Modell und Beobachtungen überein. Die Komplexität der Modelle nimmt in den Teilbildern von oben nach unten zu und weist eine oder mehrere Spektrallinien eindeutig nach.
 Time-resolved X-ray spectroscopy of the X-ray pulsar B0656+14 with eROSITA. Shown are the residuals between observed data and model computations as a function of the rotation phase. The more uniform and the smaller the errors are (bright fields), the more accurate is the match between model and observations. The model complexity grows from the top to the bottom panels and uniquely identifies one or even more spectral lines.

Credits: AIP/J. Kurpas, A. Schwöpe

COSMIC X-RAY ECHO

Galactic stellar black holes may show tremendous outbursts, so called X-ray novae. In January 2019, the extremely bright X-ray nova MAXI J1348-630 was discovered around a stellar black hole from the International Space Station (ISS). When eROSITA passed the region about one year later, it registered a perfect ring. It had discovered the light echo of the X-ray nova scattered at a dust layer in the interstellar medium, the largest yet known structure of its kind. The combination of exact measurements of its size, the time delay between the outburst and the ring detection, and the distance to the scattering layer with Gaia data revealed the most precise distance determination to a galactic black hole ever and hence the luminosity of its surrounding material.

LINES IN THE SPECTRA OF NEUTRON STARS

The spectral sensitivity of the X-ray cameras onboard eROSITA is monitored regularly using isolated neutron stars. Their spectra resemble those of an idealized black body in thermal equilibrium, and, thus, can be modelled relatively easily. XMM-Newton already discovered deviations from the simple model that were preliminary but non-conclusively interpreted as cyclotron resonances or atomic absorption lines originating from the stellar remnant's photosphere. The improved spectral resolution of eROSITA led to the discovery of more lines or even line systems that could be traced as a function of the rotation phase of the stellar remnants. Their theoretical interpretation allows inferences on complex temperature and magnetic field distributions on the neutron stars' surface.

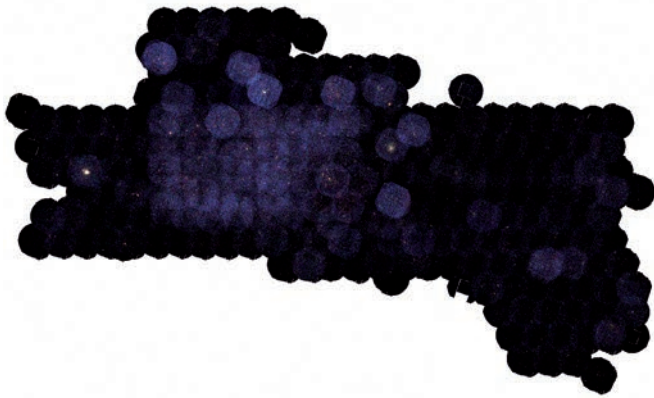
QUASI-PERIODIC ERUPTIONS IN ACTIVE GALACTIC NUCLEI

Quasi-periodic eruptions (QPEs) are high-amplitude bursts of X-ray radiation recurring every few hours and originating near the central supermassive black holes of active galactic nuclei (AGNs). It is currently unknown what triggers these events and how long they last. Previously, only two such sources were known, found serendipitously in archival data. Systematic searches in eROSITA data led to the discovery of two further such systems. A possible explanation makes QPEs a viable candidate for so-called EMRIs (Extreme Mass Ratio Inspirals), mergers of a compact stellar object with the central black hole. These are possibly standard candles and thus of high importance for the gravitational wave observatory LISA.

X-RAY SURVEYS WITH XMM-NEWTON

XMM-Newton is the flagship X-ray observatory of the European Space Agency ESA. It has been in operation for over 20 years and has delivered data for more than 7,000 scientific publications. This success is in part based on AIP-built and maintained algorithms for source detection and characterization of all detected X-ray sources. A new website gives worldwide access to the data products of the more than 8,000 observations with overlapping sky areas. The data releases comprise X-ray images, catalogues, sensitivity maps, light curves and optical finding charts. They serve as starting points for many different scientific investigations by the

international community addressing, for example, ultra-luminous X-ray sources, the search for new neutron stars and all kinds of time-dependent phenomena in the X-ray sky.



Größtes zusammenhängendes Feld von insgesamt 352 Röntgenbeobachtungen mit dem Weltraumteleskop XMM-Newton, gemeinsam prozessiert für den Katalog mit überlappenden Beobachtungen.

Largest contiguous stack of 352 individual XMM-Newton X-ray observations processed jointly for the stacked catalogue.

Credits: AIP/I. Traulsen



Guilherme dos Santos Couto, Tom Sedgwick, Jakob Walcher, Sowgat Muzahid, Jonathan Langentepe-Kong, Kira Knauff, Laurent Gabriel Stütz, Adriana Pires, Yohana Herrero Alonso, Samet Ok, Georg Lamer, Iris Traulsen, David Sebastiaan Homan, Sabina Bahic, Jan Kurpas, Dusan Tubin, Annegret Standke, Roisin Brogan, Nico Manthey, Genoveva Micheva, Axel Schwöpe, Constanza Muñoz Lopez, Mirko Krumpe, Tanya Urrutia, Lutz Wisotzki



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN

SELECTED PUBLICATIONS

Lamer, G., Schwöpe, A. D., Predehl, P., Traulsen, I., Wilms, J., Freyberg, M. (2021): **A giant X-ray dust scattering ring discovered with SRG/eROSITA around the black hole transient MAXI J1348–630**, *Astronomy & Astrophysics*, 647, A7

Traulsen, I. et al. (2020): **The XMM-Newton serendipitous survey**, *Astronomy & Astrophysics*, 641, A137

Schwöpe, A. D. et al. (2022): **Phase-resolved X-ray spectroscopy of PSR B0656+14 with SRG/eROSITA and XMM-Newton**, *Astronomy & Astrophysics*, 661, A41

Schwöpe, A. D., Worpel, H., Traulsen, I., Sablowski, D. (2020): **The various accretion modes of AM Herculis: Clues from multi-wavelength observations in high accretion states**, *Astronomy & Astrophysics*, 642, A134

Arcodia, R. et al. (2021): **X-ray quasi-periodic eruptions from two previously quiescent galaxies**, *Nature*, 592, 704

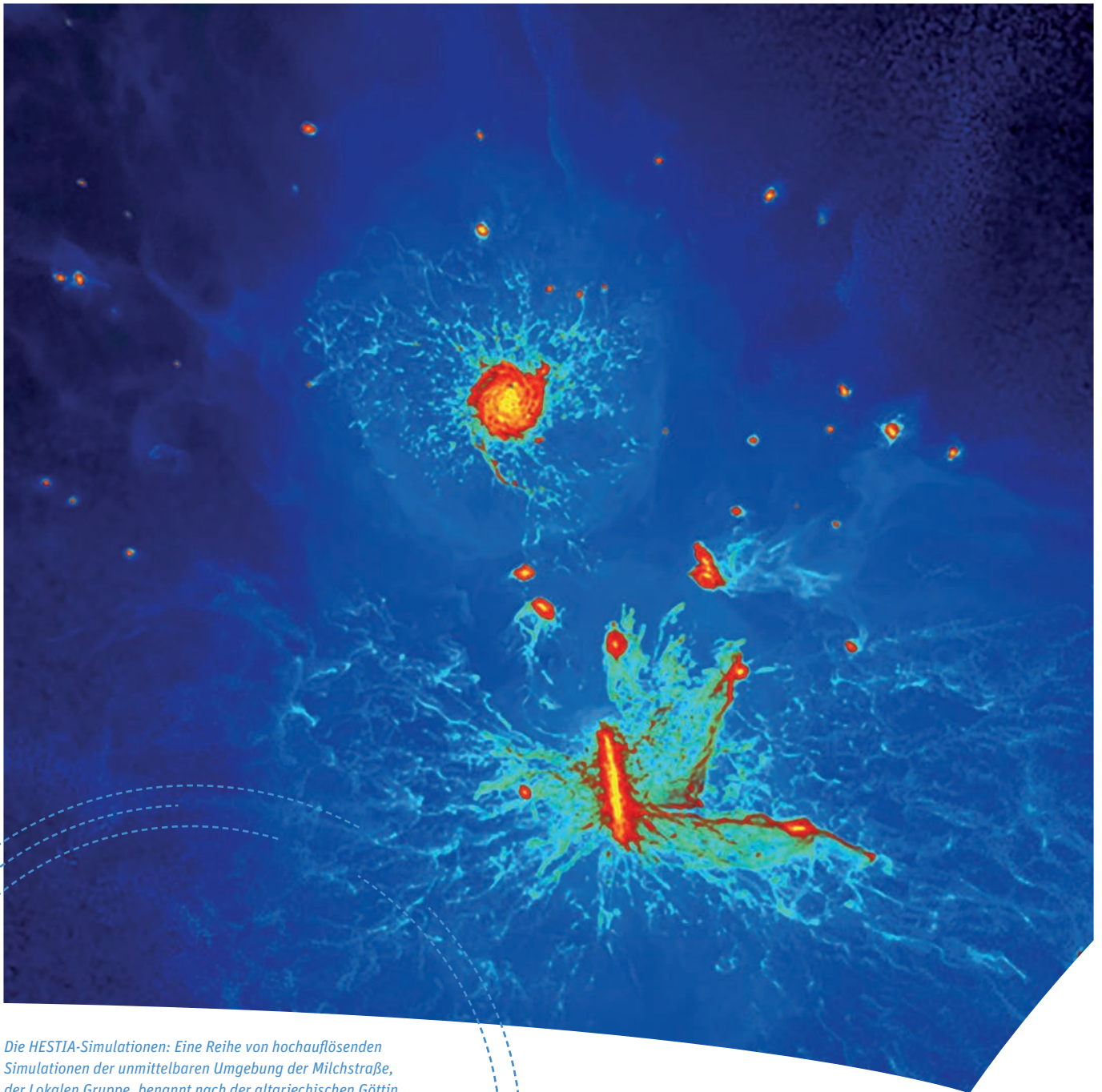
den Brok, M., Krajnović, D., Emsellem, E., Brinchmann, J., Maseda, M. (2021): **Dynamical modelling of the twisted galaxy PGC 046832**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 508, 4786

Schmidt, K. B. et al. (2021): **Recovery and analysis of rest-frame UV emission lines in 2052 galaxies observed with MUSE at $1.5 < z < 6.4$** , *Astronomy & Astrophysics*, 654, A80

Herrero Alonso, Y. et al. (2021): **The MUSE-Wide survey: Three-dimensional clustering analysis of Lyman- α emitters at $3.3 < z < 6$** , *Astronomy & Astrophysics*, 653, A136

Bacon, R. et al. (2021): **The MUSE Extremely Deep Field: The cosmic web in emission at high redshift**, *Astronomy & Astrophysics*, 647, A107

Krajnović, D. et al. (2020): **Formation channels of slowly rotating early-type galaxies**, *Astronomy & Astrophysics*, 635, A129



Die HESTIA-Simulationen: Eine Reihe von hochauflösenden Simulationen der unmittelbaren Umgebung der Milchstraße, der Lokalen Gruppe, benannt nach der altgriechischen Göttin der Familie und des Hauses. Abgebildet ist die Gasdichte der Milchstraße und Andromeda-Galaxie.

The HESTIA simulations: A set of "High-resolution Environmental Simulations of The Immediate Area", the Local Group, named after the Ancient Greek goddess of the family and home. Shown is the gas density for the Milky Way and the Andromeda Galaxy.

Credits: AIP/N. Libeskind

KOSMOLOGIE UND HOCHENERGIE-ASTROPHYSIK

COSMOLOGY AND HIGH-ENERGY ASTROPHYSICS

In den vergangenen 13,8 Milliarden Jahren seit dem Urknall entstand – aus einem ursprünglich nahezu homogenen Medium – das „Cosmic Web“. Das gewaltige Netz aus Filamenten durchzieht unser Universum und umspannt die Hohlräume im All. Die Physik der Entstehung kosmologischer Strukturen ist Gegenstand der Kosmologie, die den Ursprung und die Entwicklung des Universums erforscht. Am AIP testen Kosmologinnen und Kosmologen ihre Theorien durch aufwändige Computersimulationen. Mit deren Hilfe bilden sie die Entstehung und Entwicklung kosmischer Strukturen nach – von den ersten Galaxien über das intergalaktische Medium bis hin zu den Populationen von Galaxien und Galaxienhaufen und der großräumigen Struktur des Universums selbst. So erlangen sie Erkenntnisse über das Strukturwachstum auf Grund der anziehenden Wirkung der Gravitation und darüber, wie magnetohydrodynamische Prozesse im Gas zur Entstehung von Sternen und supermassereichen Schwarzen Löchern führen. Eine wichtige Rolle spielt dabei auch die dynamische und thermische Rückwirkung dieser Objekte auf das kosmische Gas, die als Rückkopplung bezeichnet wird. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler analysieren, wie plasmaphysikalische und hochenergetische, astrophysikalische Prozesse Teilchen der kosmischen Strahlung erzeugen und diese wiederum auf das umliegende thermische Plasma rückwirken.

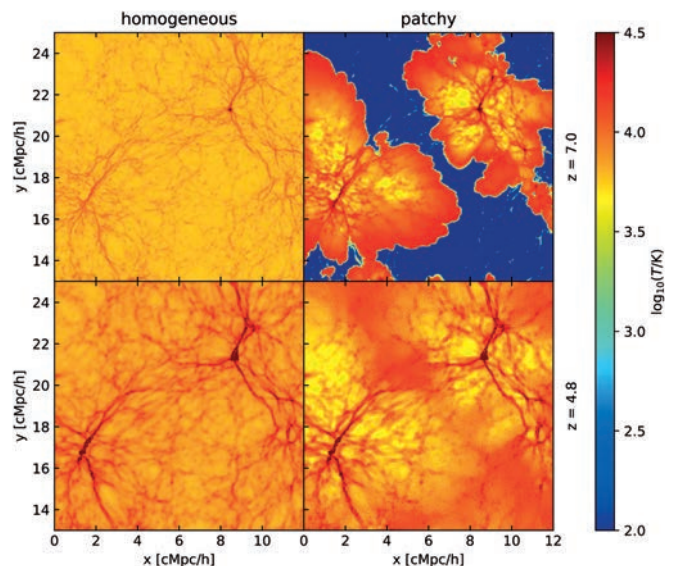
ERSTE GALAXIEN UND KOSMISCHE REIONISIERUNG

Frühe Galaxien, die sich innerhalb der ersten Milliarde Jahre nach dem Urknall bildeten, sind bisher ein weitgehend weißer Fleck auf der Landkarte der Astronomie. Das James-Webb-Weltraumteleskop kann diese Galaxien bald direkt beobachten, sie zeigen sich aber auch indirekt durch den Einfluss ihrer energiereichen UV-Strahlung auf das intergalaktische Gas. In dieser Epoche der kosmischen Reionisierung wird das neutrale Gas zwischen den Galaxien ionisiert. Forschende führen detaillierte kosmologische Simulationen mit Strahlungstransport durch, um genau vorherzusagen, wie die Reionisierung die Temperatur und räumliche Verteilung des Gases verändert. Diese Effekte müssen auch berücksichtigt werden, wenn man aus der beobachteten Verteilung des intergalaktischen Gases Rückschlüsse auf die Dunkle Materie ziehen will.

KOSMOLOGISCHES WACHSTUM VON GALAXIEN

In der weiteren Entwicklung des Universums wachsen Galaxien, indem sie Gas von den Außenbereichen gravitativ anziehen, welches abkühlt und schließlich Sterne bildet. Seit dem Urknall ist genug Zeit vergangen, dass sich das gesamte Gas in Galaxien in Sterne umgewandelt haben sollte. Kosmologinnen und Kosmologen des AIP konnten mit Simulationen zeigen, dass die kosmische Strahlung, die an Stoßfronten von Super-

novae entsteht und sich in den Galaxienhalo ausbreitet, das einfallende Gas aufhalten kann. Dabei verliert das Gas an Drehimpuls, so dass es bei kleineren Radien auf die Scheibe fällt. Dadurch ist die Scheibe kompakter, was sich in der entstehenden Sternpopulation widerspiegelt. Die Geschwindigkeit der Ausbreitung der kosmischen Strahlung, welche von komplexer Plasmaphysik abhängt, bestimmt letztendlich die Größe der Scheibengalaxie.



Temperatur des intergalaktischen Gases während (oben) und kurz nach der kosmischen Reionisierung (unten) für zwei unterschiedliche Modelle.

Temperature of intergalactic gas during (top) and shortly after cosmic reionization (bottom) for two different models.

Credits: AIP/E. Puchwein

KLEINSKALIGE PROZESSE IN PLASMEN

Diese Erkenntnis motivierte Forschende am AIP, die zugrundeliegende Plasmaphysik bei der Ausbreitung der kosmischen Strahlung genauer unter die Lupe zu nehmen. Dabei entdeckten sie eine bisher unbekannte Plasmainstabilität, welche elektromagnetische Wellen im Hintergrundplasma anregt, die wiederum die Ausbreitungsgeschwindigkeit der kosmischen Strahlung verringern. Dies hat womöglich wichtige Konsequenzen für die Rückkopplungsprozesse bei der Galaxienentstehung und würde es somit überhaupt erst ermöglichen, Elektronen an Stoßwellen zu großen Energien zu beschleunigen.

RÄTSELHAFTE RADIOSTRAHLUNG IN GALAXIEN

In den allgegenwärtigen galaktischen Magnetfeldern senden diese energetischen Elektronen Radiosynchrotronstrahlung aus. Je mehr Sterne in einer Galaxie entstehen, desto mehr energiereiche Elektronen werden in Supernovae produziert, und desto mehr Radiostrahlung emittiert eine solche Galaxie.



TEAM

Patricia Aparicio Marcos, Thomas Berlok, Tobias Buck, Kristian Ehlert, Philipp Girichidis, Léna Jlassi, Laura Keating, Rouven Lemmerz, Noam Libeskind, Simon Pfeifer, Christoph Pfrommer (head), Ewald Puchwein, Nikos Sagias, Jean-Baptiste Salomon, Mohamad Shalaby, Martin Sparre, Matthias Steinmetz, Timon Thomas, Aurelien Valade, Peng Wang, Matthias Weber, Maria Werhahn, Joseph Whittingham

Auf ihrem Weg durch die Galaxien sollten diese Elektronen all ihre Energie durch die Wechselwirkung mit Sternenlicht und Magnetfeldern verlieren. Das erwartete steile Spektrum der Radiostrahlung steht allerdings in starkem Gegensatz zu den beobachteten flachen Spektren. Simulationen zeigen, dass durch die Berücksichtigung von Radiostrahlung des interstellaren Mediums als zusätzlicher Strahlungskomponente die vormals steilen Spektren bei hohen Frequenzen abflachen und somit in Einklang mit Beobachtungen sind.

TURBULENTE MAGNETFELDER IN GALAXIENHAUFEN

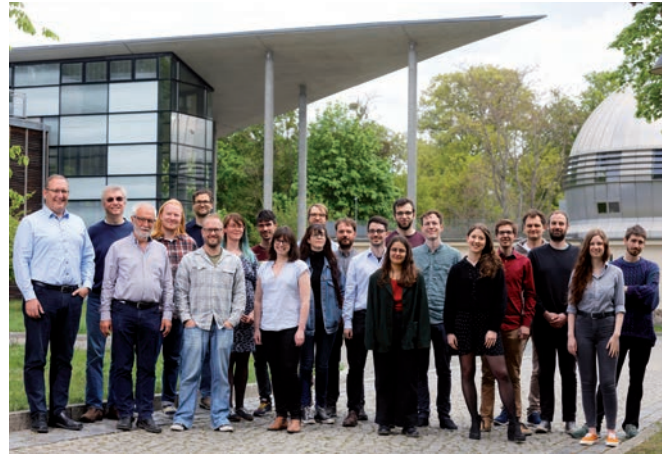
Die größten gebundenen Systeme im Universum sind Galaxienhaufen, die aus Dunkler Materie, ionisiertem Plasma und Galaxien bestehen. Dieses Plasma ist nicht in Ruhe, sondern in einem turbulenten Zustand als Resultat der bewegten Geschichte der Galaxienhaufen, die – auf kosmologischen Skalen – erst kürzlich entstanden sind. Diese Bewegungen im Plasma verstärken Magnetfelder, welche wiederum Einfluss auf die Turbulenz nehmen können. Mit Hilfe von Computersimulationen zeigte sich, dass die schnellen Jets von supermassereichen Schwarzen Löchern im Zentrum der Galaxienhaufen nur lokalisierte und schwache Turbulenz verursachen. Diese ist im Plasma nur schwer direkt nachweisbar, allerdings folgt aus den Simulationen, dass sich die Turbulenz leichter durch Beobachtungen des Magnetfeldes mit Hilfe von polarisierter Radiostrahlung nachweisen lässt. Dies stellt ein komplementäres Fenster zu Untersuchungen der Turbulenz dar.

DEFINITION VON FILAMENTEN ANHAND DES KOSMISCHEN GESCHWINDIGKEITSFELDES

Riesige Materieranken durchziehen das Universum in einer chaotischen Struktur, die sich durch den Kosmos schlängelt und verwebt. Diese Filamente aus Dunkler Materie und Galaxien gehören zu den ausgeprägtesten und visuell auffälligsten Mustern, die in der Natur zu finden sind. Ihre Identifizierung ist aufgrund ihres vielschichtigen Charakters eine Herausforderung. Durch die Kombination von Algorithmen zur Datenkompression mit einer detaillierten Analyse des kosmischen Geschwindigkeitsfeldes konnten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Abteilung eine neue Methode zur Identifizierung von Filamenten in der kosmischen Struktur vorschlagen.

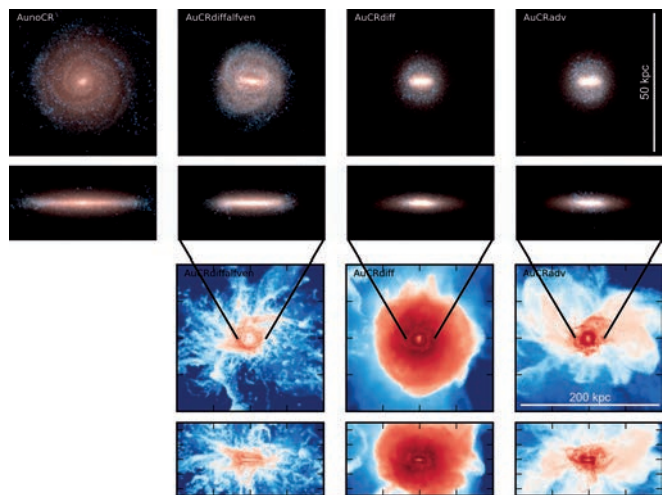
DER URSPRUNG DES DREHIMPULSES

Von Monden über Planeten bis hin zu Sternen und Galaxien: Alles in unserem Universum scheint sich zu drehen. Welche physikalischen Prozesse erzeugten die Drehung und wann? Eine der wichtigsten ungelösten Fragen der Kosmologie ist, wie Rotation im kosmologischen Kontext entsteht. Im Standardmodell der Strukturbildung gibt es keine primordiale, also ursprüngliche Rotation, und die Rotation muss bei der Bildung von Strukturen erzeugt werden. Das kosmische Netz mit den Filamenten ist eng mit der Entstehung von Galaxien verbunden und hat einen starken Einfluss auf die Rotation von Galaxien. Indem sie sich auf die Filamente fokussierten, haben Forschende des AIP die Entstehungsgeschichte der Rotation im Universum ergründet. Zu diesem Zweck kartier-



Christoph Pfrommer, Matthias Steinmetz, Stefan Gottlöber, Joseph Whittingham, Ewald Puchwein, Noam Libeskind, Larissa Tevlin, Nikos Sagias, Laura Keating, Tobias Buck, Patricia Aparicio Marcos, Jean-Baptiste Salomon, Rainer Weinberger, Léna Jlassi, Timon Thomas, Thomas Berlok, Maria Werhahn, Rouven Lemmerz, Martin Sparre, Matthias Weber, Nele Stachlys, Aurelien Valade

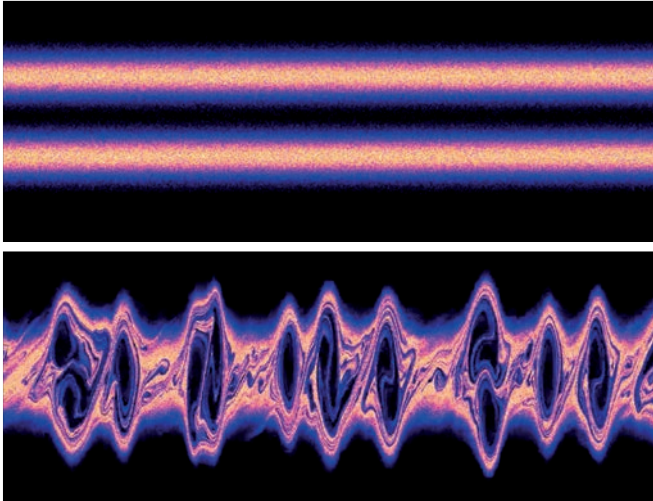
ten sie die Bewegung von Hunderttausenden von Galaxien in den Filamenten und untersuchten so, ob sich diese langen Ranken in einer Größenordnung von Hunderten von Millionen Lichtjahren drehen. Indem sie die Filamente als Zylinder betrachteten, maßen sie die mittlere Rotverschiebungsdifferenz, die Dopplerverschiebung, zwischen Galaxien auf der sich entfernenden und der sich nähernden Seite des Filamentzylinders. Überraschenderweise konnten sie ein Rotationssignal messen, das zuvor auf einer solch enormen Skala noch nie beobachtet wurde. Dies erlaubt einen neuen Blickwinkel auf die Frage, warum sich alles im Universum dreht.



Vergleich der Größe von stellaren Galaxienscheiben in einem Modell ohne kosmische Strahlung (links) und drei Modellen mit kosmischer Strahlung für variierende Physik. In den unteren Abbildungen ist der relative Druck der kosmischen Strahlung im Galaxienhalo sichtbar (rot für einen dominierenden und blau für einen vernachlässigbaren Druck).

Comparison of the size of stellar galaxy disks in a model without cosmic rays (left) and three models with cosmic rays for varying physics. The lower figures show the relative pressure of cosmic rays in the galaxy halo (red for dominant and blue for negligible pressure).

Credits: AIP/T. Buck



Visualisierung der Auswirkungen einer Plasmainstabilität auf die Elektronenverteilung. Gezeigt sind Teilchenpositionen nach rechts und Geschwindigkeiten nach oben. Zwei Plasmaströme mit entgegengesetzter Geschwindigkeit durchdringen einander (oben), um die Elektronen zu heizen und in Regionen mit hohem elektrischen Feld, die als Kreisstrukturen sichtbar sind, zu beschleunigen (unten). Visualization of the impact of a plasma instability on the electron distribution. We show particle position to the right and velocities on the vertical axis. Two plasma streams of opposing velocity penetrate each other (top) in order to heat electrons and to accelerate them in regions of high electric field, visible as ring-like structures (bottom).

Credits: AIP/M. Shalaby

Created in the past 13.8 billion years since the Big Bang, the “cosmic web” emerged from an originally almost homogeneous medium. The enormous network of filaments spans cosmic voids in our universe. Cosmology aims at understanding the physics of how cosmological structures are formed and investigates the origin and evolution of the universe. At AIP, cosmologists test their theories through complex computer simulations. They use them to simulate the origin and evolution of cosmic structures – from the first galaxies and the intergalactic medium to the populations of galaxies and clusters of galaxies and the large-scale structure of the universe itself. In this way, they gain insight into structural growth caused by the attractive effect of gravity and learn how magneto-hydrodynamic processes in gas lead to the formation of stars and super massive black holes. The dynamic and thermal effects of these objects on the properties of the cosmic gas, known as feedback, also play an important role. Researchers examine how plasma physics and high-energy astrophysical processes generate cosmic rays and how these provide feedback on galaxies and galaxy clusters.

FIRST GALAXIES AND COSMIC REIONIZATION

Early galaxies that form in the first billion years after the Big Bang have largely been a blind spot in astronomy. These galaxies will soon be directly observable with the James Webb Space Telescope, as well as indirectly through the influence of their energetic UV radiation on intergalactic gas. During this epoch of cosmic reionization, the neutral gas between galaxies becomes ionized. Researchers at the AIP perform detailed cosmological simulations with radiative transfer to

make accurate predictions for how reionization changes the temperature and spatial distribution of the gas. These effects must also be taken into account when drawing conclusions about dark matter from the observed distribution of intergalactic gas.

COSMOLOGICAL GROWTH OF GALAXIES

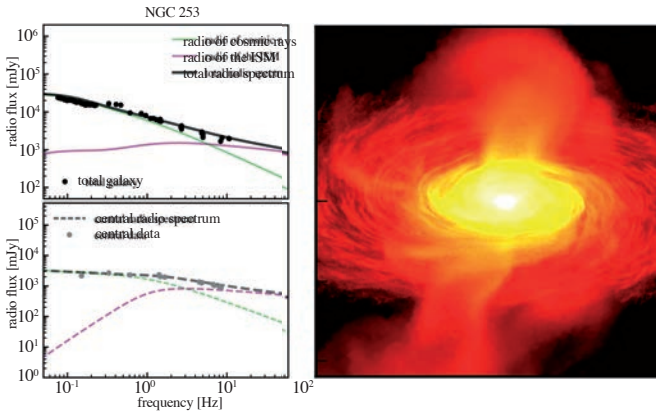
As the universe evolves, galaxies grow by attracting gas from the outer regions, which cools and eventually forms stars. Enough time has passed since the Big Bang that all the gas in galaxies should have transformed into stars. Using computer simulations, cosmologists have shown that cosmic rays that form at supernovae shocks propagate into the galaxy halo and stop the infalling gas, implying that cosmic rays must be taken into account. In this process, the gas loses angular momentum and falls onto the disk at smaller radii. The disk is therefore more compact. Hence, the speed of cosmic ray propagation, which depends on complex plasma physics, ultimately determines the size of galaxy disks.

SMALL-SCALE PROCESSES IN PLASMAS

This finding motivated AIP scientists to take a closer look at the underlying plasma physics involved in cosmic ray propagation. In this process, they discovered a hitherto unknown plasma instability that excites electromagnetic waves in the background plasma, which in turn reduce the cosmic ray propagation speed. This should have major consequences for the feedback processes in galaxy formation, and makes it possible to accelerate electrons to large energies at shock waves in the first place.

ENIGMATIC RADIO EMISSION FROM GALAXIES

In the ubiquitous galactic magnetic fields, these energetic electrons emit radio synchrotron radiation. The more stars that form in a galaxy, the more energetic electrons are produced by supernovae, and the more radio radiation such a galaxy emits. On their way through the galaxies, these cosmic ray electrons should lose all their energy by interacting with starlight and magnetic fields. The resulting radio spectrum should be very steep, which is in strong contrast to the observed flat spectra. Using simulations, AIP researchers were able to show that the inclusion of radio emission of the interstellar medium as an additional radiative component flattens the previously steep spectra at high frequencies, bringing them into agreement with observations.



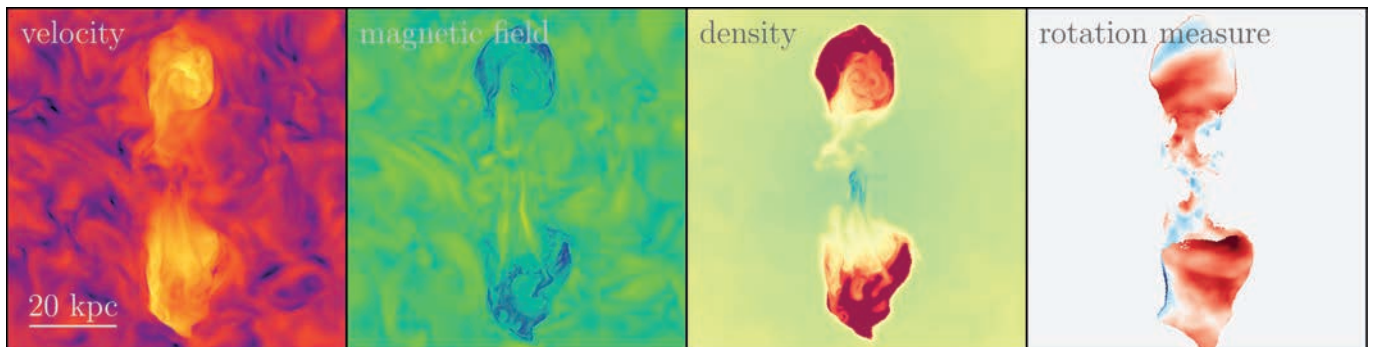
Radiospektrum der Galaxie NGC 253 (links oben) und deren Zentralbereich (unten), sowie ein Bild der simulierten Radiostrahlung der Galaxie (rechts). Gezeigt ist die Radioemission der kosmischen Strahlung (grüne Linien) und des interstellaren Mediums (violette Linie). Die Summe dieser beiden Prozesse (schwarze Linie) erklärt die beobachtete Radiostrahlung (schwarze Punkte) perfekt.

Radio spectrum of the galaxy NGC 253 (top left) and its central region (bottom) as well as a radio image of the simulated galaxy (right). Shown are the radio emission of cosmic rays (green lines) and of the interstellar medium (magenta line). The sum of these two processes (black line) perfectly explains the observed radio emission (black dots).

Credits: AIP/M. Werhahn

TURBULENT MAGNETIC FIELDS IN GALAXY CLUSTERS

The largest bound systems in the universe are galaxy clusters, which consist of dark matter, ionized plasma, and galaxies. This plasma is not at rest, but in a turbulent state as a result of the violent history of the – in cosmological terms – recent formation of the galaxy clusters. These motions in the plasma amplify magnetic fields, which in turn can influence the turbulence. Using computer simulations, cosmologists found that the fast jets from supermassive black holes at the centre of galaxy clusters induce only localized and weak turbulence. While turbulence is difficult to directly detect in the plasma, the simulations show that it is more easily detected by observations of the magnetic field using polarized radio emission. This provides a complementary window to study turbulence.



Interaktion des Jets eines zentralen Schwarzen Lochs mit dem turbulenten Gas in einem kühlenden Galaxienhaufen. Gezeigt werden von links nach rechts die Geschwindigkeit, das Magnetfeld, die Dichte und das Rotationsmaß, eine Radio-Beobachtungsgröße für Magnetfelder in Galaxienhaufen.

Interaction of the jet driven by a central black hole with the turbulent gas in a cooling galaxy cluster. Shown from left to right are velocity, magnetic field, density, and the rotation measure (radio observable for magnetic fields in galaxy clusters).

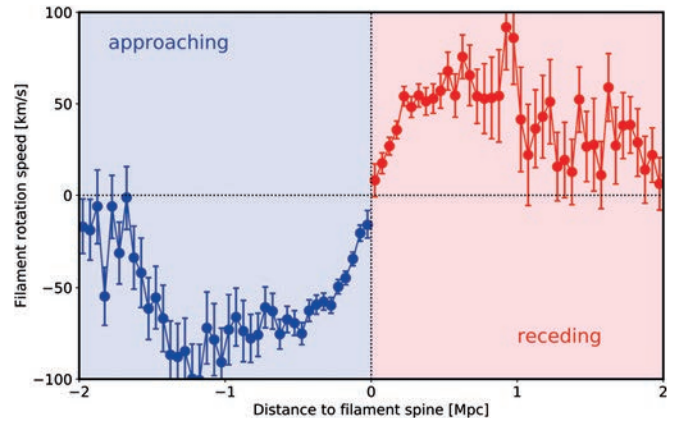
Credits: AIP/K. Ehlert

DEFINING FILAMENTS USING THE COSMIC VELOCITY FIELD

Huge tendrils of matter crisscross the universe in a chaotic structure which warps and wefts across the cosmos. These filaments of dark matter and galaxies are among the most pronounced and visually striking patterns found in nature. Identifying them is challenging because of their multi-scale character. By combining algorithms invented for data compression with a detailed analysis of the cosmic velocity field, AIP scientists proposed a new method to identify filaments in cosmic structures.

THE ORIGIN OF ANGULAR MOMENTUM

From moons to planets, to stars to galaxies: everything in our universe appears to be rotating. Where did this rotation come from? By which physical processes was it generated and when? How rotation originated in a cosmological context is one of the key unsolved problems of cosmology. In the standard model of structure formation there is no primordial rotation, and rotation must be generated as structures form. The cosmic web in general, and filaments in particular, are intimately connected with galaxy formation and have a strong effect on galaxy spin, regulating how they rotate. By focusing on filaments, cosmologists hope to identify how spin arose in the universe. To do so, they mapped the motion of hundreds of thousands of galaxies and examined it to see if these long tendrils spin on the scale of hundreds of millions of light years. A rotation on such an enormous scale has never been seen before. By approximating filaments as cylinders, they measured the mean redshift difference, the Doppler shift, between galaxies on the receding and approaching side of the filament tube. Surprisingly, they found a rotation signal, providing a new piece to the puzzle of why everything in the universe spins.



*Galaxien rotieren in kosmischen Filamenten (links, künstlerische Darstellung), wie die beobachtete Rotationskurve zeigt (rechts).
Galaxies rotate in cosmic filaments (left, artist's representation), as shown in the observed rotation curve (right).*

Credits: links: AIP/A. Khalatyan/J. Fohlmeister, rechts: AIP/P. Wang



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN SELECTED PUBLICATIONS

Berlok, T., Pakmor, R., Pfrommer, C. (2020): **Braginskii viscosity on an unstructured, moving mesh accelerated with super-time-stepping**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 491, 2919

Buck, T., Pfrommer, C., Pakmor, R., Grand, R. J. J., Springel, V. (2020): **The effects of cosmic rays on the formation of Milky Way-mass galaxies in a cosmological context**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 497, 1712

Ehlert, K., Weinberger, R., Pfrommer, C., Springel, V. (2021): **Connecting turbulent velocities and magnetic fields in galaxy cluster simulations with active galactic nuclei jets**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 503, 327

Girichidis, P., Pfrommer, C., Hanasz, M., Naab, T. (2020): **Spectrally resolved cosmic ray hydrodynamics – I. Spectral scheme**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 491, 993

Libeskind, N. I. et al. (2020): **The HESTIA project: simulations of the Local Group**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 498, 2968

Shalaby, M., Thomas, T., Pfrommer, C. (2021): **A New Cosmic-Ray-driven Instability**, The Astrophysical Journal, 908, 206

Sparre, M., Pfrommer, C., Ehlert, K. (2020): **Interaction of a cold cloud with a hot wind: the regimes of cloud growth and destruction and the impact of magnetic fields**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 499, 4261

Thomas, T., Pfrommer, C., Pakmor, R. (2021): **A finite volume method for two-moment cosmic ray hydrodynamics on a moving mesh**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 503, 2242

Wang, P., Libeskind, N. I., Tempel, E., Kang, X., Guo, Q. (2021): **Possible observational evidence for cosmic filament spin**, Nature Astronomy, 5, 839

Werhahn, M., Pfrommer, C., Girichidis, P. (2021): **Cosmic rays and non-thermal emission in simulated galaxies – III. Probing cosmic-ray calorimetry with radio spectra and the FIR–radio correlation**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 508, 4072



*Aufnahme der Großen Magellanschen Wolke mit der BMK10k. Drei Aufnahmen wurden kombiniert und über das Farbprofil einer deckungsgleichen Region aus dem Digital Sky Survey gelegt.
Picture of the Large Magellanic Cloud taken with the BMK10k. Stack of three individual exposures, with the colour profile extracted from the identical region in the Digital Sky Survey.*

Credits: AIP/J. Weingrill, T. Granzer

In der Astrophysik sind für wissenschaftliche Erkenntnisse über den Kosmos umfangreiche Daten von hervorragender Qualität nötig. Je weiter wir mit unserem Wissen vordringen, desto komplexer werden die Anforderungen an modernste Instrumente, mit denen diese Daten gewonnen werden. Internationale Großteleskope, wie zum Beispiel das Extremely Large Telescope in der Atacamawüste in Chile, entstehen an den geeignetsten Beobachtungsstandorten der Welt. Weltraumteleskope sind ein Gemeinschaftsprojekt verschiedenster hochspezialisierter Teams weltweit. Kleinere, teilweise robotische Teleskope bilden Zeitserien einzelner Objekte ab oder durchmustern Himmelsbereiche. Für detaillierte numerische Simulationen und die damit zusammenhängende theoretische Forschung sind Supercomputer, die immense Datenmengen bewältigen können, unabdingbar.

Das AIP entwickelt innovative Instrumentierung in allen diesen Bereichen und setzt Schwerpunkte bei robotisch betriebenen Teleskopen, der hochauflösenden Spektroskopie und Spektralpolarimetrie sowie der 3D- und Multi-Objekt-Spektroskopie. Ergänzend dazu entwickelt das Kompetenzzentrum innoFSPEC optische Methoden und neue Technologien für zukünftige Teleskopgenerationen. Dem Management und der Veröffentlichung großer Datenmengen, einem mit instrumenteller Weiterentwicklung immer wichtiger werdenden Aspekt in der Astrophysik, widmet sich die E-Science.



ENTWICKLUNG VON FORSCHUNGSTECHNOLOGIE UND -INFRASTRUKTUR

DEVELOPMENT OF RESEARCH TECHNOLOGY AND INFRASTRUCTURE

In astrophysics, scientific knowledge about the cosmos requires extensive data of outstanding quality. The further we advance with our knowledge, the more complex become the demands on state-of-the-art instruments with which these data are obtained. International large telescopes, such as the Extremely Large Telescope in the Atacama Desert in Chile, are being built at the most suitable locations in the world. Space telescopes are joint projects of a wide variety of highly specialized teams around the world. Smaller, partly robotic telescopes produce time series of individual objects or survey areas of the sky. Supercomputers capable of handling immense amounts of data are indispensable for detailed numerical simulations and the associated theoretical research.

The AIP develops innovative instrumentation in all these areas and focuses on robotically operated telescopes, high-resolution spectroscopy and spectral polarimetry as well as 3D and multi-object spectroscopy. In addition, the centre for innovation competence innoFSPEC develops optical methods for future telescope generations. E-Science is dedicated to the management and publication of large amounts of data, an aspect of astrophysics that is becoming increasingly important with further instrumental development.



*Sonnenuntergang an der BMK10k, Blickrichtung zum Cerro Armazones, Standort des ELTs der ESO.
Sunset at the BMK10k looking at ESO's ELT site, Cerro Armazones.*

Credits: AIP/J. Weingrill

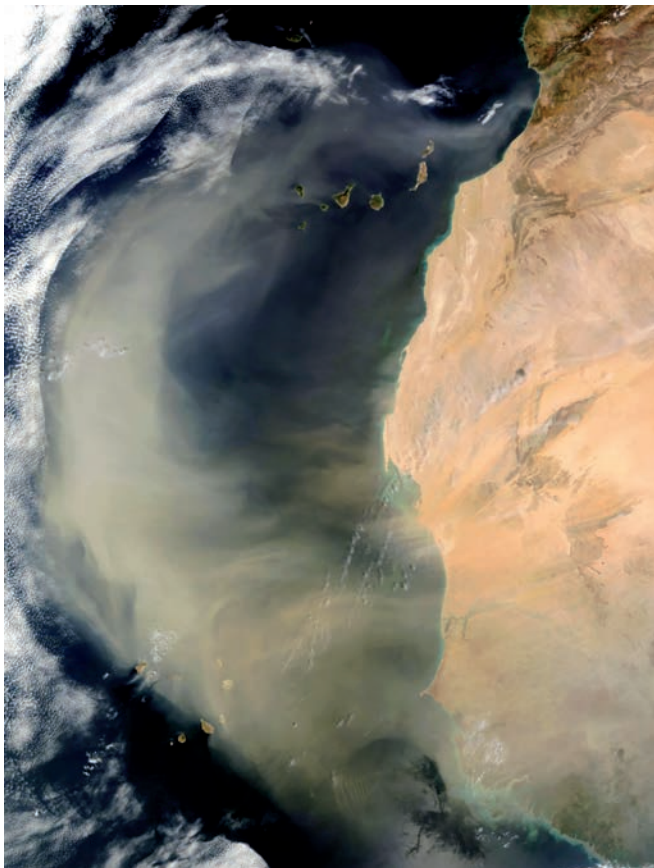
TELESKOPSTEUERUNG UND ROBOTIK

TELESCOPE CONTROL AND ROBOTICS

Die Beobachtung von einigen tausend Sternen kann leicht monatelange Vorbereitungen erfordern. Durch den Einsatz von Software zur automatisierten Erstellung von Beobachtungen und durch die Nutzung optimaler Planungsmöglichkeiten, die mittels autonomer Observatorien gegeben sind, reduziert sich der Aufwand auf wenige Stunden. So können sich Forschende auf die Interpretation der Ergebnisse konzentrieren, anstatt in der Vorbereitung der Beobachtungen aufzugehen. Die Abteilung Teleskopsteuerung und Robotik verfügt über eine langjährige Expertise auf diesem Gebiet, sieht ihre Aufgabe aber auch in der Entwicklung spezialisierter Software zur Steuerung von Beobachtungsinstrumenten, die am Institut gebaut werden.

HARDWARE-FACELIFT FÜR ROBOTEL, STELLA UND BAUGLEICHE

Als Halfmann Teleskoptechnik um das Jahr 2000 STELLA und eine Handvoll ähnlicher Teleskope entwarf, waren sie auf dem neuesten Stand der Mikroelektronik und Servomotorsteuerung. Doch kaum ein Bereich ist so schnelllebig wie die Mikro-



Calima: Saharastaub wird durch Winde zu den Kanarischen Inseln geweht. Eine permanente Herausforderung für alle Teleskope auf den Kanarischen Inseln.
Calima: Dust from the Sahara is blown to the Canary islands. A permanent threat to all the instruments on the islands.

Credits: EuMetSat

elektronik. Einige entscheidende Elemente haben bereits vor Jahren das Ende ihrer Lebensdauer erreicht. Selbst das ausgefeilteste Ersatzteilkonzept stößt da an seine Grenzen; eine Erneuerung der gesamten Steuerungshardware stand an. Die Abteilung entschied sich für Beckhoff-PLC-Komponenten, auch weil Beckhoff von der ESO genutzt wird. Zusammen mit der Universität Göttingen, aber auch mit Beteiligung der Hamburger Sternwarte und in geringerem Maße der Universität München und des Nicolaus Copernicus Astronomical Center (CAMK) in Warschau – alles Nutzer von Halfmann-Teleskopen – hat das AIP die Führung bei dem Umbau sämtlicher Teleskope übernommen; die Software wird als Open-Source-Projekt publiziert. Dieser Prozess ist derzeit in vollem Gange und ein erster Test der Ausrichtung und Nachführung von Sternen am Campus-Teleskop RoboTel auf dem Dach des Schwarzschildhauses im August 2021 hat die prinzipielle Machbarkeit bewiesen. Die Umrüstung der STELLA-Teleskope wird mit den Arbeiten an STELLA-I Ende 2022 beginnen.

INBETRIEBNAHME DER BMK10K

Die Ballistische Messkammer BMK10k befindet sich an ihrem neuen Standort, dem Cerro Armazones Observatorium, in unmittelbarer Nähe zum ELT-Standort der ESO. Es ist ein minimales Teleskop im positiven Sinne: Seine äquatoriale Montierung erfordert nur wenig Software-Logik. Die Fokusposition ist fix, das Material des Tubus garantiert eine vernachlässigbare thermische Ausdehnung. Dies konnte im Februar 2020, ein halbes Jahr nach dem ersten Licht, bestätigt werden, als die BMK10k ihren Routinebetrieb begann. Ihr Potenzial zeigte sich sofort bei der Aufnahme des Titelbilds auf Seite 50/51, das während dieses Testlaufs entstand. Die ursprünglichen Aufnahmen ermöglichen Photometrie von mehr als zwei Millionen Objekten. Leider war die Stromversorgung des Standorts, der jetzt vom CAMK betrieben wird, nie als voll autark geplant, so dass der Betrieb kurz nach Ausbruch der Pandemie eingestellt werden musste. Zugangsbeschränkungen machten es unmöglich, den Betrieb im Jahr 2021 wieder aufzunehmen.

DATENREDUKTIONSPIPelines ALS MODULARE SOFTWARE

Spezialisierte Hardware braucht spezialisierte Software, um auch noch das letzte Quäntchen an Information sichtbar zu machen. Aber ähnliche Beobachtungsgrößen (Spektrum eines Sterns, Gesamtlichtstrom) oder ähnliche Geräte (CCD für Spektroskopie und Photometrie) erlauben eine ähnliche Behandlung. Zu Ende gedacht führt dies zur Aufspaltung monolithischer Datenreduktionspakete in frei kombinierbare Softwaremodule. Diesen Weg beschritten die Entwickler der Abteilung bei der Aktualisierung der STELLA-WiFSIP-Pipeline für die BMK10k: Es wurden einzelne Bausteine definiert und über formale Schnittstellen beschrieben.



Die Nutzenden können nun verschiedene Algorithmen nach ihren speziellen Schwerpunkten kombinieren. In einem nächsten Schritt können diese unterschiedlichen Algorithmen mit ihren spezifischen, anpassbaren Parametern über selbstlernende Systeme einer Optimierung unterzogen werden: Minimierung der Streuung in den endgültigen Datenprodukten wie Lichtkurven durch evolutionäre Algorithmen, um die Pareto-optimale Grenze im Parameterraum herauszuarbeiten.

EINE GEMEINSAME PLATTFORM FÜR DEN WISSENSAUSTAUSCH

Diskussionen zwischen den deutschen Instituten, die robotische Teleskope betreiben, ergaben, dass die Bündelung der über die Jahre gesammelten Erfahrungen nicht nur Neulingen bei der Etablierung der robotischen Astronomie helfen könnte, sondern auch bei Fragen der Nachrüstung und Wartung unschätzbare Dienste leisten kann. Am 13. September 2021 wurde das Astronomical Telescope Network Germany als Arbeitskreis innerhalb der Astronomischen Gesellschaft gegründet. Neun Institute arbeiten zusammen, um eine lizenzfreie Wissensbasis aufzubauen. Ein Memorandum of Understanding zirkuliert derzeit unter den Partnern.



*RoboTel in der Kuppel auf dem AIP Campus.
RoboTel in its dome at AIP campus.*

Credits: AIP/J. Weingrill

Observing a few thousand stars easily swallows a person's work time over months in preparation of such a campaign. Using automatic target observing request software and utilizing optimal scheduling capabilities on autonomous observatories, the effort is reduced to mere hours. Thus, scientists are free to concentrate on the interpretation of the results rather than being bound to the preparation of the observations. The Telescope Control and Robotics section has long-standing expertise in this field, but also sees its responsibility in mating specialized hardware constructed by instrument-building sections of the institute with software control.

HARDWARE FACELIFT FOR ROBOTEL, STELLA ET AL.

When Halfmann Teleskoptechnik designed STELLA and a handful of similar telescopes, they were state-of-the-art in

microelectronics and servo-motor control. However, hardly any field is as fast-changing as the area of microelectronics. Some vital elements in the STELLA telescope control already reached their end of life some years ago. Even the most sophisticated spare-part plan will reach its limits; a refurbishment of the entire controller hardware was imminent. The section decided to move to Beckhoff PLC components, a decision also driven by the fact that ESO is utilizing the same brand. Together with the University of Göttingen, but also with the involvement of Hamburger Sternwarte as well as the University of Munich and the Nicolaus Copernicus Astronomical Center (CAMK) in Warsaw – all of them users of Halfmann telescopes – AIP took the lead in the overhaul of the electrical system of these telescopes. Everything will be published as open-source projects. This process is currently well underway and a first pointing and tracking test on the on-campus telescope RoboTel at the roof of the Schwarzschildhaus in August 2021 proved the principal feasibility. The upgrade of the STELLA telescopes will start with work on STELLA-I at the end of 2022.

COMMISSIONING OF THE BMK10K

The BMK10k is located at its new site, Cerro Armazones Observatory, in walking distance to ESO's ELT site. It is a minimal telescope in the positive sense: its equatorial mount requires only simple software logic. The focal position is fixed, the material of the tube guarantees negligible thermal expansion. This was confirmed in February 2020, half a year after first light, when the BMK10k successfully passed commissioning. The potential of this telescope can be seen in the cover picture on page 47/48 obtained during this commissioning run. The original stack allows photometry of over two million objects, a new area of wide-field photometry for the AIP. The power grid of the site, since 2021 operated by the CAMK, was never intended to be fully autonomous and therefore operation stopped soon after the onset of the pandemic. Access restrictions made it impossible to commence operation in 2021.



*Schaltschrank mit den neuen Beckhoff-Komponenten für das RoboTel-Teleskop.
Electrical cabinet with the new Beckhoff components for the RoboTel telescope.*

Credits: AIP/J. Weingrill

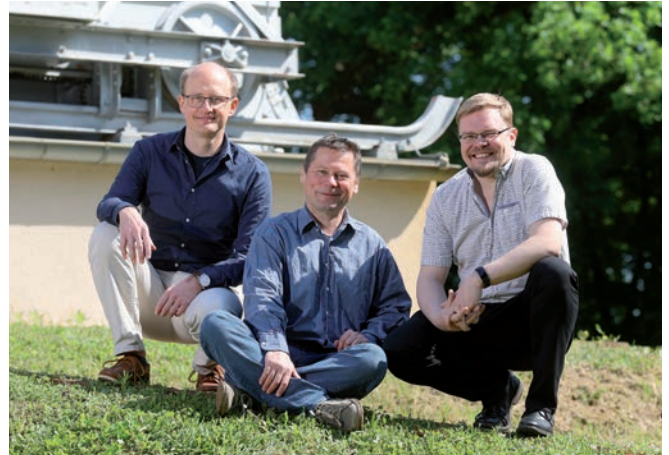
DATA REDUCTION PIPELINES AS MODULAR SOFTWARE

Specialized hardware needs specialized software to get to the last bit of information. Nevertheless, similar observable quantities (spectrum of a star, total light flux) or similar equipment (CCD for spectroscopy and photometry) call for a similar treatment. Thought through, this leads to splitting monolithic data reduction packages into freely combinable modules. This route was pursued during the updating of the STELLA WiFSIP pipeline for the BMK10k: individual building blocks were formed and described via formal interfaces. Different algorithms can now be utilized by the user, emphasizing their special needs. In a next step, these different routes along with their specific, adoptable parameters will be subjected to optimization via self-learning systems: minimize the scatter in final data products via evolutionary algorithms to carve out the Pareto-optimal frontier in the parameter space.

A COMMON PLATFORM FOR KNOWLEDGE EXCHANGE

During discussions among the German institutes operating robotic telescopes, it was realized that bundling their experience gained over the years could not only help newcomers

establish robotic astronomy, but will also help them in upgrading and maintenance issues. On 13 September 2021, the Astronomical Telescope Network Germany was founded as a body within the Astronomical Society. Nine institutes are now working together to build up royalty-free community expertise. A memorandum of understanding is currently circulating among the partners.



Jörg Weingrill, Thomas Granzer, Arto Järvinen



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN

SELECTED PUBLICATIONS

Weingrill, J., Granzer, T., Bittner, W., Järvinen, A. (2020): **BMK10k: an autonomous robotic observatory with fail-safe industrial components**, Software and Cyberinfrastructure for Astronomy VI

Suárez Mascareño, A. et al. (2021): **Rapid contraction of giant planets orbiting the 20-million-year-old star V1298 Tau**, Nature Astronomy, 6, 232

Dupree, A. K. et al. (2020): **Spatially Resolved Ultraviolet Spectroscopy of the Great Dimming of Betelgeuse**, The Astrophysical Journal, 899, 68

Granzer, T., Weber, M., Strassmeier, K. G., Dupree, A. (2021): **The Curious Case of Betelgeuse**, The 20.5th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun (CS20.5), virtually anywhere, March 2-4, id. 41

Rosich, A., Herrero, E., Mallonn, M., Ribas, I., Morales, J. C., Perger, M., Anglada-Escudé, G., Granzer, T. (2020): **Correcting for chromatic stellar activity effects in transits with multiband photometric monitoring: application to WASP-52**, Astronomy & Astrophysics, 641, A82

Weiss, W. W. et al. (2021): **Space Photometry with Brite-Constellation**, Universe, 7, 199

Strassmeier, K. G. et al. (2020): **BRITE photometry and STELLA spectroscopy of bright stars in Auriga: Rotation, pulsation, orbits, and eclipses**, Astronomy & Astrophysics, 644, A104

Weber, M., Woche, M., Strassmeier, K. G., Ilyin, I., Järvinen, A. (2020): **Second generation spectroscopic instrumentation for the STELLA robotic observatory**, Observatory Operations: Strategies, Processes, and Systems VIII

Weber, M., Strassmeier, K. G., Woche, M., Ilyin, I., Järvinen, A. (2020): **Using raytracing to derive the expected performance of STELLA's SES-VIS spectrograph**, Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy IX

Di Varano, I., Yuan, S., Woche, M., Strassmeier, K. G., Weber, M. (2020): **ELT-HIRES the high resolution spectrograph for the ELT: status of the polarization ray tracing tool for the polarimetric unit**, Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation IV



*Das STELLA-Observatorium auf Teneriffa.
The STELLA observatory on Tenerife.
Credits: AIP/M. Weber*

HOCHAUFLÖSENDE SPEKTROSKOPIE UND POLARIMETRIE

HIGH-RESOLUTION SPECTROSCOPY AND POLARIMETRY

Die Charakterisierung von erdähnlichen Planeten erfordert stabilisierte, hochauflösende Spektrographen, die das Licht der Sterne in ihre Spektralfarben zerlegen, an den größten verfügbaren Teleskopen. Solche Instrumente dienen auch zur Untersuchung von Sternen, Quasaren und anderen Objekten, ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrer zeitlichen Entwicklung. Sie kommen ebenfalls bei der Überprüfung fundamentaler physikalischer Konstanten wie der Feinstrukturkonstanten zum Einsatz und können durch lange Zeitreihenmessungen geeigneter Objekte helfen, die Expansion des Universums unabhängig von kosmologischen Modellen zu messen. Daher ist ihre Verfügbarkeit an den größten Teleskopen der Welt der Schlüssel zur Untersuchung immer schwächerer Beobachtungsziele, während der Einsatz an kleineren Teleskopen lange Zeitreihenstudien ermöglicht.

Mit PEPsi am Large Binocular Telescope (LBT) haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des AIP Zugang zu hochauflösender Spektropolarimetrie an einem Teleskop der 12-Meter-Klasse. Das AIP ist auch verantwortlich für den UV-Spektrographen von ANDES, dem hochauflösenden Spektrographen für das 39-Meter-Extremely Large Telescope (ELT) der ESO und baut und betreibt hochauflösende Spektrographen in der STELLA-Anlage des AIP auf Teneriffa.

ÜBERGABE PEPsi

Im Jahr 2020 trat PEPsi in die Übergabephase ein und wurde zu einem Teil des 2x8,4-Meter-LBT, zu dem auch die beiden permanenten Fokalstationen (PFU) in den gregorianischen Foki und die beiden abnehmbaren Polarimeter in den symmetrischen Fokalpositionen gehören. Die 400 Meter lange unterirdische Glasfaserverbindung zum Vatican Advanced Technology Telescope (VATT) und zum Sonnenscheibenteleskop (Solar Disk Integration, SDI) bleiben weiterhin für die ausschließliche Nutzung durch das AIP und seine Partner vorbehalten.

PEPSI SDI-POL: EIN POLARIMETER FÜR DIE SONNE

Von den ersten Beobachtungen an war PEPsi mit einem integrierten Sonnenscheibenteleskop (SDI) ausgestattet, das nur die Lichtintensität, also integrales Licht im Gegensatz zu polarisiertem Licht, aufnahm, um jeden Tag ultrahochauflösende Spektren der Sonnenscheibe zu erhalten. Das Gerät befindet sich im Freien und muss nun, nachdem es viele Jahre der Witterung standgehalten hat, ersetzt werden.

Dank einer Erweiterung des LBT-Balkons, die durch die Pandemie verzögert wurde, aber Ende 2021 realisiert werden konnte, war es möglich, das kompakte Sonnenscheibenteleskop durch eine kleine Kuppelkonstruktion zu ersetzen. Diese

beherbergt ab Mitte 2022 ein kleines Polarimeter (SDI-POL), das das von der Sonne kommende polarisierte Licht in den PEPsi-Spektrographen einspeist. So werden in Zukunft die Spektren der Sonnenscheibe mit ihrem Polarisationszustand, das heißt in allen vier Stokes-Parametern, aufgezeichnet.

STELLA – SPEKTROSKOPISCHE INSTRUMENTE DER 2. GENERATION

Der derzeitige STELLA-Echelle-Spektrograph (SES) liefert Spektren über den Bereich von 380 Nanometer (nm) bis 1 Mikrometer (μm) bei einer spektralen Auflösung von 55.000. Eine neue modulare Konfiguration wird den derzeitigen Spektrographen durch drei separate Module mit einer Auflösung von jeweils $R=50.000$ in verschiedenen Spektralbändern ersetzen, ähnlich dem ELT-ANDES-Konzept. Das Modul für den visuellen Bereich (SES-VIS; 470 nm bis 690 nm) ist ein vakuumstabilisierter Echelle-Spektrograph, der für eine hohe Radialgeschwindigkeitsgenauigkeit ausgelegt ist. Dieser ist bereits am AIP fertig getestet und eingebaut und steht kurz vor dem Versand. Den UV-Bereich deckt ein neu entwickelter Spektrograph für 380 nm bis 470 nm (SES-H&K) ab, der sich derzeit im Bau befindet. Das nahinfrarote Band (NIR) wird durch den derzeitigen SES-Spektrographen von 690 nm bis $1\mu\text{m}$ abgedeckt. Um die UV-Transmission zu verbessern und die verschiedenen Fasereinspeisungen unterzubringen, begann die Abteilung mit der Überarbeitung des Primärfokus-Korrektors. Der vorrangige wissenschaftliche Einsatzbereich von SES-VIS ist die TESS- und später PLATO-Nachverfolgung von Exoplaneten-Transitkandidaten, wobei SES-H&K und SES-NIR gleichzeitig die wichtigsten stellaren Aktivitätsindikatoren dieser Ziele abdecken.



Das Sonnenscheibenteleskop (SDI-POL) im Physiklabor des AIP bei der Überprüfung des Betriebs bei den am LBT-Standort erwarteten tiefen Temperaturen von bis zu -10° .

The Polarimetric Solar Disk Integrated Telescope (SDI-POL) in the physics lab of the AIP while checking operations at temperatures down to -10°C as expected on the LBT location.

Credits: AIP/A. Järvinen



Martina Baratella, Parikshit Partha Biswas, Ilya Ilyin, Silva Järvinen, Prachi Rahate, Klaus G. Strassmeier, Michael Weber (head), Manfred Woche

ANDES: DER HOCHAUFLÖSENDE SPEKTROGRAPH FÜR DAS ELT

Im Jahr 2020 schloss das AIP die Entwicklung eines Softwarepaketes zur Bestimmung der instrumentellen Polarisation von großen Instrumenten wie dem ELT ab. Dieses dient dazu, die Grenzgenauigkeit von Spektropolarimetern an verschiedenen Standorten unter Berücksichtigung von Schwerkraft- oder Temperaturänderungen einzelner optischer Elemente zu bewerten. Im Jahr 2021 begannen die Vorbereitungen zur Phase B von ANDES (Armazones high Dispersion Echelle Spectrograph). Das AIP ist federführend bei der Entwicklung des UV-Spektrographen für dieses Projekt. Im Gegensatz zu den meisten Instrumenten, die im Coudé-Raum im Keller des ELT untergebracht sind, wird er auf dem Teleskop installiert, um die Länge der optischen Fasern so kurz wie möglich zu halten und um die in optischen Fasern unvermeidlichen UV-Lichtverluste zu verringern.



Die neue Kuppel von SDI-POL auf dem Balkon des LBT.
The new dome of SDI-POL on the LBT balcony.

Credits: LBTO

The characterization of Earth-like planets requires stabilized, high-resolution spectrographs, which break down the light into its colours, at the largest available telescopes. Such instruments also serve to study stars, quasars and other objects, their chemical composition, and their evolution over time. They can also be used to check fundamental physical constants such as the fine structure constant, and by using long time series of suitable objects they can help to measure the expansion of the universe independent of cosmological models. Therefore, their availability at the world's largest telescopes is the key to study increasingly faint observation targets, whereas the use at smaller telescopes allows long time

series studies. With PEPSI at the Large Binocular Telescope (LBT), AIP scientists have access to high-resolution spectropolarimetry on a 12-metre class telescope facility. The AIP is also responsible for the UV spectrograph of ANDES, the high-resolution spectrograph for ESO's 39-metre Extremely Large Telescope (ELT), and is building and maintaining high-resolution spectrographs at AIP's STELLA facility on Tenerife.

PEPSI HANDOVER

In 2020, PEPSI entered the handover phase to become a facility instrument of the 2x8.4 m LBT, which includes the two permanent focal stations (PFU) in the bent Gregorian foci and the two removable full-Stokes polarimeters in the straight-thru foci. The 400-metre underground fibre link to the Vatican Advanced Technology Telescope (VATT) and the Solar Disk Integration (SDI) telescope remain for the exclusive use of AIP and partners.

PEPSI SDI-POL: A POLARIMETER FOR THE SUN

From first light on, PEPSI was equipped with a solar disk integrated telescope (SDI), which only recorded light intensity, i.e. integral light in contrast to polarized light, to obtain ultra-high resolution spectra of the solar disk every day. The unit is located outside, and after withstanding the weather for many years now is in need for a replacement.

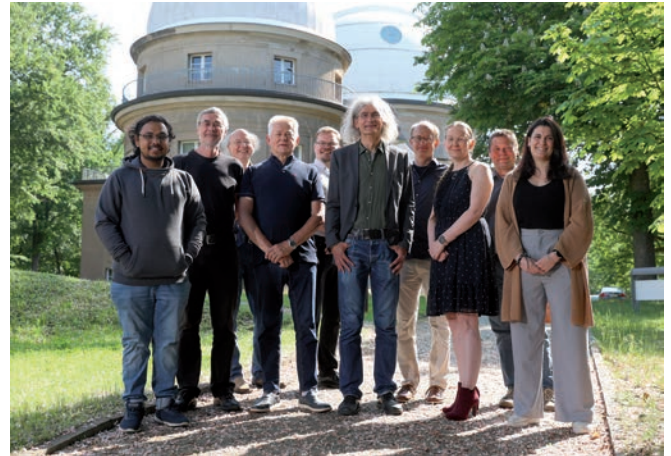
Due to an extension of the LBT balcony, which was delayed by the pandemic but realized in late 2021, it has become possible to replace the compact solar disk telescope with a small dome structure. From mid-2022 on, this will accommodate a small polarimeter (SDI-POL) that feeds polarized light coming from the Sun to the PEPSI spectrograph. Consequently, full-disk spectra with their polarization state, meaning in all four Stokes parameters, will be obtained in the future.

STELLA – 2ND GENERATION SPECTROSCOPIC INSTRUMENTATION

The current STELLA Echelle Spectrograph (SES) records spectra over the range from 380 nanometres (nm) to 1 micrometre (μm) at a spectral resolution of $R=55,000$. A new modular configuration will replace the current spectrograph with three separate modules, each operating at $R=50,000$ in different spectral bands (similar to the ELT-ANDES concept). The visual band module (SES-VIS; 470 nm to 690 nm), a vacuum-stabilized Echelle spectrograph designed for high radial-velocity accuracy, is already tested and integrated at AIP and almost ready for shipment. The UV range will be covered by a newly designed spectrograph for 380 nm to 470 nm (SES-H&K) that is currently under construction. The near-infrared band (NIR) will be covered by the current SES spectrograph from 690 nm to 1 μm . In order to improve UV transmission and to accommodate the three different fibre feeds, work has started to refurbish the prime focus corrector. The primary science case for SES-VIS is TESS and later PLATO follow-up of exoplanet transit candidates, with SES-H&K and SES-NIR simultaneously covering the most important stellar activity tracers of these targets.

ANDES: THE HIGH-RESOLUTION SPECTROGRAPH FOR THE ELT

In 2020, AIP finished the development of a software package to determine the instrumental polarization of large instruments such as the ELT to assess the limiting accuracy of spectro-polarimeters at various locations, taking into account gravity or temperature changes of optical elements. In 2021, preparations began for the start of phase B of ANDES (ArmazoNes high Dispersion Echelle Spectrograph) in the following year. The AIP is leading the development of the UVB-spectrograph of this project. Contrary to most of the instruments, which will be located in the Coudé room in the basement of the ELT, it will be located on the telescope to keep the length of the optical fibres as short as possible to reduce UV-light losses, which are inevitable in optical fibres.



Parikshit Partha Biswas, Ilya Ilyin, Klaus G. Strassmeier, Manfred Woche, Arto Järvinen, Michael Weber, Jörg Weingrill, Silva Järvinen, Thomas Granzer, Martina Baratella



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN SELECTED PUBLICATIONS

Jayasinghe, T. et al. (2021): **A unicorn in monoceros: the $3 M_{\odot}$ dark companion to the bright, nearby red giant V723 Mon is a non-interacting, mass-gap black hole candidate**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 504, 2577

Dupree, A. K. et al. (2020): **Spatially Resolved Ultraviolet Spectroscopy of the Great Dimming of Betelgeuse**, The Astrophysical Journal, 899, 68

Strassmeier, K. G. et al. (2020): **BRITE photometry and STELLA spectroscopy of bright stars in Auriga: Rotation, pulsation, orbits, and eclipses**, Astronomy & Astrophysics, 644, A104

Strassmeier, K. G., Ilyin, I., Keles, E., Mallonn, M., Järvinen, A., Weber, M., Mackebrandt, F., Hill, J. M. (2020): **High-resolution spectroscopy and spectropolarimetry of the total lunar eclipse January 2019**, Astronomy & Astrophysics, 635, A156

Di Varano, I., Yuan, S., Woche, M., Strassmeier, K. G., Weber, M. (2020): **ELT-HIRES the high resolution spectrograph for the ELT: status of the polarization ray tracing tool for the polarimetric unit**, Advances in Optical and Mechanical Technologies for Telescopes and Instrumentation IV

Weber, M., Strassmeier, K. G., Woche, M., Ilyin, I. V., Järvinen, A. S. (2020): **Using raytracing to derive the expected performance of STELLA's SES-VIS spectrograph**, Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy IX

Weber, M., Woche, M., Strassmeier, K. G., Ilyin, I., Järvinen, A. (2020): **Second generation spectroscopic instrumentation for the STELLA robotic observatory**, Observatory Operations: Strategies, Processes, and Systems VIII

Keles, E. et al. (2020): **Probing the atmosphere of HD189733b with the Na i and K i lines**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 498, 1023

Woodward, C. E., Pavlenko, Y. V., Evans, A., Wagner, R. M., Ilyin, I., Strassmeier, K. G., Starrfield, S., Munari, U. (2020): **Lithium in T Coronae Borealis**, The Astronomical Journal, 159, 231

Hubrig, S., Järvinen, S. P., Ilyin, I., Strassmeier, K. G., Schöller, M. (2021): **The rapidly oscillating Ap star γ Equ: linear polarization as an enhanced pulsation diagnostic?**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, 508, L17



Der MOSAIC Multi-Objekt-Spektrograph nutzt das gesamte Gesichtsfeld des Extremely Large Telescope. Er wird drei Betriebsmodi haben, die Beobachtungen im sichtbaren und infraroten Licht für mehr als hundert Quellen gleichzeitig ermöglichen.

MOSAIC is a multi-object spectrograph that will use the widest possible field-of-view provided by the Extremely Large Telescope. It will have three operating modes that cover observations in visible and infrared light for more than a hundred sources simultaneously.

Credits: ESO (artist impression)

3D- UND MULTI-OBJEKT-SPEKTROSKOPIE

3D AND MULTI OBJECT SPECTROSCOPY

Die Abteilung 3D- und Multi-Objekt-Spektroskopie (3DMOS) entwickelt innovative Forschungstechnologie, neue Instrumentierung und Analyse-Software für zwei wissenschaftlich-technologische Bereiche der beobachtenden Astronomie: Die bildgebende oder 3D-Spektroskopie (3DS) kann ausgedehnte, komplexe Gebilde – wie z.B. Gaswolken, Nebel, Sternhaufen oder Galaxien – räumlich und spektroskopisch auflösen. Mit Hilfe der Multi-Objekt-Spektroskopie (MOS) können eine sehr große Anzahl von Sternen oder Galaxien für umfangreiche Durchmusterungen effizient vermessen werden. Bei den meisten Projekten ist das AIP in internationalen Konsortien engagiert, um Instrumente für große Observatorien, insbesondere für die Europäische Südsternwarte, zu entwickeln.

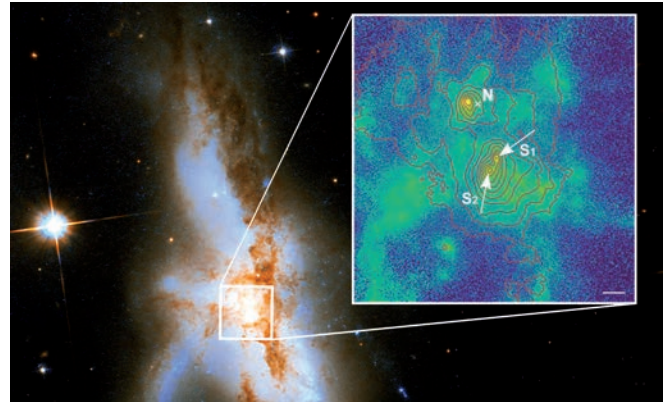
MULTI-UNIT SPECTROSCOPIC EXPLORER

Der MUSE Integralfeld-Spektrograph ist eines der erfolgreichsten Instrumente der Europäischen Südsternwarte (ESO). Alle Modi des Instruments befinden sich inzwischen im Routinebetrieb, einschließlich des Modus mit hoher räumlicher Auflösung, welcher durch adaptive Optik unterstützt wird. Nach letzten Optimierungen der Datenreduktionssoftware für den Umgang mit extrem tiefen Beobachtungen wurden die instrumentellen Arbeiten zu MUSE mit der Publikation der komplexen Software erfolgreich abgeschlossen.

In den Jahren 2020/21 trugen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des AIP zu einer Vielzahl wissenschaftlicher Projekte mit dem MUSE-Instrument bei. Sie waren federführend bei der Analyse der 30-Doradus-Region in der Großen Magellanschen Wolke, der nahen Spiralgalaxie NGC 300, der Antennengalaxie (NGC 4038/39) sowie bei tiefen und ausgedehnten extragalaktischen Durchmusterungen (MUSE-Wide und MUSCATEL).

ZUSAMMENBAU UND TEST VON 4MOST

Das spektroskopische Instrument (4MOST) wird die spektroskopische Erfassung von tausenden Himmelskörpern pro Aufnahme ermöglichen, von Sternen der Milchstraße bis hin zu extragalaktischen Objekten. 4MOST wird für das ESO-VISITA-Teleskop gebaut und umfasst diverse technische Systeme, welche sich im Bau, in der Integration und im Test befinden. Diese beinhalten eine Weitfeld-Optik von knapp einem Meter im Durchmesser, einen innovativen Positionierer (AESOP) für 2.436 Glasfasern, fasergekoppelte Spektrographen mit niedriger und mittlerer Auflösung sowie Kalibrier-, Metrologie- und Nachführeinheiten. Zusätzlich entwickelt das AIP Software, um die wissenschaftlichen Surveys vorzubereiten und die Eigenschaften des Instruments zu simulieren.



Die irreguläre Galaxie NGC 6240. Neue Beobachtungen deuten darauf hin, dass sie in ihrem Kern nicht zwei, sondern drei supermassereiche Schwarze Löcher beherbergt. Die MUSE-Beobachtungen (Teilbild) zeigen, dass zusätzlich zum nördlichen Schwarzen Loch (N) die südliche Komponente aus zwei supermassereichen Schwarzen Löchern, S1 und S2, besteht. Die gelb-grüne Farbe zeigt die Verteilung des Gases an, welches durch die Strahlung ionisiert wird.

The irregular galaxy NGC 6240. New observations suggest that it harbours not two but three supermassive black holes at its core. The MUSE observations (inset) show that in addition to the northern black hole (N), the southern component consists of two supermassive black holes, S1 and S2. The yellow-green colour indicates the distribution of gas surrounding the black holes that is ionized by radiation.

Credits: P. Weilbacher (AIP), NASA, ESA, the Hubble Heritage (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration, and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University)

MOSAIC FÜR DAS EXTREMELY LARGE TELESCOPE

Für das Extremely Large Telescope (ELT) mit seinem 39 Meter großen Hauptspiegel sind derzeit fünf Instrumente geplant, darunter der Multi-Objekt-Spektrograph MOSAIC. Das Arbeitspaket des AIP beinhaltet das optische Fasersystem, welches das Licht von der Fokalebene des Teleskops zu den optischen Spektrographen transportiert. Nach erfolgreichem Abschluss der Phase A, befindet sich das Projekt nun in der Design-Phase.

MOSAIC kombiniert bildgebende Integral-Feldeinheiten mit Multi-Objekt-Spektroskopie für den optischen und Nahinfrarot-Bereich. Die wissenschaftlichen Ziele reichen von der Analyse von weit entfernten Galaxien und deren Entwicklung bis zu aufgelösten Sternpopulationen in relativ nahen Galaxien.

DUNKLE ENERGIE UND HETDEX

Das AIP beteiligt sich am Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment (HETDEX), welches die Verteilung von über einer Million entfernter Galaxien vermessen soll, um die beschleunigte Ausdehnung des Kosmos durch die Wirkung der Dunklen Energie besser zu verstehen. Zur Beobachtung von so vielen Objekten dient das VIRUS-Instrument. Dieses besitzt 75, vom AIP gebaute, Glasfaserbündel und doppelt so viele modulare



TEAM

Sam Barden, Miklos Gäbler, Thomas Jahn, Andreas Kelz (head), Sophie Antonia Penger, Sonja Sautter, Ole Streicher, Tanya Urrutia, Viswajith Vanaraj, Peter Weilbacher, Roland Winkler

Spektrographen. Das VIRUS-Instrument kann mit jeder Aufnahme des Nachthimmels über 34.000 Spektren aufzeichnen. Im Jahr 2020 wurden die Daten aus 15.000 Beobachtungen veröffentlicht mit über einer Million Objekten, welche über ihre Spektrallinien oder ihr Kontinuumslicht detektiert wurden.

3D-SPEKTROSKOPIE AM CALAR-ALTO-OBSERVATORIUM

Der am AIP entwickelte Potsdam Multi-Apertur-Spektrophotometer (PMAS) ist ein 3D-Spektrograph für den gesamten optischen Wellenlängenbereich und seit 20 Jahren im Einsatz am Calar Alto 3,5-Meter-Teleskop. PMAS wird für diverse wissenschaftliche Programme benutzt, z.B. die Erforschung von planetaren Nebeln, Supernovae oder aktiven Galaxienkernen sowie für CAVITY, den Calar Alto Void Integral-field Treasury Survey. Als mögliches Nachfolgeinstrument wurde eine Machbarkeitsstudie für GAMAICA, den Galaxy Mapper am Calar Alto erstellt, mit der wissenschaftlichen Zielsetzung, eine spektroskopische Kartierung der Andromeda-Galaxie und des Virgo-Galaxienhaufens zu ermöglichen.

The 3D and Multi-Object Spectroscopy (3DMOS) section develops innovative research technology, new instrumentation and analysis software in two scientific and technological fields for observational astronomy: imaging or 3D spectroscopy (3DS) resolves both spatially and spectroscopically extended, complex regions, e.g. gas clouds, nebulae, star clusters, or galaxies. Multi-Object Spectroscopy (MOS) can be used to efficiently observe a very large number of stars or galaxies in extensive surveys. In most projects, the AIP is involved in international consortia to build instruments for large observatories, in particular for the European Southern Observatory.

MULTI-UNIT SPECTROSCOPIC EXPLORER

The MUSE integral-field spectrograph has been one of the most successful instruments of the European Southern Observatory (ESO). All of its modes are now in routine operation, including the high-spatial resolution modes supported by

adaptive optics. After final optimization of the data reduction software for handling extremely deep observations, the instrumental development work for MUSE was successfully concluded by documenting the sophisticated software in a publication.

Meanwhile, in 2020/21, AIP staff contributed to a variety of scientific projects with the MUSE instrument, leading the analysis of the 30 Doradus region in the Large Magellanic Cloud, the nearby spiral galaxy NGC 300, the Antennae Galaxy (NGC 4038/39), as well as deep and wide-field extragalactic surveys (MUSE-Wide and MUSCATEL).

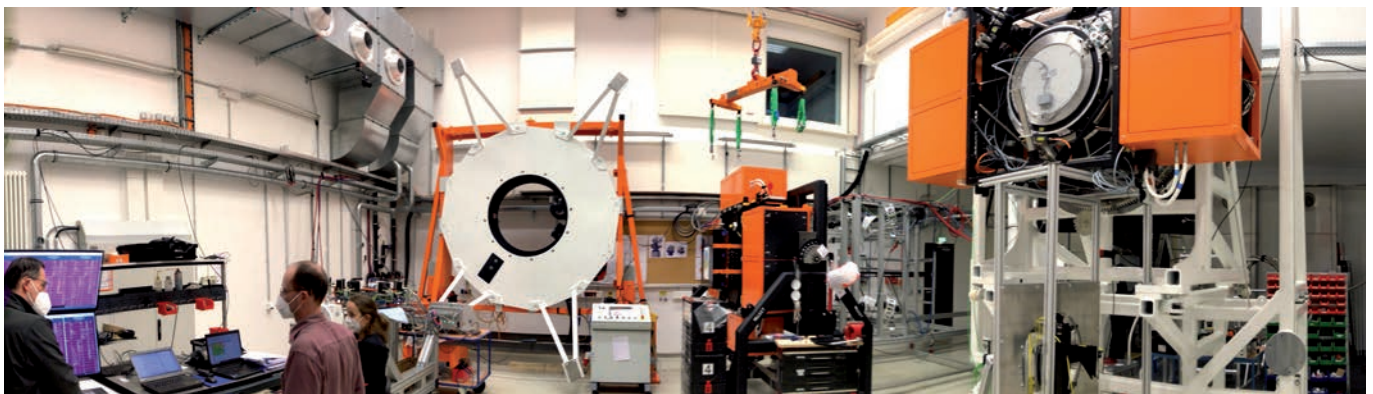
INTEGRATION AND TEST OF 4MOST

The 4-metre Multi-Object Spectroscopic Telescope (4MOST) enables spectroscopic observations of thousands of celestial bodies per exposure, from stars in the Milky Way to extragalactic objects. 4MOST is being built for the ESO-VISTA telescope and includes several technical systems under construction, integration and testing. These include a wide-field optics of nearly one metre in diameter, an innovative positioner (AESOP) for 2,436 optical fibres, low and medium resolution fibre-coupled spectrographs, and calibration, metrology and tracking units. In addition, software is being developed to prepare the scientific surveys and to simulate the instrument properties.

MOSAIC FOR THE EXTREMELY LARGE TELESCOPE

Five instruments are currently planned for the European Extremely Large Telescope (ELT) with its 39-metre primary mirror, including the multi-object spectrograph (MOSAIC). The AIP work package includes the optical fibre system that transports the light from the telescope's focal plane to the optical spectrographs. After successful completion of Phase A, the project is now in the design phase.

MOSAIC combines imaging integral-field units with multi-object spectroscopy for the optical and near-infrared wavelength range. The scientific goals range from the analysis of distant galaxies and their evolution to resolved stellar populations in relatively nearby galaxies.



*Ansicht der Integrationshalle mit Komponenten und Testständen für das 4MOST-Instrument.
A view of the integration hall with components and test-stands for the 4MOST instrument.*

Credits: AIP/J. Brynneel

DARK ENERGY AND HETDEX

The AIP participates in the Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment (HETDEX), which aims to measure the three-dimensional distribution of one million distant galaxies and thus to study the accelerated expansion history of the cosmos. To enable observation of so many objects, the VIRUS instrument was developed. It consists of 75 optical fibre-bundles, built at AIP, and twice the number of spectrographs. In every exposure, over 34,000 spectra can be recorded with VIRUS. In 2020, the data release from over 15,000 observations included over one million spectral line detections and 70,000 continuum sources.

3D SPECTROSCOPY AT THE CALAR ALTO OBSERVATORY

The Potsdam Multi-Aperture Spectrophotometer (PMAS), developed at the AIP, is a 3D spectrograph for the entire optical wavelength range and has been in use at the Calar Alto 3.5-metre telescope for 20 years. PMAS is used for various scientific programmes, such as the study of planetary nebulae, supernovae or active galactic nuclei, as well as for CAVITY, the Calar Alto Void Integral-field Treasury survey.



Andreas Kelz, Thomas Jahn, Tanya Urrutia, Ole Streicher, Sonja Sautter, Peter Weilbacher, Roland Winkler, Miklos Gäbler

As a possible follow-up instrument, a feasibility study for GAMAICA, the Galaxy Mapper at Calar Alto, was prepared with the scientific objective of enabling spectroscopic two-dimensional mapping of the Andromeda Galaxy and the Virgo Cluster.



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN

SELECTED PUBLICATIONS

Hill, G. J. et al. (2021): **The HETDEX Instrumentation: Hobby–Eberly Telescope Wide-field Upgrade and VIRUS**, *The Astronomical Journal*, 162, 298

Cairós, L. M., González-Pérez, J. N., Weilbacher, P. M., Manso Sainz, R. (2021): **MUSE observations of the blue compact dwarf galaxy Haro 14**, *Astronomy & Astrophysics*, 654, A142

Indahl, B. et al. (2021): **HETDEX [O III] Emitters. I. A Spectroscopically Selected Low-redshift Population of Low-mass, Low-metallicity Galaxies**, *The Astrophysical Journal*, 916, 11

Hawkins, K. et al. (2021): **The Stars of the HETDEX Survey. I. Radial Velocities and Metal-poor Stars from Low-resolution Stellar Spectra**, *The Astrophysical Journal*, 911, 108

Weilbacher, P. M. et al. (2020): **The data processing pipeline for the MUSE instrument**, *Astronomy & Astrophysics*, 641, A28

Gunawardhana, M. L. P. et al. (2020): **Stellar populations and physical properties of starbursts in the antennae galaxy from self-consistent modelling of MUSE spectra**, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 497, 3860

Kollatschny, W., Weilbacher, P. M., Ochmann, M. W., Chelouche, D., Monreal-Ibero, A., Bacon, R., Contini, T. (2020): **NGC 6240: A triple nucleus system in the advanced or final state of merging**, *Astronomy & Astrophysics*, 633, A79

Winkler, R., Micheva, G., Frey, S., Bellido-Tirado, O., de Jong, R. S. (2020): **The instrumental profile of the 4MOST facility**, *Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy IX*

Barden, S. C. et al. (2020): **The 4MOST secondary guider imaging system**, *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy VIII*

Hammer, F. et al. (2021): **MOSAIC on the ELT: High-multiplex Spectroscopy to Unravel the Physics of Stars and Galaxies from the Dark Ages to the Present Day**, *The Messenger*, 182, 33



Am AIP gibt es neue Datenspeicher und Clusterrechner sowie eine verbesserte Integration der Hardwarekomponenten mit Infiniband-Netzwerk. Eingebettete Bilder: Resultate der StarHorse-Daten und des Gaia Early Data Release 3.
At AIP, there are new storage and computing capacities as well as an improved integration of hardware components via Infiniband network. Insets: results from the StarHorse Catalogue and Gaia Early Data Release 3.

SUPERCOMPUTING UND E-SCIENCE SUPERCOMPUTING AND E-SCIENCE

Die moderne Wissenschaft hat mit riesigen Datenmengen zu tun. Daher ist es von großem Vorteil, über die geeigneten wissenschaftlichen Dienste, Werkzeuge und Infrastrukturen für die Bearbeitung dieser Daten zu verfügen. Die Abteilung Supercomputing und E-Science arbeitet mit AIP-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, ihren Arbeitsgruppen und Projekten zusammen, um kollaborative Forschungsumgebungen (CRE) bereitzustellen. Das Rückgrat der wissenschaftlichen Infrastruktur ist die nahtlose Integration von Rechen- und Speichereinrichtungen unter Verwendung von Cloud-Diensten und -Software. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit ist die Veröffentlichung von Survey- und Simulationsdaten bei Anwendung von Vorgaben des Internationalen Virtuellen Observatoriums (IWOA) und den FAIR-Prinzipien (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) sowie die aktive Entwicklung von Open-Source-Software für wissenschaftliche Anwendungen.

HARDWARE-ERWEITERUNGEN

Mit Hilfe von Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) hat das AIP sein Hardware-Portfolio mit einem neuen Compute-Cluster, erweiterten Speicherkapazitäten, leistungsfähigeren Frontend-Servern und Netzwerk aufgerüstet. Die Integration der Hardware in eine kohärente cloudbasierte Umgebung wurde weitergetrieben, um nahtlosen Zugang zu Batch-Systemen für Simulationen, Analysen großer Datensammlungen oder die Nutzung von GPU für maschinelles Lernen zu schaffen.

BETEILIGUNG AN DER NATIONALEN FORSCHUNGSDATENINFRASTRUKTUR

Die Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) hat das Ziel, ein kohärentes und integriertes System der Nutzung von Daten aus Wissenschaft und Forschung zu entwickeln. PUNCH4NFDI repräsentiert die Forschungsbereiche Teilchenphysik, Astrophysik, Astroteilchenphysik, Hadronen- und Kernphysik in der NFDI. Neben dem AIP und DESY, das als Koordinator fungiert, gehören dem Konsortium 19 teilnehmende und 22 weitere Partner aus Instituten und Universitäten an. PUNCH4NFDI ist auf neuartige Methoden des „Big Data“-Managements sowie auf „FAIR Data“ und „Open Science“ konzentriert. Im Mittelpunkt steht dabei eine „Science Data Platform“, auf der wissenschaftliche Daten, Workflows und Ergebnisse zu digitalen Forschungsprodukten (DRP) zusammengefasst, einfach gespeichert, intelligent verknüpft und wiederverwendet werden können. Einige Schlüsselemente für eine solche Infrastruktur wurden vom AIP als Pilot-Elemente zur Verfügung gestellt, wie beispielsweise GitLab als Versionskontrollsystem für Softwareentwicklungen und Webservices für das Intranet, Jupyter-Notebook-basierte Workflows für interaktive Datenauswertung über den Webbrowser, Cloud-Speicher wie Amazon S3 und eine Registry für Container.

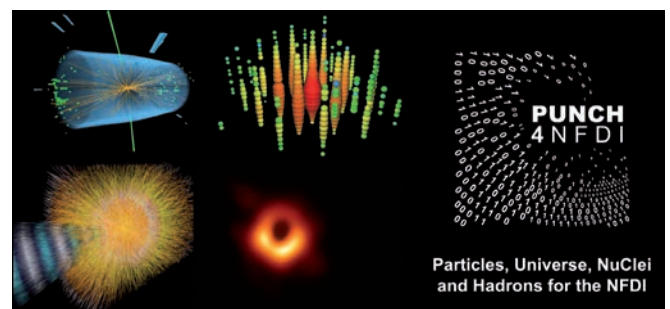
DATENVERÖFFENTLICHUNG UND VIRTUELLES OBSERVATORIUM

Im September 2020 publizierte die RAVE-Kollaboration die letzte Datenveröffentlichung DR6 der RAVE-Daten, einschließlich 500.000 Spektren von Objekten der südlichen Hemisphäre. Das Team der E-Science erledigte die Kuratierung und Veröffentlichung dieser Daten.

Im gleichen Jahr wurden die Fotoplatten des Solaren Observatoriums im Einsteinturm als Teil des APPLAUSE-Archivs publiziert. Mit der neuen Webseite „Historischer Himmel“ gibt es nun auch eine vereinfachte Möglichkeit, Fotoplatten des gesamten APPLAUSE-Archivs zu durchsuchen.

Im Dezember 2020 erfolgte die frühe dritte Datenveröffentlichung der Gaia-Satellitendaten (Early Data Release 3, EDR3). Das AIP ist eines der vier Partnerdatenzentren, die sich an der Vorbereitung und Veröffentlichung des EDR3 beteiligten. Durch den Zugang zu den Daten des EDR3 über unsere Infrastruktur konnte die StarHorse-Kollaboration ihre Ergebnisse sehr schnell als Erweiterung der Gaia-Daten berechnen und veröffentlichen. Im Jahr 2021 erfolgten die Veröffentlichungen der Datensammlung des XMM Survey Science Center sowie die des CARS-Surveys (Close AGN Reference Survey). Basierend auf den Erfahrungen und dem weiterentwickelten Daiquiri-Framework wird das öffentliche Archiv des 4MOST-Projekts vom AIP vorbereitet und bereitgestellt.

Die Veröffentlichung von Daten aus Durchmusterungen und Simulationen gemäß den Standards des Virtuellen Observatoriums und unter Verwendung von Digital Object Identifiern (DOI) erfüllt die meisten der FAIR-Anforderungen für wissenschaftliche Daten. All dies ist im Framework Daiquiri implementiert, das die Grundlage für alle Datenveröffentlichungen am AIP bildet.



PUNCH4NFDI – ein gemeinsames Vorhaben der Physikbereiche, die mit großen Datenmengen arbeiten.

PUNCH4NFDI – A collaboration of all physics communities using big data sources.

Credits: PUNCH4NFDI-Kollaboration

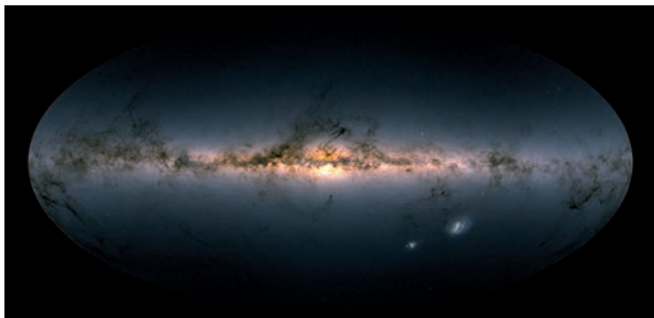


TEAM

Harry Enke (head), Yori Fournier, Anastasia Galkin, Olaf Michaelis, Sonja Sautter, Ole Streicher

SOFTWARE-ENGINEERING, ENTWICKLUNG UND WARTUNG VON WISSENSCHAFTLICHEN PROGRAMMEN, PIPELINES UND OPEN-SOURCE-Projekten

Die im AIP entwickelte Software RDMO ist mittlerweile ein Open-Source-Projekt, das von einer großen deutschen Community unterstützt wird. Mit Partnern aus den Sozialwissenschaften werden im BMBF-Projekt Domain Data Protocols (DDP Bildung) Ergebnisse in RDMO-Komponenten eingearbeitet. In 4MOST wird die wissenschaftliche Software in die Pipelines der Instrumentdaten eingearbeitet. Das freie Betriebssystem Debian Astro Pure Blend 3 wurde im Jahr 2021 mit Beteiligung des E-Science-Teams publiziert. Es enthält ca. 300 Softwarepakete für Astronomie, einschließlich Astropy, Pakete für maschinelles Lernen sowie weit verbreitete ältere Software wie IRAF oder ESO-MIDAS. Der IVOA-Standard zur Provenance von astronomischen Daten, an dessen Entstehung AIP-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter maßgeblich beteiligt waren, wurde im April 2020 verabschiedet.



Der ESA-Satellit Gaia liefert präzise Positionen, Distanzen, Bewegungsinformationen und andere physikalische Messungen für die zur Zeit genaueste Karte der Milchstraße.

The ESA space mission Gaia provides positions, distances, stellar motions, and physical parameters of the stars for the most accurate map of our Milky Way today.

Credits: ESA/DPAC

Modern science means dealing with large amounts of data. Therefore, having the suitable scientific services, tools and infrastructure to work on the data is a huge advantage. The Supercomputing and E-Science section collaborates with AIP scientists, their work groups and projects to provide collaborative research environments (CRE). The backbone of the scientific IT infrastructure is seamless integration of computing and storage facilities using cloud services and software. Another focus of the section is data publication of surveys and simulations, applying International Virtual Observatory (IVOA) and FAIR principles (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). The E-Science section is actively developing open-source software for scientific applications.

HARDWARE EXTENSIONS

Using funds from the European Regional Development Fund (ERDF), AIP upgraded the hardware portfolio with a new compute cluster, extended storage, more powerful frontend



Harry Enke, Anastasia Galkin, Ole Streicher, Arman Khalatyan, Kirill Makan, Sonja Sautter, Yori Fournier, Olaf Michaelis, Matthias Steinmetz

servers and network for the very diverse requirements of the science groups and projects. The upgrade was used to bring forward the integration of the powerful hardware into a coherent cloud-based environment enabling access to batch queues for simulations, running analysis on huge data collections or using GPU for certain machine learning procedures.

PARTICIPATING IN THE NATIONAL RESEARCH DATA INFRASTRUCTURE

The National Research Data Infrastructure (Nationale Forschungsdateninfrastruktur, NFDI) has the objective of developing a coherent and integrated system of using data from science and research. PUNCH4NFDI represents the research topics particle physics, astrophysics, astroparticle physics, hadron and nuclear physics in the NFDI. In addition to AIP and DESY, which acts as coordinator, the consortium includes 19 other participants and 22 other partners from the institutes and universities. The work of PUNCH4NFDI will focus on novel methods for “big data” management as well as “FAIR data” and “open science”. At the centre of this is an integrated “Science Data Platform”, on which scientific data, workflows, and results are combined into digital research products (DRP) that can easily be preserved, made accessible, intelligently linked and reused. Some of the key elements for such an infrastructure have been provided as pilot elements by E-Science like, for example, the GitLab version control system for software and web services for intranet, Jupyter notebook-based workflows for interactive data analysis via a web browser cloud storage (e.g. Amazon S3), and a registry for containers with various scientific workflows.

DATA PUBLICATION AND VIRTUAL OBSERVATORY

In September 2020, the RAVE collaboration published the final release DR6 of RAVE data, including about 500,000 spectra from objects in the southern hemisphere. The E-Science section provided the data curation and publication of this survey.

In the same year, the Einstein Tower solar plates were also published as part of the APPLAUSE project. The new “Historical Sky” website now also provides a simplified way to discover photographic plates from the entire APPLAUSE archive.

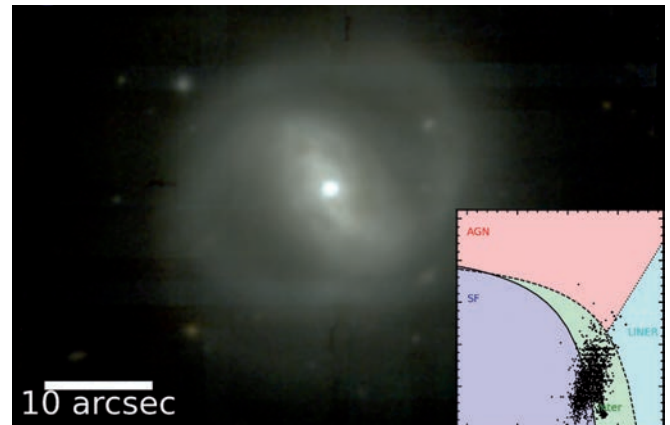
In December 2020, the Early Data Release 3 (EDR3) of Gaia satellite data was published. AIP is one of the four partner data centres which participate in the preparation and publication of the EDR3. Through access to the data via the new infrastructure, the StarHorse collaboration was able to compute and publish their results very quickly using EDR3. Additional data publications in 2021 were the XMM Survey Science Center data collection and the survey CARS (Close AGN Reference Survey). Based on the E-Science section's experiences and the further-developed Daiquiri framework, the public archive of the 4MOST project will be prepared and provided by AIP.

The publication of data from surveys and simulations using the Virtual Observatory standards and including Digital Object Identifiers (DOI) fulfills most of the FAIR requirements for scientific data. All of this is implemented with the Daiquiri framework as the basis for all data publications of AIP.

SOFTWARE ENGINEERING, DEVELOPMENT AND MAINTENANCE OF SCIENTIFIC PROGRAMMES, PIPELINES AND OPEN SOURCE PROJECTS

The AIP-developed software RDMO is now an open-source project supported by a substantial German community. With partners from social sciences, the results of the BMBF project Domain Data Protocols (DDP Bildung) will be worked into

RDMO components. Within 4MOST, E-Science supports the efforts to fuse the scientific software developments into carefully engineered pipelines for processing the instrument data. Debian Astro Pure Blend 3 was published in 2021 with about 300 software packages suitable for astronomy, including Astropy, packages for machine learning as well as legacy software IRAF and/or ESO-MIDAS. Finally, the IVOA-Standard for the provenance of astronomical data, for which AIP staff played a major role, was published in April 2020.



3D-Aufnahme der Galaxie MCG-04-03-014 aus dem CARS-Survey mit MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer). Das Diagramm zeigt die Zuordnung der Spektren zur genutzten Klassifikation.

3D image of the MCG-04-03-014 galaxy taken with MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer). The diagram shows the mapping of spectra to the used classification.

Credits: The Close AGN Reference (CARS) Team, <https://cars.aip.de>



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN SELECTED PUBLICATIONS

Steinmetz, M. et al. (2020): **The Sixth Data Release of the Radial Velocity Experiment (RAVE). I+II. Survey Description, Spectra, and Radial Velocities**, The Astronomical Journal, 160, 2, 82

Guiglion, G. et al. (2020): **The RADial Velocity Experiment (RAVE): Parameterisation of RAVE spectra based on convolutional neural networks**, Astronomy & Astrophysics, 644, A168

European Space Agency (ESA), DPAC Consortium (2021): **Gaia EDR3**, Astronomy & Astrophysics, 649, A1

Anders, F. et al. (2022): **Photo-astrometric distances, extinctions, and astrophysical parameters for Gaia EDR3 stars brighter than $G = 18.5$** , Astronomy & Astrophysics, 658, A91

Husemann, B. et al. (2022): **The Close AGN Reference Survey (CARS): IFU survey data and the BH mass dependence of long-term AGN variability**, Astronomy & Astrophysics, 659, A124

Debian Astro Pure Blend, <https://blends.debian.org/astro/>

Traulsen, I., Schwobe, A. D., Lamer, G., Kurpas, J. (2022): **4XMM DR11s**

Servillat, M. et al (2020): **The IVOA Provenance Data Model, Version 1.0**, <https://www.ivoa.net/documents/ProvenanceDM/>

Pal, P., Verma, M., Rendtel, J., González Manrique, S.J., Enke, H., Denker, C. (2020): **Solar Observatory Einstein Tower – Data Release of the Digitized Solar Full-disk Photographic Plate Archive**, Astronomische Nachrichten, 341, 575



*Der Potsdam Arrayed-Waveguide-Spektrograph mit geöffnetem Deckel. Der hochglanzvergoldete Strahlungsschutz ist zu sehen.
The Potsdam Arrayed Waveguide Spectrograph with the top open. The mirror finish gold coated radiation shield is visible.*

Credits: AIP/S.-M. Bauer

INNOFSPEC
INNOFSPEC

innoFSPEC Potsdam ist ein interdisziplinäres Innovationszentrum, das im Jahr 2008 als Joint Venture zwischen der Universität Potsdam und dem AIP gegründet wurde. Das Zentrum entstand mit erheblicher Förderung durch das BMBF-Programm „Unternehmen Region“ und befindet sich aktuell in der zweiten Förderperiode von 2016 bis 2022. innoFSPEC basiert auf zwei zentralen Forschungsgruppen: der Gruppe für Angewandte Analytische Photonik am Institut für Chemie der Universität Potsdam und der Gruppe für Astrophotonik am AIP. Mit weiterer Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, das BMBF und den Europäischen Forschungsrat ERC ist das Zentrum auf insgesamt sieben Forschungsgruppen angewachsen. Gemeinsam betreiben sie Forschung und Entwicklung zu Themen der astronomischen Instrumentierung mit optischen Fasern und integrierter Photonik, physikalischen Chemie und interdisziplinären Forschung.

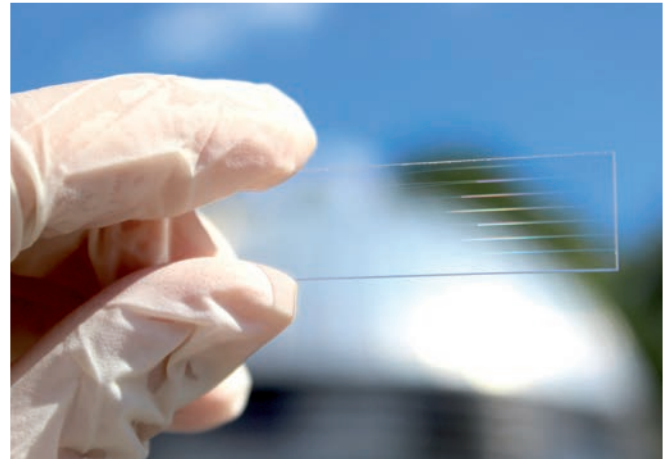
ASTRONOMISCHE FREQUENZKÄMME

Ein Frequenzkamm ist eine Art Laserlineal für Licht und dient der hochpräzisen Messung der Frequenz von elektromagnetischer Strahlung und der genauen Kalibrierung hochauflösender Spektrographen, die beispielsweise winzige Dopplerverschiebungen in Sternspektren zur Entdeckung von Exoplaneten messen können sollen. Am AIP wurde der Potsdam-Frequenzkamm (POCO, spanisch für „klein“) entwickelt, ein „schlüsselfertiges“ Astrokamm-System für nahinfrarotes Licht. Er enthält einen abstimmbaren stabilisierten photonischen Chip mit der für die Entdeckung von bewohnbaren Exoplaneten benötigten Stabilität. POCO kann gleichzeitig Kalibrierungslinien im visuellen und nahinfraroten Spektralbereich erzeugen, um zukünftige Spektrographen wie beispielsweise BlueMUSE zu unterstützen. Im Rahmen des MICADO-Projekts entwickeln innoFSPEC und das Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg eine faserbasierte Fabry-Perot-Kalibriereinheit für einen Wellenlängenbereich von 1.800 bis 2.400 Nanometern für das zukünftige Extremely Large Telescope.

STRAHLENKOMBINIERER FÜR DIE INTERFEROMETRIE

Strahlenkombinierer vereinen das Licht einzelner Teleskope auf kohärente Weise und erzeugen damit ein hochauflösendes Bild. Mittels eines ultraschnellen Laserbeschriftungsverfahrens (Ultrafast Laser Inscription) stellte innoFSPEC in Zusammenarbeit mit dem Institut für Photonik und Nanotechnologie CNRIFN in Mailand und der Universität Köln einen 3D-Strahlenkombinierer und Remapper her, der 2018 am William-Herschel-Teleskop (WHT) erstmals getestet wurde. Nach dem

Erfolg am WHT entwickelte innoFSPEC zusammen mit der Universität zu Köln und der Herriot-Watt University einen K-Band-Strahlenkombinierer mit einem Streifenkontrast von mehr als 90%. Er kam im Juli 2022 auf dem CHARA-Array am Mount-Wilson-Observatorium in Kalifornien erstmals zum Einsatz.



Mit ultraschnellen Lasern in Glas eingetragene 3D-Single-Mode-Wellenleiter werden verwendet, um Licht von mehreren Teleskopen zu kombinieren.

3D single-mode waveguides inscribed in glass using ultrafast lasers are used to combine light from multiple telescopes.

Credits: AIP/A. Dinkelaker

ADAPTIVE OPTIK

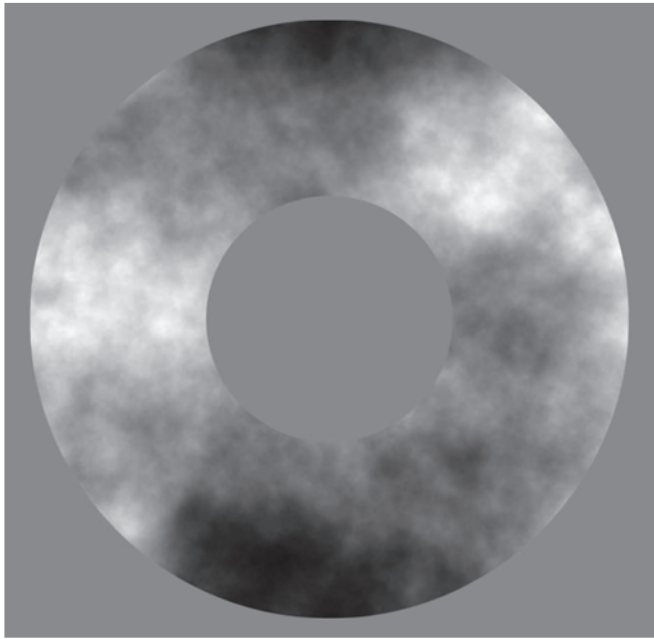
Bodengestützte Teleskope leiden unter den Verzerrungen, die durch Turbulenzen in der Erdatmosphäre verursacht werden. Die schnell wechselnden Schwankungen können mit einem adaptiven verformbaren Spiegel korrigiert werden, der die Verzerrungen nachahmt. Das korrigierte Sternenlicht wird dann in eine Glasfaser eingekoppelt und mit einem Gerät namens Photonische Laterne in mehrere optische Single-Mode-Fasern umverteilt.

Die Korrektur der verzerrten Wellenfront durch eine Adaptive Optik (AO) niedriger Ordnung vor der Einkopplung in den Multi-Mode-Abschnitt einer Photonischen Laterne kann eine kostengünstige Lösung für die Einkopplung von Sternenlicht in eine Faser für große bodengebundene Teleskope mit Single-Mode-Instrumenten sein. Das Team von innoFSPEC baute ein vollautomatisches AO-System, um atmosphärische Effekte zu emulieren und verschiedene Kopplungsabhängigkeiten für unterschiedliche Teleskopgrößen zu charakterisieren. Unter Ausnutzung der Tatsache, dass der Fokusfleck in der Nähe der Beugungsgrenze unabhängig von der Teleskopöffnung ist, entwickelten die Mitarbeitenden auch Pseudoslitze mit Photonischen Laternen.

TEAM



Syed Aslam Ahmed, Rafael Luiz Bernardi, Daniel Bodenmüller, Norberto Castro Rodriguez, John Davenport, Momen Diab, Aline Dinkelaker, Lu Gao, Alan Günther, Eloy Hernandez, Florian Korinth, Xijie Luo, Kalaga Madhav, Shubham Mamgain, Alyssa Valerie Mayer, Abani Shankar Nayak, Abhishrutha Raghavendra, Aashia Rahman, Martin M. Roth (head), Elmar Schmäzlin, Andreas Stoll, Stella Vjesnica, Haydar Altuğ Yıldırım



Das auf dem Phasenschirm des Adaptive-Optik-Prüfstandes eingravierte optische Pfaddifferenzmuster emuliert die atmosphärische Turbulenz.

Optical path difference pattern engraved on the phase screen used in the adaptive optics test rig emulates the atmospheric turbulence.

Credits: AIP/M. Diab

POTSDAM ARRAYED-WAVEGUIDE-SPEKTROGRAPH

PAWS, der Potsdam Arrayed-Waveguide-Spektrograph mit einem hochauflösenden Arrayed Waveguide Grating (AWG) für das astronomische H-Band, ist das erste Instrument seiner Art. Das AWG dient dazu, das einkommende Licht in seine Spektralfarben aufzuteilen und ist das Herzstück des Instruments. Es wurde speziell für den Einsatz in der Astronomie bei innoFSPEC entwickelt. Die Vision des „Instrument-on-a-Chip“ könnte einen Paradigmenwechsel in der astronomischen Instrumentierung für boden- und weltraumgestützte astronomische Einrichtungen der Zukunft einleiten.

OH-UNTERDRÜCKUNGSFILTER

Ein ernsthaftes Problem für die bodengebundene Nahinfrarot-Astronomie besteht in der großen Anzahl starker Hydroxyl (OH)-Emissionslinien, die in der Erdatmosphäre entstehen. Diese Emission deckt fast den gesamten Nahinfrarotbereich ab, so dass die Spektroskopie vom Boden aus in diesem Wellenlängenbereich stark beeinträchtigt ist. Die hervorragende Empfindlichkeit des ELT und anderer großer bodengestützter Teleskope wird durch dieses Problem erheblich eingeschränkt, so dass die enormen Investitionen in die nächste Generation von Großteleskopen für die Spektroskopie mit niedriger bis mittlerer Auflösung im nahen Infrarot nahezu nutzlos sind. Dieses Problem ist bei Instrumenten wie ELT-MOS/MOSAIC besonders akut, weshalb eine OH-Unterdrückung für das ELT äußerst wünschenswert wäre. innoFSPEC und seine Partner haben bereits gezeigt, dass ein einzelnes aperiodisches Faser-Bragg-Gitter ungefähr 100 helle atmosphärische OH-Emissionslinien im Nahinfraroten effizient herausfiltern kann, bevor sie in den Spektrographen für tiefe bodengestützte Beobachtungen gelangen. Solche

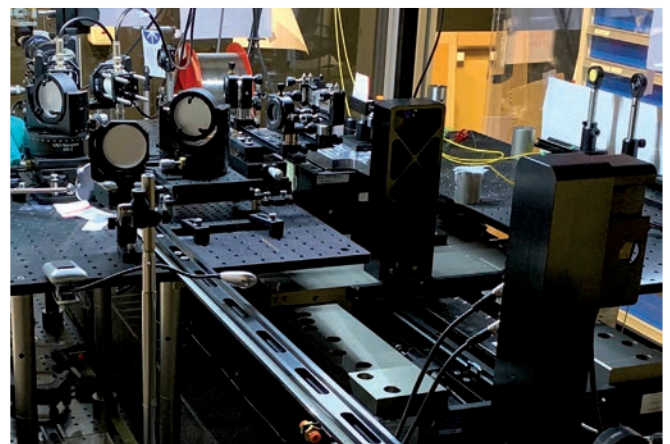
Gitter können bei innoFSPEC mit drei Methoden in Glasfasern eingebrannt werden: mit einer komplexen aperiodischen Phasenmaske, mit einem hochpräzisen „Lauflicht“-Interferometer und durch zeilenweises Einbrennen mit einem Femtosekundenlaser.

MARCOT

Der Multi-Array-of-Combined-Telescope (MARCOT)-Pathfinder ist ein neues, kostengünstiges „segmentiertes Teleskop“-Konzept mit einer großen effektiven Öffnung, das sowohl im spektrographischen Modus mit CARMENES arbeitet als auch im abbildenden Modus. Es wird derzeit vom Centro Astronómico Hispano-Alemán (CAHA) in Spanien gebaut. Im spektroskopischen Modus wird MARCOT eine neuartige, von innoFSPEC entwickelte photonische Multimode-zu-Multimode-Laterne verwenden, um das wissenschaftliche Licht von einzelnen optischen Teleskopanordnungen (OTAs) zu kombinieren.

VON DER ASTROPHYSIK ZU MEDIZIN UND UMWELT

Die ursprünglich vom AIP entwickelte „Nod and Shuffle“-Technik zur Subtraktion der hellen Emission, die von angeregten OH-Molekülen in der Atmosphäre ausgeht, wurde im Rahmen des HYPERAM-Projekts mit der bildgebenden Raman-Spektroskopie kombiniert, um die chemische Zusammensetzung einer Probe zu analysieren. In Zusammenarbeit mit verschiedenen Instituts- und Industriepartnern wird derzeit ein Gerät entwickelt, das in einer klinischen Umgebung für die minimal-invasive Krebsdiagnostik eingesetzt werden kann. Die Technologie wird auch zum Nachweis von Mikroplastik, winzigen Plastikteilchen im Körper, eingesetzt.



Das hochpräzise UV-Lauflicht-Interferometer mit großem Verfahrbereich ist über sechs Achsen für Umgebungstemperatur und -druck mit einem Closed-Loop-Interferometer stabilisiert und gegen Vibrationen isoliert.

High precision UV “running light” interferometer with long travel range is stabilized over six axes for ambient temperature and pressure with a closed-loop interferometer and is isolated from vibrations.

Credits: AIP/K. Madhav

INTEGRALFELDSPEKTROSKOPIE AUFGELÖSTER STERNEPOPULATIONEN

Mit Hilfe des neuen Narrow-Field-Modus von MUSE gelang es, den Sternhaufen R136 im Herzen des Sternentstehungsgebiets 30 Doradus in der Großen Magellanschen Wolke in

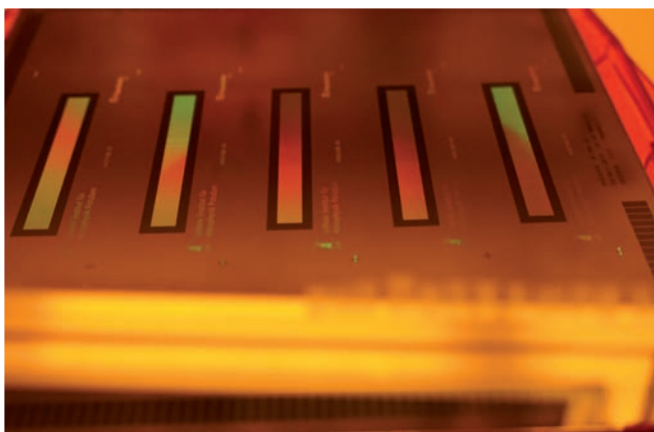
Einzelsterne aufzulösen. Die mit Hilfe adaptiver Optik gelungenen Aufnahmen erreichen eine Bildschärfe, die der des Hubble-Weltraumteleskops entspricht oder diese sogar übertrifft. Das Verfahren erlaubt nicht nur die Darstellung von Bildern, sondern auch die spektroskopische Messung von stellaren Parametern wie Oberflächentemperatur, Schwerebeschleunigung, chemischen Häufigkeiten, usw. Solche Daten sind von großem Wert für den Test der Voraussagen theoretischer Modellrechnungen und für Fragen nach der Entstehung von Mehrfachsystemen aus Schwarzen Löchern, deren Verschmelzung erst unlängst durch Gravitationswellen nachgewiesen werden konnte.

EINE NEUE METHODE ZUR MESSUNG DER HUBBLE-KONSTANTE

innoFSPEC entwickelte eine Methode, mittels derer sich aus MUSE-Datenkuben die extrem schwachen Signale von planetarischen Nebeln in weit entfernten Galaxien isolieren und präzise vermessen lassen. Ein besonders wirkungsvoller Filteralgorithmus bei der Bilddatenverarbeitung spielt dabei eine wichtige Rolle. Es konnte gezeigt werden, dass sich mit MUSE und der Leuchtkraftfunktion planetarischer Nebel die Distanz von Galaxien mit hoher Genauigkeit bis hin zu 90 Millionen Lichtjahren vermessen lässt. Das neue Verfahren soll nun für eine unabhängige Bestimmung der Hubble-Konstante zum Einsatz kommen.

BLUEMUSE

MUSE ist das begehrteste Instrument am Very Large Telescope und eine Erfolgsgeschichte der Instrumentenentwicklung am AIP. Jedoch befinden sich gerade im ultravioletten Licht (UV) zahlreiche wichtige Spektrallinien, die von MUSE nicht erfasst werden können, da dessen Spektralbereich erst bei 460 Nanometern beginnt. Aufgrund der starken Nachfrage nach einem UV-empfindlichen Instrument bildete sich unter Beteiligung des AIP ein internationales Konsortium, das sich seit 2022 in einer Phase-A-Studie mit dem Bau von BlueMUSE befasst, welches ab 2030 den Astronominen und Astronomen zur Verfügung stehen soll.



Fünf komplexe Phasenmasken, die mit Sub-Nanometer-Genauigkeit hergestellt werden.

Five complex phase masks fabricated with sub-nanometer accuracy.

Credits: Martin Hausinger (Fraunhofer IOF)

innoFSPEC Potsdam is an interdisciplinary innovation centre founded in 2008 as a joint venture between the University of Potsdam and AIP. The centre was established with substantial funding from the BMBF programme “Unternehmen Region” and most recently funded for a second period from 2016 to 2022. innoFSPEC is based on two central research groups: the Applied Analytical Photonics Group at the Institute of Chemistry at the University of Potsdam and the Astrophotonics group at AIP. With further funding from the German Research Foundation, BMBF and the European Research Council ERC, the centre has grown to a total of seven research groups which jointly conduct research and development specializing in topics for astronomical instruments with optical fibres and integrated photonics, physical chemistry and interdisciplinary research.

ASTRONOMICAL FREQUENCY COMBS

A frequency comb is a kind of laser ruler for light and can be used for high-precision measurements of the frequency of electromagnetic radiation or for calibrating high-resolution spectrographs, which shall, e.g., be able to measure tiny Doppler shifts in stellar spectra for discovering new exoplanets. At AIP, the Potsdam frequency comb (POCO, Spanish for “small”) was developed, a “turn-key” astrocomb system for near-infrared light. It contains a tunable stabilized photonic chip with the stability required to detect habitable exoplanets. POCO can simultaneously generate calibration lines in visual and near-infrared regions to accommodate future spectrographs such as BlueMUSE. As part of the MICADO project, innoFSPEC and the Max Planck Institute for Astronomy in Heidelberg are developing a fibre-based Fabry-Perot calibration unit for a wavelength range from 1,800 to 2,400 nanometres for the future Extremely Large Telescope.

BEAM COMBINERS FOR INTERFEROMETRY

Beam combiners coherently combine light from individual telescopes to generate a high-resolution image. Using an Ultrafast Laser Inscription process, innoFSPEC produced a 3D beam combiner/remapper in cooperation with the Institute für Photonics and Nanotechnologies CNRIFN in Milan and the University of Cologne, with first light tests at the William Herschel Telescope (WHT) in 2018. After the success at the WHT, a K-band beam combiner with more than 90% fringe contrast was developed along with the University of Cologne and Herriot-Watt University. It was put to use on the CHARA array at the Mount Wilson Observatory in July 2022.

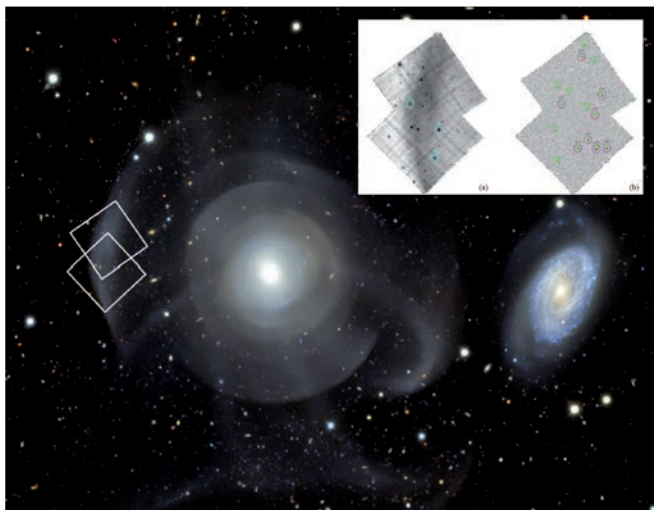
ADAPTIVE OPTICS

Ground-based telescopes suffer from the distortion caused by turbulence in the Earth’s atmosphere. The rapidly changing fluctuations can be corrected using an adaptive deformable mirror that mimics the distortion. The corrected star light is then coupled into a large core optical fibre and redistributed into multiple single mode optical fibres, with a device called Photonic Lantern. Correcting the disturbed wavefronts via low-order adaptive optics (AO) before coupling into the

multi-mode section of a photonic lantern can be a cost-effective solution for coupling starlight into a fibre for large ground-based telescopes with single-mode instruments. The innoFSPEC team built a fully automated AO system to emulate atmospheric effects to characterize various coupling dependencies for different telescope sizes. Exploiting the fact that the focus spot is independent of the telescope aperture near the diffraction limit, the team also developed pseudo slits using photonic lanterns.

POTSDAM ARRAYED WAVEGUIDE SPECTROGRAPH

The Potsdam Arrayed Waveguide Spectrograph (PAWS), with a high-resolution Arrayed Waveguide Grating (AWG) for the astronomical H-band, is the first instrument of its kind. The AWG separates the incoming light into its spectral components and is the heart of the instrument. It was specially developed for use in astronomy at innoFSPEC. The vision of the lightweight “instrument-on-a-chip” could usher in a paradigm shift in astronomical instrumentation for both ground- and space-based astronomical facilities of the future.



Die Ringgalaxie NGC 474, die etwa 110 Millionen Lichtjahre entfernt ist. Die beiden markierten Felder zeigen die Bereiche, in denen tiefe Beobachtungen mit MUSE gemacht wurden. Oben rechts: Kontinuum und Kugelsternhaufen, markiert mit Kreisen, extrahiert aus dem MUSE-Datenwürfel. Oben links: gefiltertes Bild in der Wellenlänge der rotverschobenen Sauerstoffemissionslinie mit hervorgehobenen planetarischen Nebeln.

The ring galaxy NGC 474 at a distance of about 110 million light years. The two marked boxes indicate deep observations made with MUSE. Top right: Continuum and globular clusters marked with circles, extracted from the MUSE data cube. Top left: Filtered image in the wavelength of the redshifted oxygen emission line, highlighting planetary nebulae.

Credits: AIP/N. Castro Rodriguez

OH SUPPRESSION FILTER

A serious problem for ground-based near-infrared astronomy is the presence of a large number of strong hydroxyl (OH) emission lines originating in the Earth's atmosphere. This emission covers almost the whole near-infrared band and thus spectroscopy from the ground in this wavelength range is strongly compromised. The superb sensitivity of the ELT and other large ground-based telescopes is severely hampered by this problem, rendering the huge capital investment for the

next generation of large telescopes almost useless for low to medium resolution spectroscopy in the near-infrared. This problem is particularly acute for instruments such as ELT-MOS/MOSAIC, with the consequence that OH suppression would be highly desirable for the ELT. innoFSPEC and its partners have already shown that a single aperiodic fibre Bragg grating can efficiently filter out about 100 bright atmospheric OH emission lines in the near-infrared before they enter the spectrograph for deep ground-based observations. Such gratings can be inscribed into optical fibre using three methods at innoFSPEC: with a complex aperiodic phase mask, a high-precision “running light” interferometer and by line-by-line inscription with a femtosecond laser.

MARCOT

The Multi Array of Combined Telescope (MARCOT) Pathfinder is a new cost-efficient “segmented telescope” concept with a large effective aperture that works in spectrographic mode with CARMENES, as well as in imaging mode. It is currently being built by the Centro Astronómico Hispano-Alemán (CAHA) in Spain. In spectroscopic mode, MARCOT will use a novel multimode-to-multimode photonic lantern developed by innoFSPEC to combine the science light from individual optical telescope assemblies (OTAs).

FROM ASTROPHYSICS TO MEDICINE AND ENVIRONMENT

The “nod-and-shuffle” technique, originally developed by AIP to subtract the bright celestial emission emanating from excited OH molecules in the atmosphere, has been combined with Raman imaging spectroscopy to analyse the chemical composition of a sample under the HYPERAM project. In cooperation with various institute and industry partners, it is currently being developed into a device that can be used in a clinical environment for minimally invasive cancer diagnostics. The technology is also being used to detect microplastics, tiny plastic particles in the human body.

INTEGRAL-FIELD SPECTROSCOPY OF RESOLVED STELLAR POPULATIONS

The new narrow-field mode of MUSE has been used to resolve the R136 star cluster in the heart of the 30 Doradus star-forming region in the Large Magellanic Cloud into individual stars. Thanks to the use of adaptive optics, the image quality is as sharp as, or even exceeding, that of the Hubble Space Telescope. The technique not only allows the creation of images, but also spectroscopic measurements of stellar parameters, such as effective temperature, gravity, chemical abundances, etc. These parameters are of paramount importance for testing the predictions of theoretical model calculations, and also for problems concerned with the formation of multiple black holes, whose merger has only recently been detected through gravitational waves.

A NEW METHOD FOR MEASURING THE HUBBLE CONSTANT

innoFSPEC has developed a method by means of which the extremely weak signals from planetary nebulae in distant galaxies can be isolated and precisely measured from MUSE

cubes. A particularly effective filter algorithm for image data processing plays an important role in this process. It was shown that with MUSE and the Planetary Nebula Luminosity Function (PNLF) the distance of galaxies can be measured with high accuracy up to 90 million light years. Work is currently underway to use the new method for an independent determination of the Hubble constant.

BLUEMUSE

MUSE is the most sought-after instrument on the Very Large Telescope and is a success story for instrument development at AIP. However, there are numerous important spectral lines, especially in the ultraviolet (UV), which cannot be detected by MUSE as its spectral range only begins at 460 nanometres. Due to the strong demand for a UV-sensitive instrument, an international consortium has been formed with the participation of the AIP. In 2022, the consortium has begun a Phase A study to build BlueMUSE, which is expected to be available to astronomers from 2030 on.



Elmar Schmölzlin, Andreas Stoll, Abani Shankar Nayak, John Davenport, Aashia Rahman, Daniel Bodenmüller, Alan Günther, Alyssa Valerie Mayer, Stella Vjesnica, Azlizan Adhyaqsa Soemtrio, Martin M. Roth, Haydar Altuğ Yıldırım, Kalaga Madhav



AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN SELECTED PUBLICATIONS

Stoll, A., Madhav, K., Roth, M. (2021): **Design, simulation and characterization of integrated photonic spectrographs for astronomy II: low-aberration Generation-II AWG devices with three stigmatic points**, Optics Express, 29, 36226

Dinkelaker, A. N. et al. (2021): **Astrophotonics: introduction to the feature issue**, Journal of the Optical Society of America B, 38, AP1

Benoît, A. et al. (2021): **Ultrafast laser inscription of asymmetric integrated waveguide 3 dB couplers for astronomical K-band interferometry at the CHARA array**, Journal of the Optical Society of America B, 38, 2455

Nayak, A. S. et al. (2021): **First stellar photons for an integrated optics discrete beam combiner at the William Herschel Telescope**, Applied Optics, 60, D129

Hernandez, E., Roth, M. M., Petermann, K., Kelz, A., Moralejo, B., Madhav, K. (2021): **Mode expansion theory and application in step-index multimode fibres for astronomical spectroscopy**, Journal of the Optical Society of America B, 38, A36

Diab, M., Tripathi, A., Davenport, J., Dinkelaker, A. N., Madhav, K., Roth, M. M. (2021): **Simulations of mode-selective photonic lanterns for efficient coupling of starlight into the single-mode regime**, Applied Optics, 60, D9

Diab, M., Dinkelaker, A. N., Davenport, J., Madhav, K., Roth, M. M. (2020): **Starlight coupling through atmospheric turbulence into few-mode fibres and photonic lanterns in the presence of partial adaptive optics correction**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 501, 1557

Ellis, S. C. et al. (2020): **First demonstration of OH suppression in a high-efficiency near-infrared spectrograph**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 492, 2796

Korinth, F. et al. (2020): **Wide Field Spectral Imaging with Shifted Excitation Raman Difference Spectroscopy Using the Nod and Shuffle Technique**, Sensors, 20, 6723

Castro, N. et al. (2021): **Mapping the core of the Tarantula Nebula with VLT-MUSE**, Astronomy & Astrophysics, 648, A65



AIP IM ÜBERBLICK

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



KURATORIUM
BOARD OF TRUSTEES

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT
SCIENCE ADVISORY BOARD

GESAMTBUDGET
TOTAL BUDGET



MIO.
EURO **18,6**

DRITTMITTEL-
EINWERBUNGEN
THIRD-PARTY FUNDING



MIO.
EURO **8,1**

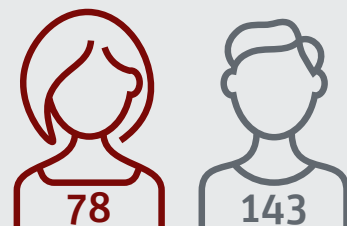
BESUCHERINNEN UND BESUCHER
ÖFFENTLICHER VERANSTALTUNGEN
GUESTS AT PUBLIC EVENTS

2.000



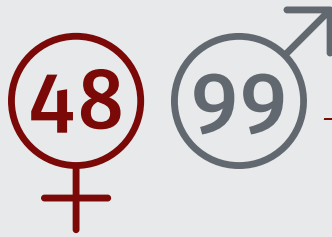
GESAMTPERSONAL
TOTAL STAFF

221



INTERNATIONAL **85**

WISSENSCHAFTLERINNEN UND
WISSENSCHAFTLER
RESEARCHERS



147

INTERNATIONAL 79

ERC-GRANTS 2020 – 2021

3



KOOPERATIONSPROJEKTE
COLLABORATIVE PROJECTS



66

INTERNATIONAL 58

PUBLIKATIONEN
PUBLICATIONS

336



REFERIERTE ZEITSCHRIFTENARTIKEL
PEER-REVIEWED ARTICLES

258

715



MEDIENBERICHTE
MEDIA REPORTS



*Blick auf eines der ältesten Gebäude auf dem AIP-Campus:
das Humboldthaus.*

*View of one of the oldest buildings at the AIP Campus:
the Humboldthaus.*

**CAMPUS
POTSDAM BABELSBERG**

**CAMPUS
POTSDAM BABELSBERG**

Der AIP-Campus auf dem Potsdamer Babelsberg bietet eine Mischung aus moderner und historischer Architektur in einer parkähnlichen Landschaft, die Teil des UNESCO-Weltkulturerbes ist. Beginnend mit den modernsten Gebäuden, in denen topaktuelle Forschungsinfrastruktur zur Verfügung steht, führt ein Spaziergang über das AIP-Gelände zurück in die architektonische Vergangenheit der astrophysikalischen Forschung.

Am Anfang des Weges befindet sich das Leibnizhaus, das 2010 fertiggestellt wurde und im darauffolgenden Jahr den Baukulturpreis der Brandenburgischen Architektenkammer erhielt. Ihm gegenüber steht das im Jahr 2000 eingeweihte Schwarzschildhaus. Diese beiden modernen Gebäude beherbergen Arbeitsplätze für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Forschungsbereichs Extragalaktische Astrophysik, den Vorstand, die Forschungstechnik, das Projektmanagement, den IT-Service und das innoFSPEC-Team. In den Untergeschossen der beiden Gebäude befinden sich zudem Hochleistungscomputer, Werkstätten und jeweils eine Integrationshalle.

Seit 2021 entsteht auf dem Campus ein neues Mehrzweckgebäude. In diesem sollen wissenschaftlich und administrativ genutzte Besprechungs- und Büroräume, ein Konferenzsaal für bis zu 199 Gäste, eine Ausstellungsfläche und ein gehobener Mensabetrieb Platz finden. Die Fertigstellung des Gebäudes ist für Mitte 2024 vorgesehen.

Das Bibliotheksgebäude, dessen Kuppel bis 1945 ein 122-Zentimeter-Spiegelteleskop beherbergte, läutet den historischen Teil des Geländes ein. Hier befindet sich seit 2002 die institutseigene Bibliothek. In den etwas hügelaufliegenden ehemaligen Meridianhäusern befindet sich das Medien- und Kommunikationszentrum (MCC). Heute laufen hier die Datenströme der robotischen Teleskope und ferngesteuerten Instrumente zusammen.

Das 1913 errichtete Hauptgebäude der historischen Berliner Sternwarte, das Humboldthaus, bietet heute Platz für Forschungsgruppen des Bereichs Kosmische Magnetfelder. In der großen Kuppel ist noch immer der historische Babelsberger Refraktor von Zeiss zu bestaunen. Die 50-Zentimeter- und 70-Zentimeter-Spiegelteleskope in der Ost- bzw. Westkuppel werden auch heute noch für die Wissenschaft und für die Öffentlichkeitsarbeit genutzt.

Die Villa im hintersten Bereich des Geländes wurde einst für den Direktor der Sternwarte Babelsberg, Hermann Struve, errichtet. Heute arbeiten dort sowie im ehemaligen Pförtnerhaus Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Verwaltung.

The AIP campus on Potsdam's Babelsberg offers a mix of modern and historic architecture in a park-like landscape, which is part of the UNESCO World Heritage. Starting with the most modern buildings hosting cutting-edge research infrastructure, a walk across the AIP grounds leads back to the architectural past of astrophysical research.

The path across the campus first leads past the Leibnizhaus, which was completed in 2010 and received an architectural award by the Brandenburg Chamber of Architects the following year. Opposite of the Leibnizhaus lies the Schwarzschildhaus, which was inaugurated in 2000. These two state-of-the-art buildings accommodate workplaces for the scientists of the research area Extragalactic Astrophysics, the Executive Board, Technical Section, Project Management, IT Services and the innoFSPEC team. The basements of the two buildings also house high-performance computers, workshops and one integration hall each.

Since 2021, a new multipurpose building has been under construction on campus. It will provide space for scientifically and administratively used meeting and office rooms, a conference room for up to 199 guests, an exhibition area and an advanced cafeteria service. The building is scheduled for completion in mid-2024.

The library building, which housed a 122-cm reflecting telescope in its dome until 1945, marks the beginning of the historic part of the campus. The institute's own library has been located here since 2002. Slightly uphill, the former meridian houses now constitute the Media and Communication Centre (MCC), where data streams from robotic telescopes and remote-controlled instruments converge.

The main building of the historic Berlin Observatory, the Humboldthaus, built in 1913, now provides space for research groups from the research area Cosmic Magnetic Fields. In the large dome, the historic Babelsberg refractor by Zeiss can still be admired. The 50-cm and 70-cm reflecting telescopes in the smaller Eastern and Western domes are still used today for science and public relations.

The villa at the far end of the site was once built for the director of the Babelsberg Observatory, Hermann Struve. Today, it offers together with the former porter's lodge workplaces for administrative staff.



Grundsteinlegung für den Neubau am 27. Oktober 2021: Mike Schubert, Matthias Steinmetz, Matthias Kleiner, Klaus G. Strassmeier, Wolfram Rosenbach und Inge Schlotzhauer mit der Zeitkapsel am Grundstein.

Laying the foundation stone, 27 October, 2021: Mike Schubert, Matthias Steinmetz, Matthias Kleiner, Klaus G. Strassmeier, Wolfram Rosenbach and Inge Schlotzhauer with the time capsule at the foundation stone.

VERWALTUNG

Die Verwaltung des AIP erledigt zentrale administrative Service- und Verwaltungsaufgaben für den Betrieb des Instituts und wird vom Administrativen Vorstand geleitet. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Abteilungen Finanzen und Beschaffung, Personal und Recht sowie der Gruppen Haustechnik und Bauangelegenheiten unterstützen die Forschungsabteilungen mit ihrer jeweiligen Expertise.

FINANZEN UND BESCHAFFUNG

Die Abteilung Finanzen und Beschaffung gliedert sich in vier Gruppen.

Die Finanz- und Anlagenbuchhaltung verantwortet die Buchführung und den Zahlungsverkehr, steuerliche Angelegenheiten sowie den Jahresabschluss. Außerdem verwaltet die Gruppe die von Bund und Land zugewendeten Haushaltsmittel und das dem AIP anvertraute Stiftungsvermögen der Johann-Wempe-Stiftung.

Das Drittmittel- und Forschungsmanagement unterstützt die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei der Einwerbung und revisions-sicheren Abwicklung zahlreicher Forschungsvorhaben und Drittmittelprojekte.

Das Beschaffungswesen befasst sich mit der Abwicklung von Beschaffungsvorgängen und mit den zum Teil aufwändigen Ausschreibungs- und Vergabeverfahren, die für diese erforder-

lich sind. Zusätzlich verwaltet die Gruppe den zentralen Rechnungseingang und erledigt Zollangelegenheiten.

Das Controlling widmet sich der finanziellen Steuerung des Instituts mittels Planungs- und Kosten- und Leistungsrechnungen sowie dem internen und externen Berichtswesen.

Im Jahr 2021 wurde die digitale Abwicklung der Prüfung und Anweisung von Eingangsrechnungen ausgiebig getestet und zum Jahreswechsel institutsweit eingeführt. Weitere Projekte zur Digitalisierung sind in Vorbereitung.

BAUANGELEGENHEITEN

Die Gruppe Bauangelegenheiten plant und verwirklicht Instandsetzungsmaßnahmen für die zum Teil denkmalgeschützten und historisch wertvollen Liegenschaften des AIP. Ein aktuelles Großprojekt ist die Realisierung eines Neubauvorhabens auf dem Campus Babelsberg mit Büros, Konferenzbereich und Kantine, welches im Jahr 2024 bezogen werden soll. Der erste große Zwischenschritt erfolgte mit der Grundsteinlegung im Oktober 2021.

HAUSTECHNIK

Die Gruppe Haustechnik bewirtschaftet die Gebäude und Liegenschaften und ist für die Instandhaltung verantwortlich. Zudem erstellen und überwachen die Mitarbeitenden Wartungs- und Reparaturpläne für sämtliche Bereiche der Gebäudetechnik und setzen diese um, ohne dabei die Kosten aus den Augen zu verlieren. Darüber hinaus ist die Haustechnik für den Fuhrpark und sämtliche Prüfungen der elektrischen Betriebsmittel und Anlagen verantwortlich.

PERSONAL UND RECHT

Die Abteilung Personal und Recht bietet den Beschäftigten Dienstleistungen und Beratung in den Bereichen Personalverwaltung, Entgelt, Sozialwesen und Dienstreisen an, beginnend mit dem Kontakt zu Bewerberinnen und Bewerbern, der Unterstützung neuer Beschäftigter über die Betreuung während der Tätigkeit am AIP bis hin zum Ende eines Arbeitsverhältnisses.

Die Mitarbeitenden der Abteilung arbeiten als erste Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner des Betriebsrats vertrauensvoll mit diesem sowie den weiteren Funktionsträgerinnen und Funktionsträgern im Bereich personeller Belange zusammen.

Weiterhin bearbeitet und berät die Abteilung in den rechtlichen Angelegenheiten des Instituts.

TEAM – VERWALTUNG



Beatrice Baronick, Ulrich Boyer, Jörg Däubel, Melanie Dautz, Christine Haase, Andrea Hasse, René Hauße, Elke Helbig, Linda Henkel, Robert Hermsdorf, Oliver Heyn, Hillene Ites, Anne van de Kamp, Petra Knoblauch, Britta Heins, Manuela Kuhl, Franka Mayhack, Dennis Nagel, Petra Nihsen, Nicole Reimann-Kriese, Wolfram Rosenbach (head), Gernot Rosenkranz, Tiffany Schiemann, Karin Tygö, Sandra Weinmann



Sandra Weinmann, Beatrice Baronick, Hillene Ites, Dennis Nagel, Tiffany Schiemann, Karin Tygör, Melanie Dautz, Gernot Rosenkranz, Petra Knoblauch, Manuela Kuhl, Robert Hermsdorf, Britta Heins, Elke Helbig, Jörg Däubel, Christine Haase, Ulrich Boyer, Oliver Heyn, Linda Henkel, Nicole Reimann-Kriese, René Hauße, Wolfram Rosenbach

ADMINISTRATION

The AIP administration handles central administrative service and management tasks for the operation of the institute and is headed by the Administrative Chairman. The staff of the sections Finance and Procurement, Personnel and Legal Affairs, and the two groups Building Service and Building Supervision support the research sections with their respective expertise.

FINANCE AND PROCUREMENT

The Finance and Procurement section is divided into four groups.

The employees of finance and asset accounting are responsible for accounting and payment transactions, fiscal matters and the annual financial statements. In addition, the group manages the budgetary funds allocated by the federal and state governments and the endowment assets of the Johann Wempe Foundation entrusted to the AIP.

Third-party funding and research management supports the scientific staff in the acquisition and audit-proof processing of numerous research projects and third-party funding projects. The procurement team takes care of issues related to customs and manages the central invoice receipt. Its main task, however, is the handling of procurement processes, some of which require complex tendering and award procedures.

Controlling is dedicated to the financial management of the institute by means of planning and cost and performance accounting as well as internal and external reporting.

In 2021, the digital processing of the verification and instruction of incoming invoices was extensively tested and introduced institute-wide at the turn of the year. Further digitalization projects are planned.

BUILDING SUPERVISION

The Building Supervision group plans and implements maintenance measures for the AIP's properties, some of which are protected as historic monuments. A current major project is the realization of a new building with offices, a conference area and canteen, which is to be completed in 2024. A first milestone was the laying of the foundation stone in October 2021.

BUILDING SERVICE

The Building Service group manages and is responsible for the maintenance of the buildings and properties. Its employees create, monitor, and implement maintenance and repair plans for all areas of building services, while also keeping track of costs. In addition, they are responsible for maintaining the company cars and for all inspections of electrical equipment and systems.

PERSONNEL AND LEGAL AFFAIRS

The employees of the Personnel and Legal Affairs section offer services and advice in the areas of personnel administration, remuneration, social welfare, and business trips, starting with the contact to applicants, support of new employees, assistance during employment at the AIP and up to the end of an employment relationship.

As the first point of contact for the works council, the section's staff works in a trusting relationship with the works council as well as with other functionaries in the area of personnel matters.

The section also handles and advises on the institute's legal affairs.

FORSCHUNGSTECHNIK

Die Forschungstechnik schafft in Zusammenarbeit mit den wissenschaftlichen Abteilungen die instrumentellen Voraussetzungen für die astronomische Forschung. Sie ist an nahezu allen Instrumentierungsprojekten des Instituts beteiligt und stellt technische Unterstützung für die Entwicklung, Konstruktion, Fertigung, Integration und Verifikation von astronomischen Geräten bereit. Neben Aufbau und Inbetriebnahme neuer wissenschaftlicher Geräte gehören auch Wartung und Verbesserung bereits im Einsatz befindlicher sowie die Pflege historischer Instrumente zu den Aufgaben der Abteilung. Die Abteilung bildet je Ausbildungszyklus zwei Feinwerkmechanikerinnen bzw. Feinwerkmechaniker aus. Seit dem Jahr 2021 wird zudem die Ausbildung für den Lehrberuf Elektronikerin bzw. Elektroniker für Geräte und Systeme in der Abteilung ermöglicht.

Die Beschäftigten der Forschungstechnik formen ein interdisziplinäres Team und sind in vier Gruppen unterteilt.

Die Konstruktion plant und entwirft an modernen Computerarbeitsplätzen Baugruppen und Komponenten für Instrumente. Um die optimale Funktion der Bauteile sicherzustellen, kommt modernste Software zum Einsatz.

In der feinmechanischen Werkstatt werden die Bauteile aus Konstruktionszeichnungen und 3D-Modellen größtenteils auf computergesteuerten oder konventionellen Maschinen gefertigt. Überwiegend sind hochpräzise Einzelteile herzustellen, wofür hauptsächlich Aluminiumlegierungen, rostfreier Edelstahl, aber auch Kunststoffe verarbeitet werden.

Die Gruppe Technische Software, Elektronik, Detektoren (TSED) unterstützt Instrumentierungsvorhaben mit Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik sowie mit der Erstellung von technischer Software. Neben dem Entwurf, der Bestückung, der Inbetriebnahme und den Tests von Leiterplatten und Schaltschränken für Kuppel-, Teleskop- und Instrumentensteuerung wird hardwarenah (low-level) programmiert. Zur Charakterisierung und Verifizierung von Detektorsystemen stehen Labore bereit.

Die Gruppe Optik begleitet, berät und unterstützt Instrumentierungsvorhaben des Instituts mit ihren Kompetenzen bei allen Geräten, die Licht und Optik beinhalten. Neben Berechnungen von Strahlengängen, der Bewertung optischer Systeme unter Berücksichtigung der geforderten Anforderungen und der Bereitstellung von Spezifikationen für optische Bauteile unterstützt das Team sowohl den Aufbau als auch die Justage von Optikkomponenten. In diesem Zusammenhang werden Verifikationsprozeduren entwickelt, um die realisierten Systeme auf die vorgegebenen Anforderungen zu testen. Daneben konzipiert das Team auch spezielle Fertigungs- und Verifikationsprozesse faseroptischer Komponenten.



Hakan Önel, Michael Schröck, Allar Saviuk, Thomas Hahn, Dennis Plüschke, Daniel Sablowski, Dietrich Feuerstein, Daniel Döscher, Björn Leseberg, Silke Kuba-Lehmann, Wilbert Bittner, Ulrike Lemke, Jens Paschke, Henrik Giesecking, Svend-Marian Bauer, Sergei Pankratow, Thomas Liebner, Tim Cegielski

Die Forschungstechnik verwaltet die Laborräume des Instituts. Dazu gehören die feinmechanische Werkstatt und mehrere Optiklabore, je ein Physik-, Faraday-, Detektor- und Elektroniklabor, ein Messlabor mit einer 3D-Koordinatenmessmaschine, ein Reinraum der ISO Klasse 4 sowie zwei große Integrationshallen mit je einem Brückenkran und einem großen Teleskopsimulator.

Im Jahr 2021 warb die Forschungstechnik erfolgreich Mittel der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und des Landes Brandenburg ein, die das AIP für die Erweiterung der Fertigungsmöglichkeiten von astronomischen Instrumentierungsprojekten in einen neuen Gerätepark investiert, der dem Institut neue Fertigungstechnologien erschließt.



*Arbeiten am 4MOST Cassegrain Cable Wrap (CaCW).
Working on the 4MOST Cassegrain Cable Wrap (CaCW).*

Credits: AIP/A. Saviuk

TECHNICAL SECTION

In cooperation with the scientific sections, the Technical Section creates the instrumental prerequisites for astronomical research. It is involved in almost all instrumentation projects of the institute and provides technical support for the development, mechanical engineering, production, integration and verification of astronomical instruments. In addition to the construction and commissioning of new scientific instruments, the section's tasks also include the maintenance and improvement of instruments already in use as well as the care of historical instruments. The section trains two precision mechanics per training cycle. Since 2021, the section has also provided training for the apprenticeship occupation of electronics technician for devices and systems.

TEAM – FORSCHUNGSTECHNIK



Svend-Marian Bauer, Wilbert Bittner, Tim Cegielski, Frank Dionies, Daniel Döscher, Thomas Fechner, Dietrich Feuerstein, Henrik Giesecking, Thomas Hahn, Silke Kuba-Lehmann, Ajay Kumar Ramesh Kumar, Leander Leibnitz, Ulrike Lemke, Björn Leseberg, Thomas Liebner, Hakan Önel (head), Sergei Pankratow, Jens Paschke, Volker Plank, Dennis Plüschke, Lea Marlen Rektorschek, Daniel Sablowski, Oskar Sauerbrey, Allar Saviuk, Berit Marie Schlusemann, Michael Schröck, Lukas Wagner, Elsa Wiesel

The employees of the Technical Section form an interdisciplinary team and are divided into four groups.

Mechanical Engineering plans and designs assemblies and components for the instruments at modern computer workstations. State-of-the-art software is used to ensure that the components function optimally.

In the Precision Mechanics Workshop, the components are manufactured from design drawings and 3D models, mostly on computer-controlled or conventional machines. In most cases, high-precision individual parts have to be manufactured, for which mainly alloys, stainless steel, but also plastics are processed.

The Technical Software, Electronics, Detectors (TSED) group supports instrumentation projects with measurement, control, and regulation technology and with the creation of technical software. In addition to the design, assembly, commissioning, and testing of circuit boards and control cabinets for dome, telescope, and instrument control, hardware-related (low-level) programming is carried out. Laboratories are available for characterization and verification of detector systems.

The Optics group accompanies, advises, and supports instrumentation projects of the institute with its expertise in all devices involving light and optics. In addition to calculations of beam paths, the evaluation of optical systems considering the required specifications and the provision of specifications for optical components, the team supports both the construction and the adjustment of optical components. In this context, verification procedures are developed to test the realized systems for the specified requirements. In addition, the team also designs special manufacturing and verification processes of fibre optic components.

The Technical Section manages the institute's laboratory facilities. These include the Precision Mechanics Workshop and several optics laboratories, one each of physics, Faraday, detector, and electronics laboratories, a measurement laboratory with a 3D coordinate measuring machine, an ISO class 4 clean room, as well as two large integration halls, each with an overhead crane and a large telescope simulator ready for use.

In 2021, the Technical Section successfully acquired funding from the European Union's European Regional Development Fund and the state of Brandenburg, which the AIP is investing in a new equipment park to expand the manufacturing capabilities of astronomical instrumentation projects, opening up new manufacturing technologies for the institute.

PROJEKTMANAGEMENT

Die Abteilung Projektmanagement ist eine relativ junge Einheit am AIP, die Anfang 2018 aus der Notwendigkeit heraus entstand, das Fachwissen zum Management größerer Instrumentierungsprojekte zu bündeln. Anfänglich gab es nur ein Großprojekt, 4MOST, für das ein eigenes Konsortialmanagement, Controlling, Systems Engineering und Produktsicherungsmanagement notwendig waren. Für 4MOST ist die Abteilung für alle Disziplinen des Projektmanagements verantwortlich und koordiniert das Konsortium mit mehr als 413 Mitgliedern an 29 Instituten weltweit. Das Projekt kommt nun in seine „heiße Phase“, denn das erste Subsystem, der Faserpositionierer AESOP von Australian Astronomical Optics, traf im August 2021 am AIP ein.

In den nächsten Monaten werden weitere Komponenten des 4MOST-Instruments die Integrationshalle des Leibnizhauses am AIP füllen und sich nach ausgiebigen Tests Stück für Stück zu einem großen Instrument zusammensetzen. Die Systemingenieurinnen und -ingenieure der Abteilung Projektmanagement überwachen die Systemintegration und -verifizierung. Systems Engineering hat das Ziel, die erfolgreiche Realisierung eines Systems über seine Lebenszyklen hinweg zu ermöglichen.

Nachdem das 4MOST-Projekt in die Phase der Systemintegration eingetreten ist, stieg der Bedarf an Unterstützung im Integrationslabor für die Integration von Subsystemen, die Definition und Durchführung von Validierungstests und die Dokumentation von Testergebnissen. Deshalb hat die Abteilung Projektmanagement drei Integrations- und Testingenieurinnen und -ingenieure eingestellt, die die Verantwortung für viele der erforderlichen Aufgaben zur Unterstützung der 4MOST-Systemverifizierung übernehmen.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Abteilung ist das Produktsicherungsmanagement. Dies ist ein multidisziplinärer Ansatz zur Vermeidung von Fehlern und Mängeln im Design oder in der Herstellung eines Produkts. Ein weiteres Ziel ist die Minderung von Gefahren und die Sicherstellung einer angemessenen Rückverfolgbarkeit von Design und Dokumentation.

Generell ist das Team Ansprechpartner für alle projektbezogenen Serviceleistungen. Dies reicht von der Bereitstellung von effektiven IT-Tools wie einem Dokumentationsarchiv, Ticketssystem, Websites und anderen Kommunikationsinstrumenten über die Verwaltung und Betreuung von Konsortialmitgliedern bis hin zu der Organisation von Sitzungen und Konferenzen. Neben 4MOST war die Abteilung in den Jahren 2020 und 2021 auch in weitere Projekte involviert: ANDES und MOSAIC, zwei Instrumente für das zukünftige Extremely Large Telescope.

TEAM – PROJEKTMANAGEMENT



Olga Bellido-Tirado, Joar Brynnel (head), Aida Ezzati Amini, Steffen Frey, Christine Füllelein, Domenico Giannone, Diana Johl, Jonathan Langethepe-Kong, Silke Kuba-Lehmann, Carlos Rodriguez Alvarez, Pasko Roje, David Sachs, Deborah Sobiella, Sara Vitali

PROJECT MANAGEMENT

The Project Management section was formed in early 2018 and, with its members, consolidates the know-how for managing major instrumentation projects into one specialized section. Initially, there was only one major project, 4MOST, which required its own consortium management, controlling, systems engineering, and product assurance management. For 4MOST, the section is responsible for all disciplines of the project management and coordinates the consortium with more than 413 members at 29 institutes worldwide. The project is now entering its “hot phase” as the first subsystem, the AESOP fibre positioner from Australian Astronomical Optics, arrived at AIP in August 2021.

Over the next few months, the integration hall of the Leibnizhaus at AIP will continue to fill up as more components of the 4MOST instrument are delivered and tested until they are ultimately assembled into one large instrument. The systems engineers of the Project Management section oversee system integration and verification. Systems engineering aims to enable the successful realization of a system throughout its life cycles.

Now that the 4MOST project has entered the systems integration phase, the need for support in the integration laboratory for integrating subsystems, defining, and performing validation tests and documenting test results has increased. Therefore, the section has hired three integration and test engineers, who will take responsibility for many of the tasks required to support 4MOST system verification.

Another important component of the Project Management section is product assurance. This is a multidisciplinary approach to prevent errors and defects in the design or manufacture of a product. Another goal is to mitigate hazards and ensure adequate traceability of design and documentation.

In general, the Project Management team is the point of contact for all project-related services. This ranges from the provision of effective IT tools such as a documentation archive, ticket system, websites, and other communication tools to the management and support of consortium members and the organization of meetings and conferences. In addition to 4MOST, the section has also been involved in other projects in



Christine Fülllein, David Sachs, Olga Bellido-Tirado, Silke Kuba-Lehmann, Deborah Sobiella, Carlos Rodriguez Alvarez, Diana Johl, Steffen Frey, Roland Winkler, Jonathan Langentepe-Kong, Genoveva Micheva, Joar Brynne, Aida Ezzati Amini, Pasko Roje, Domenico Giannone

2020 and 2021: ANDES and MOSAIC, instruments for the future Extremely Large Telescope.

IT-SERVICE

Die Abteilung IT-Service ist für die allgemeine und große Teile der wissenschaftlichen IT-Infrastruktur des Instituts verantwortlich. Dazu gehören das Computer-Netzwerk, zwei Hochleistungscomputercluster und die LOFAR-Station in Potsdam Bornim. Darüber hinaus betreut das IT-Team die Beschäftigten und Gäste in allen IT-Fragen, inklusive der Beschaffung von Arbeitsplatzrechnern und mobilen Geräten.

NETZWERK

Das AIP ist über zwei Leitungen zu je 1.000 Mbit/s mit dem Deutschen Forschungsnetz und mit dem Internet verbunden. Im Jahre 2020 nahm das AIP einen neuen Firewall-Cluster in Betrieb, um das Institut noch besser vor Angriffen aus dem Internet zu schützen. Innerhalb des AIP sind Kernkomponenten mit bis zu 10-Gigabit-Ethernet (GbE) und 40-Gigabit-Infiniband verbunden. Die Anzahl von 10-GbE-Verbindungen wuchs weiter an, insbesondere im Bereich der virtualisierten Server-Infrastruktur. Die Arbeitsplätze auf dem Campus Babelsberg sind mindestens mit 100 Mbit/s, meist aber mit 1GbE angeschlossen. Innerhalb der Gebäude steht WLAN bereit. Im Jahre 2021 begannen die Arbeiten zur Erneuerung der WLAN-Infrastruktur und zur Erweiterung in ausgewählte Bereiche zwischen den Gebäuden.

ALLGEMEINE IT-INFRASTRUKTUR

Das AIP stellt seinen Angehörigen, der astrophysikalischen Forschungsgemeinschaft und der breiten Öffentlichkeit eine ganze Reihe von Diensten zur Verfügung. Dazu gehören unter anderem Webserver für das AIP und für Forschungsprojekte, E-Mail, Groupware, IP-Telefonie, Backup-Server und das zentrale Druck-System. Die technische Basis dafür verbessert der IT-Service kontinuierlich durch Anschaffung neuer Hardware, Konsolidierung und Virtualisierung. Für die Kommunikation der AIP-Angehörigen während der Corona-Pandemie wurde eine eigene Webkonferenz-Plattform auf Basis einer Open-Source-Lösung aufgesetzt und zusätzlich Lizenzen für einen kommerziellen Dienst angeschafft.



*Ein Teil des AIP 4MOST-Teams mit den AESOP-Boxen in der Integrationshalle des Instituts.
Part of the AIP 4MOST team with the AESOP boxes in the institute's integration hall.*

Neue Dienste, geänderte Erwartungen der Nutzerinnen und Nutzer, aber auch neue Gefahren wie ausgeklügelte Ransom-Ware-Attacken erfordern Anpassungen der Regularien und organisatorischen Abläufe. So trat eine neue IT-Nutzungsordnung in Kraft, die Konten-Beantragung für Mitarbeitende wurde vereinfacht und ein neues Identity-Management-System eingeführt.

WISSENSCHAFTLICHE IT-INFRASTRUKTUR

Das AIP betreibt zwei Hochleistungscomputercluster und weitere Dienste für die Zusammenarbeit und den Datenaustausch innerhalb der astrophysikalischen Fachgemeinschaft. Diese Dienste stellt der IT-Service gemeinsam mit der Abteilung Supercomputing und E-Science bereit. Die Abteilung ist weiterhin verantwortlich für den stabilen Betrieb der Netzwerk-Verbindungen zur LOFAR-Station in Potsdam Bornim.

BETREUUNG VON NUTZERINNEN UND NUTZERN

Am Standort Babelsberg betreut der IT-Service über 200 Nutzerinnen und Nutzer und mindestens ebenso viele stationäre und mobile Computer. Die Aufgaben des Teams umfassen auch die Beschaffung und fachgerechte Entsorgung der Geräte. Pandemiebedingt stieg die Nutzung von mobilen Geräten und der Anteil der mobilen Arbeit deutlich an. Die Abteilung hat ihre Arbeitsweise schnell daran angepasst und erledigt viele Aufgaben mittels Fernwartung.

IT SERVICES

The IT Services section is responsible for the general IT and large parts of the scientific infrastructure, including network connectivity, two high performance computing clusters, and the LOFAR station. In addition, the IT team supports AIP members and guests in all IT related aspects, including the procurement of workstations and mobile devices.

COMPUTER NETWORK

AIP has two links with 1000 Mbit/s each to the German Research and Education Network and the internet. In 2020, a new firewall cluster was installed to protect the institute against attacks from the internet. Core network components within the AIP are interconnected with up to 10-Gigabit Ethernet (GbE) and 40-Gigabit Infiniband links. The number of 10 GbE links was increased, especially for the virtualization infrastructure. The offices on the Babelsberg Campus normally have 1 GbE links, with a small number connected with only 100 Mbit/s.

Within the buildings, WLAN is available. In 2021, work began to start the renewal of the WLAN infrastructure and its extension into selected areas between the buildings.



Mario Dionies, Jens Franke, Silke Kuba-Lehmann, Ronny Nickel, Rainer Herbst, Joachim Kruth, Arman Khalatyan

GENERAL IT INFRASTRUCTURE

AIP provides a large number of services to its members, to the astrophysical community and to the public. These services include services such as web servers for the institute and for scientific projects, e-mail, groupware, VoIP, backup server, the central printing system, etc. Using new hardware, consolidation and virtualization, the IT Services members continuously improve the technical basis.

To enable better interpersonal communication during the COVID-19 pandemic, the section implemented a self-hosted open-source web conferencing platform and acquired licenses for a commercial service. New services, changing user expectations as well as increasing risks such as sophisticated ransom ware attacks require constant changes in management rules and processes. For these reasons, new usage policies were adopted, the account application process was streamlined, and a new identity management system was implemented.

SCIENTIFIC IT INFRASTRUCTURE

The institute operates two high-performance computer clusters and several other services for collaboration and data exchange within the astrophysical community. The section staff maintains these in co-operation with the Supercomputing and E-Science section. IT Services is also responsible for the high-performance network connection to the LOFAR station in Potsdam Bornim.

USER SUPPORT

At the campus in Potsdam Babelsberg, the team of IT Services supports more than 200 users and an even larger number of workstations and mobile devices. This includes the procurement and proper disposal of IT equipment. During the COVID-19 pandemic, a significant number of users worked from home using mobile devices. The section adapted quickly to these changes and provides a large portion of the support remotely.

TEAM – IT-SERVICE



Karl-Heinz Böning, Mario Dionies, Michael Furch, Ulfert Hanschur, Rainer Herbst (head), Yannis Kaufmann, Arman Khalatyan, Joachim Kruth, Silke Kuba-Lehmann, Ronny Nickel, André Saar, Christian Schmiel



*Horizontalkamera für die Sonnenfinsternisexpedition 1954 in Öland, Schweden.
Horizontal camera for the 1954 solar eclipse expedition in Öland, Sweden.*

Credits: AIP Archiv

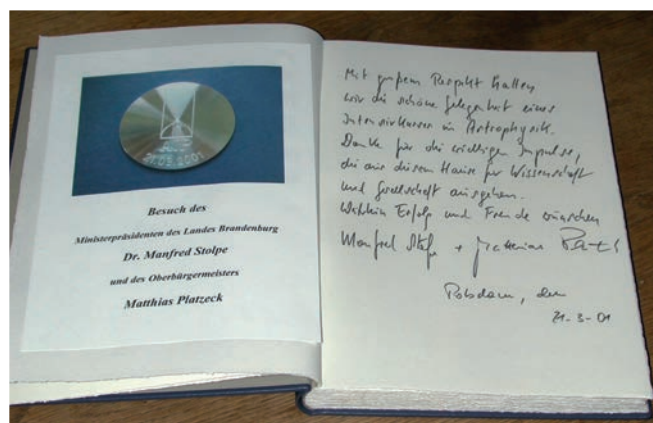
WISSENSCHAFTLICHE BIBLIOTHEK UND DOKUMENTATIONSZENTRUM

Die Wissenschaftliche Bibliothek des AIP ist eine zentrale Serviceeinrichtung für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts und aufgrund ihres wertvollen historischen Bestandes eine gefragte Quelle und Anlaufstelle für Forschende aus dem In- und Ausland, Studierende und die interessierte Öffentlichkeit. Der Bestand der Bibliothek ist grundlegend auf den Bereich Astrophysik sowie Physik und Mathematik im Allgemeinen ausgerichtet und mit der über 300-jährigen Bibliotheks- und Sammlungsgeschichte unverzichtbar im deutschsprachigen Raum.

Umfangreiche Serviceangebote ergänzen und erleichtern den Zugriff auf die zahlreichen gedruckten und elektronischen Informationsressourcen. Dabei steht die optimale Nutzbarkeit der Bestände im Vordergrund.

Die Bibliothek des AIP beteiligt sich an verschiedenen Konsortien, um den Mitarbeitenden umfangreichen Zugang zu den wissenschaftlichen Zeitschriftenaufsätzen zu ermöglichen und gewährleistet mit der Teilnahme an den DEAL-Verträgen eine Open-Access-Veröffentlichung.

Seit 2019 baut das Team der Bibliothek ein Institutsarchiv auf, um die Quellen zur Geschichte des Instituts zu sammeln, zu erschließen und zu erhalten. Im Jahr 2021 begann die Erschließung der unterschiedlichen Bildbestände am AIP in einem Bildarchiv. Die meisten Vorlagen existieren als Papierabzüge. Daneben gibt es auch Glasplatten, Negative und digitale Bestände. Die Bildbestände bilden eine wichtige Ergänzung zu den gedruckten Quellen der Institutsgeschichte.



Gästebuch des AIP mit Eintrag zum Besuch des Ministerpräsidenten Manfred Stolpe im Jahr 2001.

Guest book of the AIP with an entry for the visit of the minister president Manfred Stolpe in 2001.

Credits: AIP Archiv



Der erste Direktor des Einsteinurms, Professor Erwin Finlay Freundlich, und der damalige Leiter der Werkstatt, Erich Strohbush, auf der Sonnenfinsternisexpedition 1954 in Öland, Schweden.

The first director of the Einstein Tower, Professor Erwin Finlay Freundlich, and the then head of the workshop, Erich Strohbush, at the solar eclipse expedition 1954 in Öland, Sweden.

Credits: AIP Archiv

SCIENTIFIC LIBRARY AND DOCUMENTATION CENTRE

The AIP's scientific library is a central service section for the scientists of the institute and, due to its valuable historical inventory, a sought-after source and contact point for scientists from Germany and abroad, students, and the interested public. The collection of the library is primarily astrophysics-themed, but also covers topics such as physics and mathematics in general. With its over 300 years of history, the library and its collection are indispensable in the German-speaking world.

Extensive services simplify and complement access to print and online resources. The focus is on the optimal usability of the holdings.

The AIP library participates in various consortia to give scientists extensive access to scientific journal articles and guarantees open access publication by participating in the DEAL contracts.

Since 2019, the library employees have been building an institute archive to collect, access, and maintain the sources on the history of the institute. In 2021, they indexed the different image inventories at the AIP in a new image archive. Most templates exist as paper copies. There are also glass plates, negatives, and digital stocks. The image collections form an important supplement to the printed sources of the institute's history.

FÖRDERVEREIN AIP E.V.

Der Ende 2019 gegründete Förderverein „Freunde und Förderer des Leibniz-Institutes für Astrophysik Potsdam (AIP) e.V.“ widmet sich der Aufgabe, die Forschung am Institut zu unterstützen, den wissenschaftlichen Austausch und die Popularisierung der Astrophysik in der Region Potsdam und Brandenburg zu fördern und zum Erhalt, der Renovierung und der Pflege der Bau- und technischen Denkmale und Instrumente beizutragen. Der Verein will sich dabei auf die Expertise von aktiven und ehemaligen Institutsangehörigen sowie von Personen stützen, die am Geschick des Instituts Anteil nehmen. Weitere Informationen zum Verein sind unter <https://verein.aip.de> zu finden.

SUPPORT ASSOCIATION OF AIP E.V.

The association “Freunde und Förderer des Leibniz-Institutes für Astrophysik Potsdam (AIP) e.V.”, founded in 2019, is dedicated to promoting the research of the institute, supporting scientific exchange and popularization of astrophysics in the region of Potsdam and Brandenburg, as well as contributing to the conservation and maintenance of the historic buildings and instruments. To this end, the association relies on the experience of active and former members of the institute and on people interested in the fate of the institute. Further information on the association can be found at <https://verein.aip.de>.



*Kleines Kuppelgebäude auf dem Gelände des Campus Babelsberg.
Small dome building on the area of the Babelsberg Campus.*

ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN

Im Jahr 1821 gründete Heinrich Christian Schumacher die Zeitschrift „Astronomische Nachrichten“ (AN), die somit 2021 ihren 200. Geburtstag feierte. Sie ist die älteste astronomische Zeitschrift der Welt, die noch immer veröffentlicht wird. Historisch gesehen waren die „Astronomischen Jahrbücher“, die von 1450 bis 1461 erschienen, und die „Ephemeriden“, die von 1475 bis 1506 herausgegeben wurden, die ersten periodischen Gazetten der Welt. Etwa 300 Jahre später, im Jahr 1821, bat der dänische Finanzminister, auf Veranlassung von Frederik VI, Schumacher, ein astronomisches Bulletin herauszugeben, das die internationale Zusammenarbeit fördern sollte. Die Astronomischen Nachrichten waren geboren. Nach der Gründung dauerte es zwei Jahre, bis die erste Ausgabe der AN 1823 fertiggestellt und veröffentlicht war. Bereits in der ersten Ausgabe erschien ein Artikel von Carl-Friedrich Gauß über die „Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf ein Problem der praktischen Geometrie“, den die Gemeinschaft wohlwollend aufnahm.

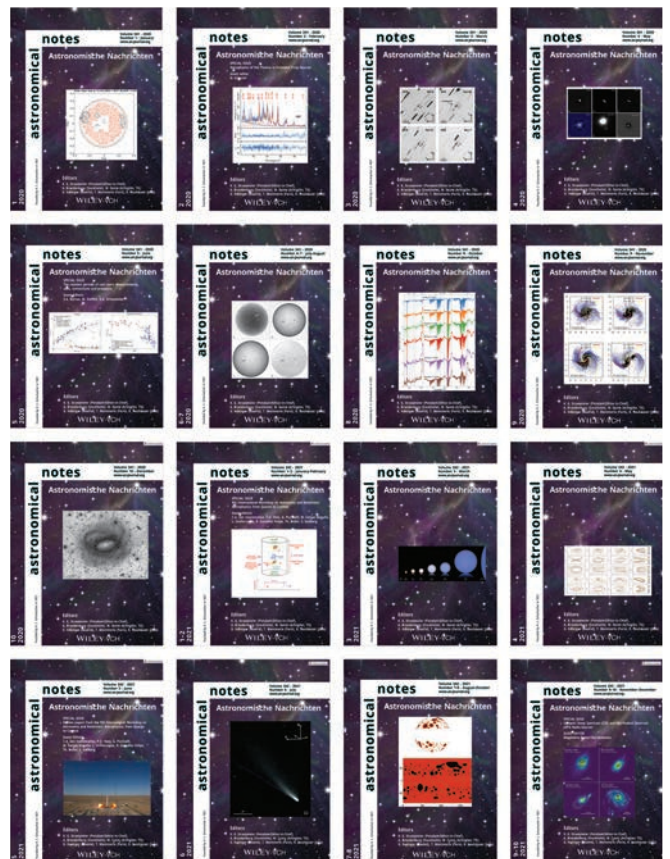
Das AIP agiert weiterhin als Gastinstitut für das AN-Herausgeberbüro in enger Zusammenarbeit mit dem Verleger Wiley-VCH in Berlin. Sehr wahrscheinlich der Pandemie geschuldet wurden 2020 weniger reguläre Forschungsartikel eingereicht, dafür aber mehr in den sogenannten Special Issues. Die Ausgabe 342 in 2021 umfasste zehn Hefte mit ungefähr 150 referierten Forschungsartikeln auf 1.200 Seiten, während im Vorjahr die Ausgabe 341 (2020) ebenfalls auf zehn Hefte, aber mit 114 referierten Forschungsartikeln auf 800 Seiten kam. Beide Ausgaben bearbeiteten eine Vielzahl von wissenschaftlichen Themen, von Instrumentierungsberichten und Beobachtungskampagnen bis hin zu numerischen Simulationen und analytischer Magnetohydrodynamik. Eine Spezialausgabe erschien 2020, drei im Jahr 2021.

ASTRONOMICAL NOTES

The astronomical journal *Astronomische Nachrichten/Astronomical Notes* (AN) was founded by Heinrich Christian Schumacher in 1821 and thus turned 200 years old in 2021. It is the oldest astronomical journal in the world that is still being published. Historically, the “*Astronomische Jahrbücher*” (Annual Astronomical Books), published from 1450 to 1461, and the “*Ephemeriden*” (Ephemerides), published from 1475 to 1506, were the oldest periodical gazettes in the world. About 300 years later, in 1821, Schumacher, at the instigation of Frederik VI, was asked by the Danish minister of finance to publish an astronomical bulletin which should foster international cooperation. The *Astronomical Notes* were born.

After its foundation, it was not until 1823 that the first issue of AN was ready and published. The very first volume introduced an article by Carl-Friedrich Gauss on the “Application of the probability calculus to a problem in practical geometry”, which found respectful reception in the community.

AIP continues to host the editorial office in close collaboration with Wiley-VCH in Berlin. Likely due to the pandemic situation, fewer regular articles were submitted in 2020 compared to the years before and after, but the number of articles in special-issue papers increased. Volume 342 (2021) covered ten issues with approximately 150 peer-reviewed research articles with a total of nearly 1,200 pages, while the previous year’s volume 341 (2020) featured ten issues with 114 peer-reviewed research articles with a total of over 800 pages. Both volumes covered a large variety of topics from instrumentation projects and observing campaigns to numerical simulations and analytical magneto-hydrodynamics. The editorial office published one special issue in 2020 and three in 2021.



Titelseiten aller Ausgaben der Bände 341 (2020) und 342 (2021). Front covers for the issues of volumes 341 (2020) and 342 (2021).

Credits: AIP Archiv



NACHRUF

OBITUARY



Professor Dr. Karl-Heinz Rädler im Jahr 1994.

Professor Karl-Heinz Rädler in 1994.

Credits: AIP Archiv

KARL-HEINZ RÄDLER (1935–2020)

In Trauer nahmen wir Abschied von Prof. Dr. Karl-Heinz Rädler, dem Gründungsdirektor und ersten Wissenschaftlichen Vorstand des Leibniz-Instituts für Astrophysik Potsdam (AIP), der wesentlich zur Entschlüsselung der Magnetfelder beitrug und zeitlebens von seinen Kolleginnen und Kollegen als aufrechter Mensch und Wissenschaftler geschätzt wurde.

Karl-Heinz Rädler begann seine wissenschaftliche Karriere mit Studien in Leipzig und Jena. Seine 1966 veröffentlichte Doktorarbeit leitete den Alpha-Effekt her, der in bewegter Materie für die Entstehung eines Magnetfelds sorgt und als grundlegendes Phänomen in Magnetfeldern des Kosmos wirkt. Ab 1970 forschte er in Potsdam am Zentralinstitut für Astrophysik der DDR, einem der Vorgängerinstitute des AIP, und blieb dem Institut bis zu seinem Ruhestand treu. In den 70er Jahren gelang es ihm, mit dem Dynamomodell eine Erklärung für die Entstehung von Magnetfeldern in Sternen und in Planeten zu finden. Ebenso maßgeblich beteiligt war Karl-Heinz Rädler an der theoretischen Vorbereitung von Experimenten, bei denen das Prinzip des kosmischen Dynamos in einem irdischen Experiment mit flüssigem Natrium nachvollzogen wurde. Als Gründungsdirektor und Wissenschaftlicher Vorstand des nach der Wende neu gegründeten AIP trug Karl-Heinz Rädler von 1992 bis 1998 maßgeblich zum Aufbau des Instituts zu einem international anerkannten Forschungszentrum für Astrophysik bei und spielte die zentrale Rolle in der schwierigen Phase der Evaluierung und konzeptionellen Neuaufstellung des Instituts. Von 1992 bis zu seinem Ruhestand im Jahr 2000 leitete er den Bereich Kosmische Magnetfelder am AIP und war Herausgeber der „Astronomischen Nachrichten“. Von 1994 bis 2000 lehrte Karl-Heinz Rädler als Professor an der Universität Potsdam. Zudem war er Mitglied des Gründungssenats der Europa-Universität Viadrina in Frankfurt (Oder). 1998 erhielt Karl-Heinz Rädler

die Emil-Wiechert-Medaille, mit der die Deutsche Geophysikalische Gesellschaft herausragende Arbeiten in der Wissenschaftsdisziplin Geophysik würdigt. Für seine populärwissenschaftlichen Leistungen verlieh ihm die Urania Potsdam ebenfalls 1998 den Wilhelm-Foerster-Preis. Im Jahr 2013 folgte mit der Karl-Schwarzschild-Medaille der Astronomischen Gesellschaft die höchste in Deutschland vergebene Auszeichnung für astronomische Forschung. Am 9. Februar 2020 verstarb Karl-Heinz Rädler im Alter von 84 Jahren in seinem Haus in Michendorf.

KARL-HEINZ RÄDLER (1935–2020)

The institute mourns the loss of Prof. Dr. Karl-Heinz Rädler, the founding director and first scientific chairman of the Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP), who contributed significantly to the decoding of magnetic fields and was appreciated throughout his life by his colleagues as a principled person and scientist.

Karl-Heinz Rädler began his scientific career with studies in Leipzig and Jena. His doctoral thesis, published in 1966, derived the alpha effect, which provides for the generation of a magnetic field in moving matter and acts as a fundamental phenomenon in magnetic fields of the cosmos. From 1970 on he conducted research in Potsdam at the Central Institute of Astrophysics of the GDR, one of the predecessor institutes of the AIP, and remained loyal to the institute until his retirement. In the 1970s, he succeeded in finding an explanation for the formation of magnetic fields in stars and in planets with the dynamo model. Karl-Heinz Rädler was also instrumental in the theoretical preparation of experiments in which the principle of the cosmic dynamo was reproduced in a terrestrial experiment with liquid sodium. As founding director and Scientific Chairman of the AIP, which was re-established after the German reunification, Karl-Heinz Rädler contributed significantly to the development of the institute into an internationally-recognized research centre for astrophysics between 1992 and 1998 and played a central role in the difficult phase of evaluation and conceptual reorganization of the institute. From 1992 until his retirement in 2000, he headed the research area of Cosmic Magnetic Fields at AIP and was editor-in-chief of the journal *Astronomische Nachrichten*. From 1994 to 2000, Karl-Heinz Rädler taught as a professor at the University of Potsdam. He was also a member of the founding senate of the European University Viadrina in Frankfurt (Oder). In 1998, Karl-Heinz Rädler received the Emil Wiechert Medal from the German Geophysical Society, which honours outstanding work in the scientific discipline of geophysics. In the same year, the Urania Potsdam awarded him the Wilhelm Foerster Prize for his popular scientific achievements. This was followed in 2013 by the Karl Schwarzschild Medal of the Astronomical Society, the highest award for astronomical research given in Germany. On 9 February 2020, Karl-Heinz Rädler passed away at his home in Michendorf at the age of 84.

PREISE UND AUSZEICHNUNGEN

AWARDS AND HONOURS

AUSZEICHNUNGEN DER ASTRONOMISCHEN GESELLSCHAFT

Die Astronomische Gesellschaft (AG), die deutsche Fachgesellschaft für Astronomie und Astrophysik, ehrte 2021 die wissenschaftlichen Erfolge einer Doktorandin und eines Professors am AIP. Martin Roth erhielt den Preis für Instrumentenentwicklung, für seine bedeutenden Arbeiten zur Entwicklung der 3D-Spektroskopie und zur Erforschung und Entwicklung der Astrophotonik. Damit ehrte die AG auch seine Beiträge zur Lehre und Ausbildung junger Forschender im Bereich der astronomischen Instrumentierung und den daraus resultierenden Fortschritten in der astrophysikalischen Erforschung aufgelöster Sternpopulationen. Für ihre spektakulären Ergebnisse zur chemischen Zusammensetzung und Dynamik der Sterne in den inneren Bereichen unserer Milchstraße verlieh die AG den Promotionspreis an Dr. Anke Arentsen. Ihre am AIP gefertigte Doktorarbeit widmete sich der Galaktischen Archäologie und den ältesten Sternen in unserer Heimatgalaxie.

STUDIEN- UND AUSBILDUNGSPREISE

Die Physikalische Gesellschaft zu Berlin (PGzB) zeichnete 2020 Joseph Whittingham für seine Masterarbeit aus, die er am AIP anfertigte. In seiner Arbeit untersuchte er den Einfluss von Magnetfeldern auf Galaxienverschmelzungen mit Hilfe von kosmologischen Simulationen. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde der Einfluss von Magnetfeldern bei solchen Verschmelzungen im Allgemeinen als unbedeutend angesehen. Aktuell setzt er seine Forschungen als Doktorand am AIP fort.

Leander Leibnitz, von 2016 bis 2020 Auszubildender in der Forschungstechnik am AIP, wurde 2020 von der Handwerkskammer Frankfurt (Oder) aufgrund seiner Leistungen in der Gesellenprüfung zum Landessieger im Ausbildungsberuf Feinmechaniker/in (Fachrichtung Feinwerkmechanik) gewählt und nahm am Bundeswettbewerb 2020 in Northeim teil.

FÖRDERUNG

Marcel Pawlowski, Schwarzschild-Fellow am AIP, erhielt 2020 eine Förderung der Klaus Tschira Stiftung und der German Scholars Organization für seine Forschungen zur Verteilung von Satellitengalaxien um die Milchstraße und die Natur der Dunklen Materie. Im selben Jahr gewann er im Leibniz-Wettbewerb eine Förderung über fünf Jahre für den Aufbau einer Nachwuchsgruppe, die sich mit der Bewegung und Verteilung von Satellitengalaxien unserer Milchstraße und anderer Galaxien beschäftigt. Ziel der Nachwuchsgruppe ist, die

bestehende kosmologische Theorie mit aktuellen Beobachtungsdaten in Einklang zu bringen und so ein besseres Verständnis der Dunklen Materie zu erlangen.



Marcel Pawlowski, Schwarzschild-Fellow am AIP, erhielt eine Förderung der Klaus Tschira Stiftung und der German Scholars Organization sowie im Leibniz-Wettbewerb eine Förderung für den Aufbau einer Nachwuchsgruppe.

Marcel Pawlowski, Schwarzschild-Fellow at AIP, received funding from the Klaus Tschira Foundation and the German Scholars Organization, and was also successful in the Leibniz competition to establish a junior research group.

Credits: AIP/J. Kanehisa

Die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz von Bund und Ländern (GWK) beschloss in ihrer Sitzung im Juli 2021, das Konsortium PUNCH4NFDI im Rahmen der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) über fünf Jahre zu fördern. Ziel von PUNCH4NFDI ist es, Forschungsdaten aus der Teilchen-, Astro-, Astroteilchen-, Hadronen- und Kernphysik nachhaltig zur Verfügung zu stellen. Innerhalb des Konsortiums vertritt das AIP den Bereich der Astrophysik und stellt den stellvertretenden Sprecher.

ERC ADVANCED GRANTS

In der Ausschreibungsrunde 2020 der ERC Advanced Grants zeichnete der Europäische Forschungsrat ERC gleich zwei AIP-Wissenschaftler mit der begehrten Förderung aus. Die geförderten Projekte von Lutz Wisotzki und Christoph Pfrommer haben beide zum Ziel, unser Verständnis der Galaxienbildung zu verbessern. Lutz Wisotzki konzentriert sich auf Beobachtungen mit hochwertigen Instrumenten, während Christoph Pfrommer Plasma- und kosmologische Galaxien-simulationen auf eine neue und innovative Weise kombiniert. Die Förderung beider Projekte in Höhe von jeweils etwa 2,5 Millionen Euro erstreckt sich über einen Zeitraum von fünf Jahren.



Christoph Pfrommer und Lutz Wisotzki erhielten 2021 jeweils einen ERC Advanced Grant.

Christoph Pfrommer and Lutz Wisotzki each received an ERC Advanced Grant in 2021.

AWARDS FROM THE GERMAN ASTRONOMICAL SOCIETY

The German Astronomical Society (AG), the professional society for astronomy and astrophysics in Germany, honoured the scientific successes of a professor and a PhD student at AIP in 2021. Martin Roth received the Instrument Development Award for his significant work on the development of 3D spectroscopy and the research and development of Astrophotonics. In doing so, the AG also honoured his contributions to the teaching and training of young scientists in the field of astronomical instrumentation and the resulting advances in the astrophysical study of resolved stellar populations. For her spectacular results on the chemical composition and dynamics of stars in the inner regions of our Milky Way, the AG awarded the Doctoral Thesis Award to Anke Arentsen. Her doctoral thesis, written at the AIP, was dedicated to Galactic Archaeology and the oldest stars in our home galaxy.



Die Astronomische Gesellschaft zeichnete Martin Roth und Anke Arentsen für ihre wissenschaftlichen Arbeiten aus.

The German Astronomical Society awarded Martin Roth and Anke Arentsen for their scientific works.

Credits: BMBF; rechts: privat

STUDY AND APPRENTICESHIPS PRIZES

In 2020, the Physikalische Gesellschaft zu Berlin (PGzB) distinguished Joseph Whittingham for his master thesis, which he completed at AIP. In his work, he investigated the influence of magnetic fields on galaxy mergers using cosmological simulations. Until this point, the influence of magnetic fields on such merging events was generally considered unimportant. He is currently continuing his research as a doctoral candidate at AIP.

Leander Leibnitz, an apprentice in the Technical Section at AIP from 2016 to 2020, was selected by the Chamber of Skilled Crafts Frankfurt (Oder) in 2020 as the state winner in the training occupation precision mechanic on the basis of his performance in the journeyman's examination. He also took part in the 2020 national competition in Northeim.

Joseph Whittingham erhielt für seine Masterarbeit einen Preis der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin.

Joseph Whittingham received an award from the Physikalische Gesellschaft zu Berlin for his master thesis.

Credits: privat



Leander Leibnitz, Landessieger im Ausbildungsberuf Feinmechaniker/in im Wettbewerb der Handwerkskammer Frankfurt (Oder).

Leander Leibnitz, state winner in the training occupation precision mechanic in the competition of the Chamber of Skilled Crafts Frankfurt (Oder).

FUNDING

In 2020, Marcel Pawlowski, Schwarzschild Fellow at the AIP, received funding from the Klaus Tschira Foundation and the German Scholars Organization for his research on the distribution of satellite galaxies around the Milky Way and the nature of dark matter. In the same year, he obtained funding in the Leibniz competition for five years to establish a junior research group dedicated to the motion and distribution of satellite galaxies of our Milky Way and other galaxies. The aim of the junior research group is to reconcile the existing cosmological theory with current observational data and thus gain a better understanding of dark matter.

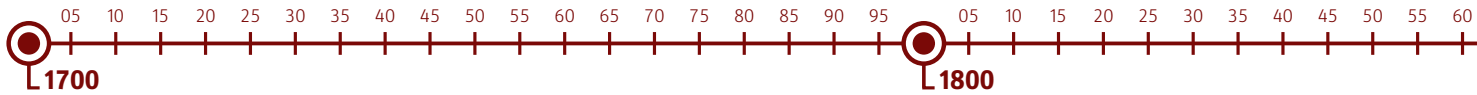
In July 2021, the Joint Science Conference of the Federal Government and the Länder (GWK) decided to fund the consortium PUNCH4NFDI for a period of five years within the framework of the National Research Data Infrastructure (NFDI). PUNCH4NFDI aims to make research data from particle, astro, astroparticle, and hadron and nuclear physics sustainably available. Within the consortium, AIP represents the field of astrophysics and provides the deputy spokesperson.

ERC ADVANCED GRANTS

In the 2020 call for ERC Advanced Grants, the European Research Council ERC awarded the coveted funding to two AIP scientists. The funded projects from Lutz Wisotzki and Christoph Pfrommer both aim at improving our understanding of galaxy formation. Lutz Wisotzki is focusing on observations with high-quality instruments, while Christoph Pfrommer combines plasma and cosmological galaxy simulations in a new and innovative manner. The projects are funded with approximately 2.5 million euros each over a period of five years.

GESCHICHTE DES AIP

HISTORY OF AIP



1700 Einführung des sogenannten „Verbesserten Kalenders“ in den protestantischen Staaten Deutschlands
Introduction of the so-called “Improved Calendar” in the Protestant states of Germany

10.5.1700 Erlass des Kalenderpatents für die neu zu gründende Berliner Sternwarte
Enactment of the calendar patent for the new Berlin Observatory

18.5.1700 Berufung Gottfried Kirchs zum Direktor der Sternwarte
Appointment of Gottfried Kirch as director of the observatory

11.7.1700 Gründung der Brandenburgischen Societät
Foundation of the Brandenburg Society

1711 Erstes Sternwartengebäude, Berlin Dorotheenstraße
First observatory in Berlin, Dorotheenstraße

1832–1835 Neue Berliner Sternwarte, Architekt: Karl Friedrich Schinkel, Berlin Lindenstraße
New Berlin Observatory, architect: Karl Friedrich Schinkel, Berlin, Lindenstraße

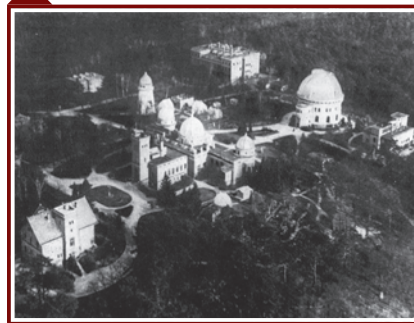
1846 Entdeckung des Planeten Neptun durch Johann Gottfried Galle
Discovery of the planet Neptune by Johann Gottfried Galle

1865 Berufung Wilhelm Julius Foersters zum Direktor
Appointment of Wilhelm Julius Foerster as director

1874 Gründung des Astronomischen Rechen-Instituts
Foundation of the “Astronomisches Rechen-Institut”

1874 Gründung des Astrophysikalischen Observatoriums Potsdam (AOP)
Foundation of the Astrophysical Observatory Potsdam (AOP)

1876–1879 Bau des Hauptgebäudes des Astrophysikalischen Observatoriums auf dem Potsdamer Telegrafenberg
Construction of the main building of the AOP on the Telegrafenberg at Potsdam



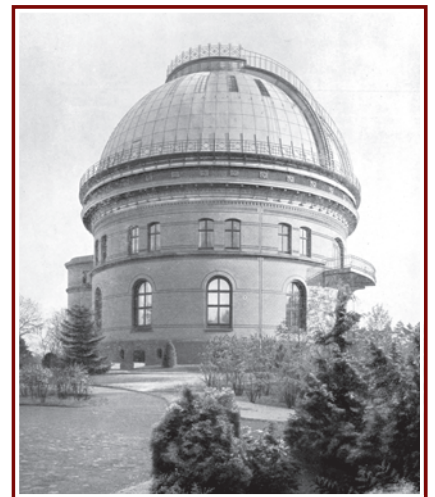
1881 Erster Michelson-Versuch in Potsdam
First Michelson experiment in Potsdam

1886 Entdeckung der Kanalstrahlen durch Eugen Goldstein
Discovery of canal rays by Eugen Goldstein

1888 Nachweis der Polhöhen-schwankung 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, Telegrafenberg
Completion of the Great Refractor at Potsdam, Telegrafenberg

1904 Entdeckung der interstellaren Materie durch Johannes Hartmann
Discovery of interstellar matter by Johannes Hartmann



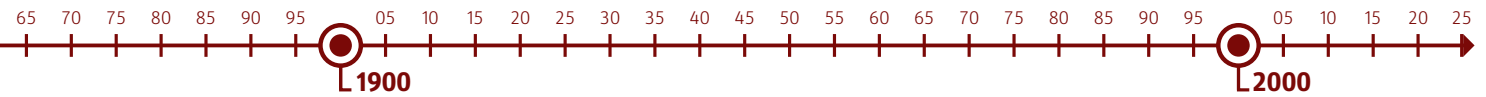
1904 Berufung von Karl Hermann Struve zum Direktor der Berliner Sternwarte
Appointment of Karl Hermann Struve as director of the Berlin Observatory

1909 Berufung von Karl Schwarzschild zum Direktor des AOP
Appointment of Karl Schwarzschild as director of the AOP

1911–1913 Bau der Sternwarte in Babelsberg
Construction of the observatory in Babelsberg

1924 Fertigstellung des 120-cm-Spiegels in Babelsberg
Completion of the 120-cm reflector in Babelsberg

2002 Beginn der Arbeit des Potsdamer Multiapertur-Spektrophotometers (PMAS)
First light for the Multi-Aperture Spectrophotometer (PMAS)

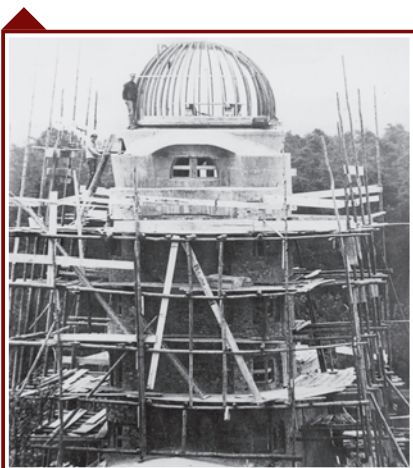


1913 Umzug der Berliner Sternwarte nach Babelsberg
Relocation of the Berlin Observatory to Babelsberg

1913 Einführung der lichtelektrischen Fotometrie durch Paul Guthnick in Babelsberg
First use of photoelectric photometry by Paul Guthnick in Babelsberg

1915 Fertigstellung des Babelsberger Großen Refraktors
Completion of the Great Refractor in Babelsberg

1921–1924 Bau des Einsteinturms auf dem Telegrafenberg
Construction of the Einstein Tower at the Telegrafenberg



1931 Angliederung der Sonneberger Sternwarte an die Sternwarte Babelsberg
Affiliation of the Sonneberg Observatory to the Babelsberg Observatory

1939 Walter Grotrian (AOP) erkennt die hohe Temperatur der Sonnenkorona
Discovery of the high temperature of the solar corona by Walter Grotrian (AOP)

1.1.1947 Übernahme von AOP und Sternwarte Babelsberg durch die Deutsche Akademie der Wissenschaften
Takeover of AOP and Babelsberg Observatory by the German Academy of Sciences

30.6.1954 Beginn der Radio-beobachtungen in Trensdorf
Commencement of radio observations in Trensdorf

1960 Fertigstellung des 2-m-Spiegels in Tautenburg
Completion of the 2-m reflector in Tautenburg

1969 Gründung des Zentralinstituts für Astrophysik
Foundation of the Central Institute of Astrophysics

1.1.1992 Beginn der Tätigkeit des Astrophysikalischen Instituts Potsdam (AIP)
Beginning of work of the Astrophysical Institute Potsdam (AIP)

1992 Karl-Heinz Rädler wird Wissenschaftlicher Vorstand des AIP
Appointment of Karl-Heinz Rädler as scientific chairman of the AIP

1998 Günther Hasinger wird Wissenschaftlicher Vorstand des AIP
Appointment of Günther Hasinger as scientific chairman of the AIP

2001 Klaus G. Strassmeier wird Wissenschaftlicher Vorstand des AIP
Appointment of Klaus G. Strassmeier as scientific chairman of the AIP

2003 „First Light“ RAVE am Australian Astronomical Observatory
RAVE first light at the Australian Astronomical Observatory

2004 Matthias Steinmetz wird Wissenschaftlicher Vorstand des AIP
Appointment of Matthias Steinmetz as scientific chairman of the AIP

2005 „First Light“ des LBT
LBT first light

2006 Wiedereröffnung des Großen Refraktors
Re-inauguration of the Great Refractor

2006 Einweihung von STELLA auf Teneriffa
Inauguration of STELLA on Tenerife

2011 Umbenennung in „Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP)“
Renamed to „Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP)“

2012 Einweihung des GREGOR Sonnenteleskops auf Teneriffa
Inauguration of the GREGOR solar telescope on Tenerife

2014 „First Light“ MUSE am VLT
MUSE first light at VLT

2015 „First Light“ PEPSI am LBT
PEPSI first light at LBT

2018 Beginn des Hobby-Eberly-Teleskope Dark Energy Experiment (HETDEX)
Start of the Hobby-Eberly-Telescope Dark Energy Experiment (HETDEX)

2019 Start des eROSITA Röntgenteleskops
Launch of eROSITA

2020 Start der ESA-Mission Solar Orbiter
Launch of Solar Orbiter



*innoFSPEC-Wissenschaftlerinnen Aline Dinkelaker
und Aashia Rahman im Labor.
innoFSPEC scientists Aline Dinkelaker and
Aashia Rahman in the laboratory.*

ARBEITEN AM AIP
WORKING AT AIP

Auf dem Gelände der Babelsberger Sternwarte sind mehr als 200 Personen in einem einzigartigen Arbeitsumfeld zwischen geschichtsträchtiger Architektur und modernster Technik tätig.

Menschen aus 33 Nationen arbeiten in Wissenschaft, Verwaltung und Forschungsinfrastruktur und schaffen somit eine internationale Atmosphäre am Institut. Verschiedene Gremien vertreten die Interessen der Mitarbeitenden.

Der Betriebsrat des AIP setzt sich aus neun Mitgliedern zusammen und vertritt die Anliegen der Mitarbeitenden gegenüber dem Vorstand. Für alle Institutsangehörigen und Gäste gilt der 2019 verabschiedete Code of Conduct als Leitlinie zum Schutz vor Mobbing, Diskriminierung, Belästigung und Gewalt. Eine Ombudsperson für gute wissenschaftliche Praxis achtet auf die Einhaltung von Vorgaben zur wissenschaftlichen Arbeitsweise. Das Interne Wissenschaftliche Komitee, das von den wissenschaftlichen Beschäftigten des AIP gewählt wird, stellt deren Mitwirkung an der wissenschaftlichen Planung und Entwicklung des Instituts sicher.

Die Themen Vereinbarkeit, Gleichstellung und Inklusion sind im Institut präsent: Zusätzlich zu flexiblen Arbeitszeiten und zur Unterstützung bei der Kinderbetreuung hat eine Betriebsvereinbarung zum Mobilen Arbeiten das Ziel, die Vereinbarkeit von Berufs- und Privatleben aktiv zu fördern. Das Prädikat TOTAL-E-QUALITY, erneuert im Jahr 2021, weist das Institut zudem als familienfreundlichen Arbeitgeber aus. Seit der letzten erfolgreichen Bewerbung im Jahr 2017 ergänzte das Institut neue Maßnahmen, die Chancengleichheit als Prinzip und Aufgabe stärker institutionell verankern. Das AIP setzt sich ebenso weiterhin ambitionierte Ziele für zukünftige Stellenbesetzungen, die auf einer bereits aktiven und gleichstellungsorientierten Rekrutierungspolitik basieren. Eine Gleichstellungs- und eine Inklusionsbeauftragte sind Ansprechpartnerinnen für die Anliegen der Mitarbeitenden.

AUSBILDUNG VON WISSENSCHAFTLERINNEN UND WISSENSCHAFTLERN

Das AIP bietet ein vielfältiges Angebot für Schülerinnen und Schüler und informiert so zur aktuellen Forschung und den möglichen Berufsfeldern. Für Studierende bieten die Forschungsabteilungen verschiedene Möglichkeiten für Studienabschlussarbeiten wie z.B. Masterarbeiten an. Sieben Bachelorstudierende und neun Masterstudierende beendeten 2020/21 ihr Studium mit einer Arbeit am AIP. Promovierende finden auf der Stellenangebote-Seite aktuelle Ausschreibungen für Doktorarbeiten – 14 davon wurden in den vergangenen zwei Jahren erfolgreich verteidigt. Das AIP ist zudem ein Ausbildungsbetrieb und bietet Ausbildungsplätze in der Verwaltung, im IT-Service und in der Forschungstechnik an.

On the grounds of the Babelsberg Observatory, more than 200 people work in a unique working environment between historic architecture and state-of-the-art technology.

People from 33 nations work at AIP in science, administration, and research infrastructure, creating an international atmosphere at the institute. Various committees represent the interests of the employees.

The works council of AIP is made up of nine members and supports and conveys the concerns of the employees to the Executive Board. For all institute employees and guests, the Code of Conduct, adopted by the works council in 2019, serves as a guideline for protection against bullying, discrimination, harassment, and violence. An ombudsperson for good scientific practice ensures compliance with guidelines on scientific working practices. The Internal Scientific Committee, elected by the scientific staff of AIP, ensures their participation in the scientific planning and development of the institute.

The topics of compatibility of family and career, equality, and inclusion are present in the institute: in addition to flexible working hours and support with childcare, a Works Council Agreement on Mobile Working aims to actively promote the work-life balance. The TOTAL-E-QUALITY certification, renewed in 2021, identifies the institute as a family-friendly employer. Since the last successful application, the institute has added new measures that anchor equal opportunities as a principle and task more firmly in the institution itself. The AIP also continues to set ambitious goals for future appointments, based on an already active and equality-oriented recruitment policy. An equal opportunities officer and an inclusion officer are contact persons for the concerns of the employees.

TRAINING OF SCIENTISTS AND SCHOLARS

AIP offers a wide range of activities for school students and thus informs about current research as well as possible career fields. For students, the research sections offer various opportunities for their final theses such as Master's theses. 7 Bachelor's students and 9 Master's students finished their studies with a thesis at AIP in 2020/21. PhD students can find current advertisements for doctoral theses on the vacancies page – 14 of which were successfully defended in the past two years. AIP is also a training company and offers apprenticeships in administration, IT Services, and the Technical Section.

DOKTORANDENAUSBILDUNG

FORSCHUNGSZENTRIERTE AUSBILDUNG VON DOKTORANDINNEN UND DOKTORANDEN

Als außeruniversitäre Forschungseinrichtung bietet das AIP keine universitären Kurse oder Abschlüsse für Studierende an. In enger Zusammenarbeit mit der nahe gelegenen Universität Potsdam sind eine Reihe von Forschenden des AIP über Professuren und Dozierendenstellen an der Universität vertreten und können offiziell Studierende bei ihren Abschlussarbeiten betreuen. Ein wichtiger Bestandteil der Forschungsaktivitäten am AIP sind daher klar definierte Projekte, in denen sich junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler qualifizieren und deren Ergebnisse als Dissertationen eingereicht werden können. Das Programm für Promovierende am AIP umfasst etwa 35 Personen aus mehr als zehn Ländern, von denen die meisten an der Universität Potsdam eingeschrieben sind. Darüber hinaus bieten enge Kooperationen mit den Berliner Universitäten zusätzliche Möglichkeiten. Auch Studierende anderer deutscher und internationaler Universitäten werden häufig betreut und angeleitet. Die Betreuung durch Promotionskomitees und das Mentoring sind heute gängige Praxis, und das AIP war maßgeblich am Aufbau des strukturierten Promotionsprogramms in Physik und Astronomie an der Universität Potsdam beteiligt. Die Zusammensetzung der Promotionskomitees, denen Forschende aus Universitäten und Forschungseinrichtungen angehören, fördert die Zusammenarbeit und bringt den Studierenden ein breiteres Spektrum von Forschungsperspektiven nahe. Am AIP wählen die Studierenden eine eigene Vertretung, die insbesondere die Promovierenden des AIP an der Universität Potsdam und im Leibniz PhD Network der Leibniz-Gemeinschaft vertritt.



Doktorand Robert Kamlah am Vakuumturmtelroskop auf Teneriffa mit Blick auf den Berg Teide.

Doctoral candidate Robert Kamlah at the Vacuum Tower Telescope at Tenerife with direct view to the Teide mountain.

DIE LEIBNIZ-GRADUIERTENSCHULE

Die Leibniz-Graduiertenschule für Quantitative Spektroskopie in der Astrophysik, die 2014 von der Leibniz-Gemeinschaft gefördert und mit Mitteln des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) ausgebaut wurde, bot zwölf

Promotionsstipendien an. Im Laufe der Jahre haben alle Studierenden der Graduiertenschule ihre Forschungsprojekte abgeschlossen, was zu mehr als 100 Publikationen führte, und ihre Dissertationen erfolgreich verteidigt – die letzte im Jahr 2021. Viele der von der Graduiertenschule ergriffenen Initiativen werden auch nach Abschluss dieses speziellen Programms weitergeführt, z.B. Maßnahmen zur Mobilität wie externe Forschungsaufenthalte oder wissenschaftliche Besuche am AIP, Sommer- oder Winterschulen mit Themen aus der Astrophysik oder Spektroskopie sowie spezielle Kurse zur Erweiterung von Soft Skills und zur Karriereentwicklung.

DOCTORAL TRAINING

DOCTORAL RESEARCH AND TRAINING

As a non-university research institution, AIP does not offer any university classes or degrees for students per se. However, in close collaboration with the nearby University of Potsdam, some AIP scientists are professors and lecturers at the university and can officially supervise students for their final projects. An important component of AIP's research activities are thus clearly defined projects in which young scientists qualify and whose results can be submitted as dissertations. The PhD programme at AIP comprises about 35 candidates from more than ten countries, most of whom are enrolled at the University of Potsdam. Furthermore, close collaborations with the Berlin universities offer additional opportunities. Students from other German and international universities are also frequently supervised and mentored. Supervision by PhD committees and mentoring is nowadays standard practice, and AIP scientists were closely involved in creating the structured PhD programme in Physics and Astronomy at the University of Potsdam. The composition of the PhD committees, which include scientists from both universities and research institutions, fosters collaborations and exposes students to a broader range of research perspectives. At AIP, students elect their own representatives, who represent in particular the doctoral students of AIP at the University of Potsdam and in the Leibniz PhD Network of the Leibniz Association.

THE LEIBNIZ GRADUATE SCHOOL

The Leibniz Graduate School for Quantitative Spectroscopy in Astrophysics, which was funded by the Leibniz Association in 2014 and expanded with funds from the German Academic Exchange Service (DAAD), offered twelve PhD stipends. Over the years, all students of the Graduate School completed their research projects, resulting in more than 100 publications, and successfully defended their theses – the last one in 2021. Many of the initiatives taken by the Graduate School will be carried forward after the closure of this particular programme, for example, measures for incoming and outgoing mobility, such as research periods in different countries or scientific guests at the institute, summer or winter schools with topics in astrophysics or spectroscopy, and dedicated courses for enhancing soft skills and career development.

ABGESCHLOSSENE FORSCHUNGSARBEITEN

COMPLETED RESEARCH PROJECTS

BACHELORARBEITEN 2020

BACHELOR THESES

Alina Friemel: Spatially resolved electron densities in the interstellar matter of star forming galaxies – T. Urrutia, T. Breitschwerdt (TU Berlin), L. Wisotzki

Sophie Penger: Characterisation of the galaxy NGC 7396 and its NaD feature – P. Weilbacher

René Richter: Justage eines Fabry-Pérot-Etalons zur Kalibrierung eines optischen Instruments und zur Analyse von Sternspektren – M. Weber

MASTERARBEITEN 2020

MASTER THESES

Oliver Franke: Simulating AGN-inflated bubbles with anisotropic viscosity on a moving mesh – T. Berlok, C. Pfrommer

Roisín O'Rourke Brogan: Testing the multi-epoch luminosity function of asymptotic giant branch stars in the Small Magellanic Cloud with VISTA – M. Cioni

Alexander Scherrmann: Simulating the effects of cosmic rays on the interstellar medium: outflows, phase structure and shocks – P. Girichidis, C. Pfrommer

Joseph Whittingham: The Impact of Magnetic Fields on Cosmological Galaxy Mergers – M. Sparre, C. Pfrommer

DISSERTATIONEN 2020

DISSERTATIONS

Anke Arentsen: Galactic Archaeology with the oldest stars in the Milky Way – E. Starckenburg

Eloy Hernandez: Numerical simulations in multimode fibers for astronomical spectroscopy – M. Roth

Josephine Kerutt: The High-Redshift Voyage of Lyman α and Lyman Continuum Emission as told by MUSE – L. Wisotzki

Aneesh Naik: Galaxy-Scale Signatures of Screened Modified Gravities – E. Puchwein

Justus Neumann: Secular Evolution in Galaxies: Properties of Bars and Bulges as seen with Integral Field Spectroscopy – L. Wisotzki

Matteo Pais: Magneto-hydrodynamical simulations with cosmic ray acceleration at supernova remnants – C. Pfrommer

Georg Winner: On the Evolution and Observational Signatures of Cosmic Ray Electrons in Magnetohydrodynamical Simulations – P. Girichidis, C. Pfrommer

Kris Youakim: Galactic Archaeology with metal poor stars from the Pristine survey – E. Starckenburg

BACHELORARBEITEN 2021

BACHELOR THESES

Seyedeh Marzieh Hosseini: Transits in the PTF08-8596 system, is there a planet? – K. Poppenhäger

Lea Marlen Rektorschek: Early chemical evolution of galaxies – J. Walcher

Anna Lena Schaible: Predictions of a galactic outflow model for spectral mapping observations – L. Wisotzki

Sophie de Vrede: Estimating the Age of AGB stars in the Magellanic Clouds – M. Cioni

MASTERARBEITEN 2021

MASTER THESES

Fabian Emmerich: Lyman- α transmission spikes as probes of cosmic voids, the intergalactic medium, and reionization – E. Puchwein, C. Pfrommer

Semih Filiz: Photometric and Spectroscopic Variability of White Dwarfs Showing Ultra-High Excitation – S. Geier (University of Potsdam), K. Poppenhäger

Alexandre Gillet: Are there clouds on Ultra Hot Jupiters? – K. Poppenhäger, M. Mallonn

Aashana Tripathi: Analysis of XMM-Newton observations of the bright eclipsing polar HU Aqr – A. Schwöpe

DISSERTATIONEN 2021

DISSERTATIONS

Momen Diab: Enabling astrophotonics: adaptive optics and photonic lanterns for coupling starlight into the single-mode regime – M. Roth, K. Madhav, C. Denker

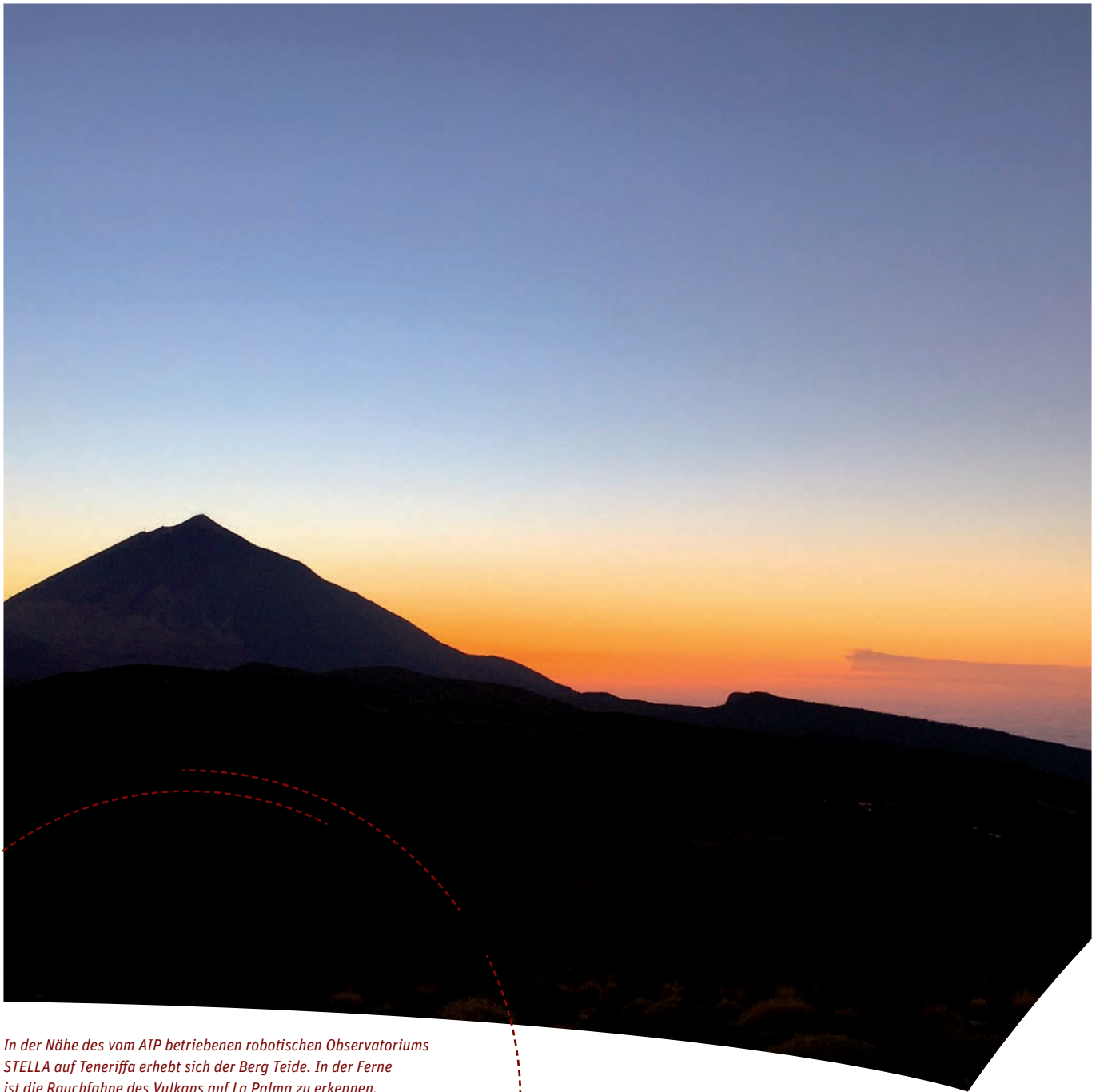
Andrea Diercke: Physical Environment of Large-scale High-latitude and Polar Crown Filaments – C. Denker, K. Strassmeier

Ekatarina Dineva: Sun-as-a-star Spectroscopy with PEPSI – C. Denker, K. Strassmeier

Dario Fritzewski: From fast to slow rotation in the open clusters NGC 2516 and NGC 3532 – S. Barnes, K. Strassmeier, A. Schwöpe

Sanja Jonic: Constraining Black Hole Growth Across Cosmic Time – The Faintest Active Galactic Nuclei – L. Wisotzki

Engin Keles: Atmospheric properties and dynamics of gaseous exoplanets inferred from high-resolution alkali line transmission spectroscopy. – K. Strassmeier, F. Spahn (University of Potsdam), M. Mallonn



In der Nähe des vom AIP betriebenen robotischen Observatoriums STELLA auf Teneriffa erhebt sich der Berg Teide. In der Ferne ist die Rauchfahne des Vulkans auf La Palma zu erkennen. Mount Teide rises up near the AIP-operated STELLA robotic observatory on Tenerife. The plume of smoke from the volcano on La Palma is visible in the distance.

Credits: AIP/C. Denker

STANDORTE
SITES

BORNIM (LOFAR)

BORNIM (LOFAR)

Das AIP betreibt in Potsdam Bornim seine eigene Station für LOFAR (LOW Frequency ARray) als Teil des International LOFAR Telescope (ILT), einem neuartigen Radiointerferometer für Frequenzen von 10 bis 250 Megahertz. Ursprünglich von ASTRON in den Niederlanden entwickelt, besteht es aus einem Kern von 24 Stationen bei Exloo sowie weiteren 14 Stationen in den Niederlanden und 14 internationalen Stationen, die über Europa verteilt sind, von Irland bis Lettland und von Schweden bis Frankreich. Die Planung, Durchführung und Auswertung von LOFAR-Beobachtungen der Sonne und Heliosphäre wird vom Key Science Project „Solar Physics and Space Weather with LOFAR“ organisiert. 43 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 10 Ländern arbeiten in diesem Projekt zusammen, mit Mitarbeitenden des AIP als Kernmitgliedern. Es koordiniert für das gesamte Projekt die gemeinsame Beobachtungszeit für LOFAR.

Nach dem Start der Weltraummission Parker Solar Probe (PSP) erhielt das Solar Key Science Project insgesamt 1.064 Stunden Beobachtungszeit für Kampagnen während der Periheldurchgänge von PSP bis in den Mai 2020 hinein. Das Projekt nutzt gleichzeitig verschiedene spektroskopische und abbildende Beobachtungsmodi von LOFAR, die ein umfassendes Bild der Sonnenkorona und des sonnennahen Weltraums liefern, und eine ideale Ergänzung zu PSP-Messungen von Radiowellen, energetischen Teilchen und heliosphärischen Strukturen bilden. Damit lassen sich beispielsweise die Ausbreitung energetischer Elektronen von der Korona in den interplanetaren Raum hinein untersuchen.

Nach dem erfolgreichen Start der Weltraummission Solar Orbiter konzentrieren sich die Kampagnen auf gemeinsame Beobachtungen mit den beiden Raumsonden, die die innere Heliosphäre erforschen. In den Jahren 2020 und 2021 erhielten Anträge des Solar Key Science Project insgesamt 240 Stunden Beobachtungszeit und führten zu ersten gemeinsamen Beobachtungen solarer Flares mit LOFAR und dem Röntgenteleskop STIX auf Solar Orbiter.

Im Jahr 2021 gab es durch ASTRON erneut die Möglichkeit langfristiger Beobachtungsanträge. Das Solar Key Science Project warb insgesamt 700 Stunden Beobachtungszeit bis Mai 2023 ein. Es wird daher weitere Beobachtungskampagnen während der Periheldurchgänge von Solar Orbiter und PSP durchführen und dann, wenn die relativen Stellungen der Satelliten und der Erde zueinander weitere Einblicke in die Aktivität der Sonne ermöglichen.



*Das LOFAR-Feld in Potsdam Bornim.
The LOFAR field in Potsdam Bornim.*

AIP operates its own LOFAR (LOW Frequency ARray) station in Potsdam Bornim as part of the International LOFAR Telescope (ILT), a novel radio interferometer that observes in the frequency range from 10 to 250 Megahertz. It was originally designed by ASTRON in the Netherlands and consists of 24 core stations near Exloo, Netherlands, 14 remote stations across the Netherlands, and 14 international stations across Europe, from Ireland to Latvia, and from Sweden to France. LOFAR observations of the Sun and the heliosphere are planned and analysed by the Key Science Project (KSP) “Solar Physics and Space Weather with LOFAR”. 43 scientists from 10 countries have joined this project, with AIP scientists as core members. It organizes common observing time proposals for LOFAR for the whole project.

After the launch of Parker Solar Probe (PSP), the Solar Key Science Project received a total of 1,064 hours of LOFAR observing time for campaigns during PSP perihelion passes until May 2020. The project uses simultaneously different spectroscopic and imaging LOFAR observing modes that provide a comprehensive picture of the solar corona and near-Sun interplanetary space. These observations are ideally complemented by PSP in-situ and remote measurements of radio waves, energetic particles, and heliospheric structure. This allows for instance to study energetic electron propagation through the corona into interplanetary space.

After the successful launch of Solar Orbiter, these observing campaigns focus on joint observations with both spacecrafts exploring the inner heliosphere. In 2020 and 2021, observing time proposals of the Solar Key Science Project were awarded a total of 240 hours, leading to the first joint observations of solar flares with LOFAR and the STIX X-ray telescope on Solar Orbiter.

In 2021, ASTRON issued another call for long-term proposals. The Solar Key Science Project obtained a total of 700 hours of observing time until May 2023, and will continue joint observing campaigns during the perihelia of Solar Orbiter and PSP, and other orbital alignments that provide unique vantage points to study the solar activity.

POTSDAMER TELEGRAFENBERG

POTSDAM TELEGRAFENBERG

Auf dem Telegrafenberg, einer 96 Meter hohen Erhebung in Potsdam, befindet sich der „Wissenschaftspark Albert Einstein“, einst als Wissenschaftspark im Stil eines englischen Landschaftsgartens angelegt. Noch heute gibt es dort zwei historische und noch immer funktionsfähige Teleskope, die zum AIP gehören: den Großen Refraktor und den Einsteinturm.

GROSSER REFRAKTOR

Der 1899 im Beisein des Kaisers eingeweihte Große Refraktor ist nach wie vor das viertgrößte Linsenteleskop der Welt. Er vereint in sich die mechanischen Möglichkeiten der damaligen Zeit und die sich seinerzeit erst formierenden astrophysikalischen Anforderungen – insbesondere im Bereich der Spektroskopie.



Das von Architekt Paul Spieker entworfene Kuppelgebäude des Großen Refraktors im Abendlicht.

The domed building of the Great Refractor, designed by architect Paul Spieker, in the evening light.

Das Teleskop ist ein Doppelrefraktor mit zwei fest miteinander verbundenen Fernrohren auf einer parallaktischen Montierung. Das größere Rohr verfügt über ein 80-Zentimeter-Objektiv und eine Brennweite von 12,2 Metern. Das kleinere, für visuelle Beobachtungen gedachte Objektiv hat einen Durchmesser von 50 Zentimetern und eine Brennweite von 12,5 Metern. Der Durchmesser der 200 Tonnen schweren drehbaren Kuppel liegt bei 21 Metern. Einen wissenschaftlichen Höhepunkt seiner Geschichte stellt die Entdeckung des diffusen interstellaren Mediums durch Johannes Hartmann anhand von stationären Kalziumlinien in spektroskopischen Doppelsternen im Jahr 1904 dar. Nach kriegsbedingten Beschädigungen im Jahr 1945 und einer anschließenden Modernisierung 1953 wurde der Betrieb des Großen Refraktors 1968 schließlich vollständig eingestellt.

Erst durch den 1997 eigens gegründeten „Förderverein Großer Refraktor Potsdam e.V.“ und dank großzügiger Spenden konnte das denkmalgeschützte Teleskop umfassend renoviert und 2006 voll funktionstüchtig erneut eingeweiht werden. Im Jahr 2017 erfolgten weitere Sanierungsarbeiten. Seit dem Ende der 1960er Jahre finden keine wissenschaftlichen Beobachtungen mehr statt, interessierte Gruppen können jedoch im Rahmen von öffentlichen Beobachtungsabenden, Veranstaltungen und Führungen das historische Instrument besichtigen und in Aktion erleben. Auch für Staatsbesuche und Film- und Fernsehaufnahmen ist der beeindruckende Kuppelsaal eine beliebte Kulisse.

EINSTEINTURM

Der Einsteinturm ist das erste bedeutende Bauwerk des Architekten Erich Mendelsohn. Er entstand in den Jahren 1919 bis 1924 in Zusammenarbeit mit dem Physiker Albert Einstein und dem Astronomen Erwin Finlay Freundlich. Der Einsteinturm wird oft als Vertreter des „architektonischen Expressionismus“ angeführt, dem widerspricht allerdings seine sehr harmonische Form und auch Mendelsohns eigene Einschätzung.

Der Einsteinturm ist ein Zweckbau, ein Sonnenobservatorium, das bis zum zweiten Weltkrieg auch wissenschaftlich das bedeutendste Sonnenteleskop in Europa war. Der Turm stellt eine Verknüpfung zwischen Wissenschaft und Kunst dar, weil es Mendelsohn gelang, sowohl die Anforderungen der Wissenschaft als auch seine eigenen Vorstellungen zur Formgebung zu erfüllen. Ziel des Observatoriums war ursprünglich der Nachweis der durch Einsteins Relativitätstheorie vorhergesagten Rotverschiebung von Spektrallinien im Schwerfeld der Sonne. Da man zu dieser Zeit jedoch noch kein richtiges Verständnis der solaren Konvektion hatte, blieben die Beobachtungen ergebnislos. Der Einsteinturm wurde zwischen 1997 und 1999 mit Unterstützung der Wüstenrot Stiftung grundlegend renoviert. Eine Förderung der Getty Foundation im Jahr 2015 ermöglichte eine weitere Studie für den Erhalt des Gebäudes. Dank der Wüstenrot Stiftung begannen die nächsten Instandhaltungsarbeiten im Jahr 2022.

Auch heute noch befindet sich im Einsteinturm eine leistungsfähige Sonnenforschungsanlage, bestehend aus dem Turmteleskop mit 60 Zentimetern Öffnung und einem langbrennweitigen Spektrographen. Die modernisierte optische und mechanische Ausrüstung kann etwa 400 Millionen Farben im Spektrum der Sonne unterscheiden. Bei guten Bedingungen erreicht das Teleskop eine Bildauflösung von einer Bogensekunde. Dies entspricht auf der Sonne Strukturen von 700 Kilometern Größe. Eine 1-Euro-Münze auf der Erde wäre damit theoretisch aus fünf Kilometern Entfernung noch erkennbar. Schwerpunkt der Beobachtungen sind spektralpolarimetrische Messungen in Sonnenfleckengruppen. Die Polarisationsanalyse des Lichts gestattet Rückschlüsse auf das Magnet- und Geschwindigkeitsfeld an der Oberfläche der Sonne.

Die ständige Verfügbarkeit des Instruments mit seinem Labor spielt bei der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses sowie für die Entwicklung und Tests neuer Instrumente für den Einsatz an Großteleskopen eine bedeutende Rolle. Der Einsteinturm ist daher eine wichtige Ergänzung zu den großen Sonnenteleskopen auf Teneriffa.



*Das Sonnenteleskop Einsteinturm ist auch heute noch im Einsatz.
The solar observatory Einstein Tower is still in use.*

Credits: www.dronearchive.org

The Telegrafenberg, a 96-metre-high elevation in Potsdam, is the location of the Science Park Albert Einstein, originally designed as a science park in the style of an English landscape garden. Today, two historic and still functional telescopes on this site belong to AIP: the Great Refractor and the Einstein Tower.

GREAT REFRACTOR

Inaugurated in 1899 in the presence of the Emperor, the Great Refractor is still the fourth-largest refracting telescope in the world. It combines the mechanical possibilities of the time and the astrophysical requirements that were then only just emerging – especially in the field of spectroscopy.

The telescope is a double refractor with two permanently connected telescopes on a parallactic mount. The larger tube has an 80-centimetre objective and a focal length of 12.2 metres. The smaller tube, intended for visual observations, has a diameter of 50 centimetres and a focal length of 12.5 metres. The diameter of the 200-tonne rotating dome is 21 metres. A scientific highlight in the history of the Great Refractor was the discovery of the interstellar medium in 1904 by Johannes Hartmann, through observations of stationary calcium lines in spectroscopic binary stars. After war damage in 1945 and a subsequent modernization in 1953, the Great Refractor eventually ceased operation completely in 1968.

Thanks to generous donations, greatly aided by the specially founded „Förderverein Großer Refraktor Potsdam e.V.“ association, the heritage-protected telescope was extensively

renovated over several years. Since the end of the 1960s, the telescope is no longer used for scientific observations, but interested groups can visit and experience the historic instrument in action as part of public observation evenings, events and guided tours. The impressive cupola hall is also a popular setting for state visits and film and television shootings.

EINSTEIN TOWER

The solar observatory Einstein Tower was the first important work of architect Erich Mendelsohn. It was designed and built during the years 1919 to 1924 in collaboration with the physicist Albert Einstein and the astronomer Erwin Finlay Freundlich. The tower is often called a prime example of architectural expressionism. Its overall design is very harmonious, however, and Mendelsohn's own perception was different.

The Einstein Tower is a functional building – a solar observatory. Until the Second World War it was the most prominent research institution of its kind in Europe. The tower is also an example of the connection between science and art, as Mendelsohn fulfilled the conditions for the scientific use as well as his own concepts of form. It was originally built in order to prove the redshift of solar spectral lines, as predicted by Einstein's theory of relativity. However, without a proper understanding of solar convection at the time, the observations remained inconclusive. Between 1997 and 1999, the Einstein Tower was repaired and completely renovated, funded in large part by the Wüstenrot Foundation. A grant from the Getty Foundation in 2015 enabled another study for the preservation of the building. Thanks to support from the Wüstenrot Foundation, maintenance work started in 2022.

To this day, the Einstein Tower houses a very efficient 60-centimetre telescope combined with a long-focus spectrograph. The modernized optical and mechanical equipment can distinguish about 400 million colours in the solar spectrum. Under good conditions, an image resolution of one arcsecond is achieved. This corresponds to structures 700 kilometres in size on the Sun. A 1-Euro coin on Earth would theoretically still be recognizable from a distance of five kilometres. Observations focus on spectropolarimetric measurements in solar active regions. The analysis of the light's polarization permits the determination of the magnetic field and radial velocities on the surface of the Sun.

The permanent availability of this large telescope, spectrograph and associated laboratory facilities is important for the education of young scientists as well as the development and testing of new equipment for subsequent use at other large telescopes. In this sense, the Einstein Tower is an indispensable complement to the solar telescopes at Tenerife.

TENERIFFA

TENERIFE

Im Observatorio del Teide auf Teneriffa befindet sich das vom AIP entwickelte und betriebene robotische Observatorium STELLA mit seinen Zwillingsteleskopen mit einer Öffnung von je 1,2 Metern. Darüber hinaus beherbergt das Observatorium das 1,5-Meter-GREGOR-Sonnenteleskop und das 0,7-Meter-Vakuumturmtteleskop (VTT), die beide von einem deutschen Konsortium mit dem AIP als Partner betrieben werden. Der Standort auf einer Vulkaninsel, etwa 2.400 Meter über dem Atlantik und nur 300 Kilometer von der Westküste Afrikas entfernt, bietet exzellente Beobachtungsbedingungen sowohl für die Tag- als auch die Nachtastronomie. Ruhige Winde und das Vorhandensein einer Inversionsschicht mit einer geschlossenen Wolkendecke einige 100 Meter unterhalb des Observatoriums unterdrücken wirksam den schädlichen Einfluss der turbulenten Erdatmosphäre.



Das robotische STELLA-Observatorium nach einem der seltenen Eisstürme auf Teneriffa. Selbst bei eisigen Temperaturen werden die Beobachtungen fortgeführt.

The robotic STELLA observatory after one of the rare blizzards on Tenerife. Even at icy temperatures, observations can continue.

Credits: AIP/C. Denker

STELLA

Präzisionsphotometrie und hochauflösende Spektroskopie bei STELLA

Das STELLA-I-Teleskop, das mit dem Abbildungsinstrument WiFSIP mit einem Gesichtsfeld von 22 Bogenminuten für Präzisionsphotometrie ausgestattet ist, und sein Zwillingsteleskop STELLA II, das den hochauflösenden Echelle-Spektrographen SES speist, bilden zusammen das robotische Observatorium STELLA. Es ist seit 2006 kontinuierlich in Betrieb und in seiner Kombination nach wie vor weltweit einzigartig. STELLA weist mit technischen Ausfallzeiten von unter 2 % eine hohe Verfügbarkeit auf und besitzt ein unkompliziertes Betriebsmodell, das höchste Flexibilität bietet. Diese Eigenschaften ziehen auch außergewöhnliche Vorhaben an, wie eine photometrische Beobachtungskampagne der Venus

während des Vorbeiflugs der Raumsonde BepiColombo, die sich auf ihrem Weg zum Merkur befand, im Jahr 2021. Die Beobachtungen waren so erfolgreich, dass dem koreanischen Institute for Basic Science ein Folgeantrag für eine anfängliche Finanzierungsdauer von fünf Jahren bewilligt wurde. Der Betrieb von STELLA ist unabhängig von menschlicher Aufsicht, so dass es als eines von wenigen Observatorien seine Beobachtungen auch während der jüngsten Reiseverbote aufgrund der COVID-19-Pandemie fortsetzte. Die Möglichkeit, unbeaufsichtigt zu arbeiten, brachte jedoch auch eine Schwachstelle ans Licht: Das Fehlen der halbjährlich geplanten Wartungsarbeiten führte im Jahr 2021 zu einem größeren Ausfall der Kühlung und eines Instruments. Daher hat sich das AIP-Team dazu entschieden, bei dem ohnehin geplanten Umbau der Teleskope eine Optimierung der Betriebszuverlässigkeit zu vollziehen.



Das Sonnenteleskop GREGOR (im Hintergrund) am winterlichen Observatorio del Teide auf Teneriffa.

The GREGOR solar telescope (in the background) at the wintery Observatorio del Teide on Tenerife.

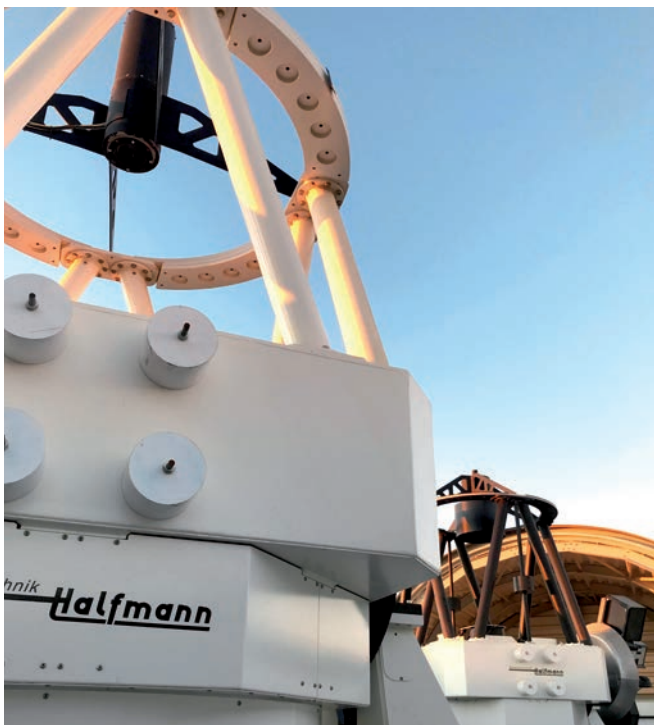
Credits: AIP/C. Denker

GREGOR

Sonnenbeobachtungen mit hoher räumlicher Auflösung

Die Wechselwirkung von heißem Plasma und starken Magnetfeldern findet in der Photosphäre und Chromosphäre, den untersten Schichten der Sonnenatmosphäre, auf räumlichen Skalen von nur wenigen zehn Kilometern statt. GREGOR ist Europas größtes Sonnenteleskop zur Untersuchung dynamischer Prozesse auf den kleinsten für die Sonnenphysik wichtigen räumlichen Skalen. Das AIP trägt zur Instrumentierung von GREGOR mit abbildenden Spektropolarimetern und schnellen Kamerasystemen für schichtweise Beobachtungen der Photosphäre und Chromosphäre bei. Der verbesserte High-Resolution Fast Imager (HiFI+) umfasst nun sechs großformatige CMOS-Kameras, die Nachfolger der CCD, mit Bildaufnahmezeiten von bis zu 100 Bildern pro Sekunde. Trotz der Korrektur atmosphärischer Schwankungen in Echtzeit durch die Adaptive Optik (AO) sind solche hohen Bildraten für die Bildrekonstruktion erforderlich, damit die höchste räumliche Auflösung über ein großes Bildfeld erreicht werden kann.

Die gleichzeitige Rekonstruktion von schmal- und breitbandigen H-alpha-Bildern der Sonnenoberfläche, die mit einem ursprünglich am Sonnenobservatorium Einsteinurm in Potsdam verwendeten speziellen Filter aufgenommen wurden, liefert Zeitserien der chromosphärischen Feinstruktur mit einer zeitlichen Auflösung von etwa sechs Sekunden. Filter, die auf spektrale Besonderheiten von Moleküllinien zentriert sind, liefern zusätzliche Informationen über kleinräumige Aufhellungen, die typischerweise mit kleinräumigen Magnetfeldern verbunden sind. Die Abbildung der starken chromosphärischen Absorptionslinie Ca II K des einfach ionisierten Kalziumatoms liefert zusätzliche Informationen darüber, wie die Energie durch Magnetfelder kanalisiert wird. Dies stellt auch eine Verbindung zwischen Sonnenbeobachtungen und der magnetischen Aktivität anderer Sterne her.



Die beiden STELLA-Teleskope bei Sonnenaufgang kurz vor dem Schließen des Schutzdachs.

The two STELLA telescopes at sunrise shortly before the roof closes.

Credits: AIP/J. Weingrill

Simultane Spektroskopie und die chromosphärische Dynamik

In der Vergangenheit war der Echelle-Spektrograph das „Arbeitspferd“ des Vakuumturmtelopes (VTT). Ausgestattet mit einem Laserfrequenzkamm kann er eine hohe spektrale Auflösung mit einem Auflösungsvermögen von mehr als 1:500.000 und eine genau geeichte Wellenlängenskala liefern. Allerdings deckt diese Art der Beobachtung nur ein sehr kleines Bildfeld ab. Das vom AIP entwickelte Kamerasystem Fast Multi-Line Universal Spectrograph (FaMuLUS) baut auf einer weiteren einzigartigen Eigenschaft des VTT auf. Das Design seines AO-Systems erleichtert das Scannen der Sonnenoberfläche mit dem Echelle-Spektrographen, so dass

er ein großes Sichtfeld von zwei Bogenminuten \times vier Bogenminuten abdecken kann. Das ist groß genug, um ein gesamtes aktives Gebiet mit Sonnenflecken zu erfassen. Diese Scans können jede Minute mit einer räumlichen Auflösung wiederholt werden, die mit den Kameras und Instrumenten zur Magnetfeldmessung an Bord der Weltraummission Solar Dynamics Observatory (SDO) vergleichbar ist. FaMuLUS nimmt photosphärische und chromosphärische Spektrallinien gleichzeitig in vier Spektralbereichen mit $8k \times 6k$ -Pixel-Detektoren auf. Für diese Spektrallinien entwickelte das AIP Techniken zur Spektralanalyse und zum maschinellen Lernen zur Klassifizierung dieser Linien. Die dreidimensionale Struktur der Chromosphäre ist so komplex, dass weder Bildserien noch die Beobachtung einer einzelnen Linie die Natur der physikalischen Prozesse erfassen kann. Daher ist die gleichzeitige Spektroskopie ein aufstrebendes Gebiet in der Sonnenphysik und wird die Entwicklung von Instrumenten für die nächste Generation von Sonnentelopes, wie das Europäische Sonnentelopes (EST) mit einer Öffnung von vier Metern, maßgeblich beeinflussen.

The Observatorio del Teide at Tenerife is the home of AIP's own STELLA robotic observatory with its twin 1.2-metre aperture telescopes. In addition, the observatory hosts the 1.5-metre aperture GREGOR solar telescope and the 0.7-metre aperture Vacuum Tower Telescope (VTT), which are both operated by a German consortium with AIP as partner. The location on a volcanic island, about 2,400 metres above the Atlantic Ocean and just 300 kilometres away from the west coast of Africa, offers some of the best observing conditions for both day- and nighttime astronomy. Smooth winds and the presence of an inversion layer with a closed cloud cover a few 100 metres below the observatory effectively suppress the deleterious influence of Earth's turbulent atmosphere.

STELLA Precision photometry and high-resolution spectroscopy at STELLA

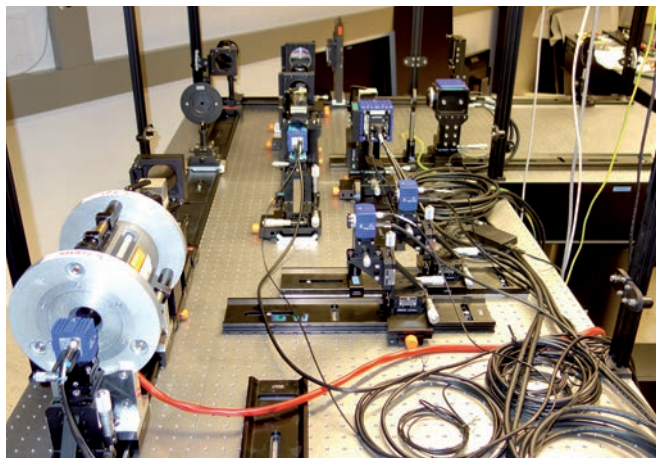
STELLA I, a telescope equipped with the imaging instrument WiFSIP at a 22 arcminutes field of view for precision photometry, and its twin telescope STELLA II, which feeds the high-resolution Echelle spectrograph SES at a resolution of 55,000, together form the STELLA robotic observatory. It has been in continuous operation since 2006 and is still unique worldwide in this combination. STELLA is highly available with a technical downtime below 2% and has a straightforward operation model offering highest flexibility. These features attract more and more “exotic” proposals, such as a photometric observation campaign of Venus during the flyby of the spacecraft BepiColombo on its way to Mercury in 2021. Observations were so successful that a subsequent proposal to the Korean Institute for Basic Science was granted for an initial funding period of five years. STELLA's operation is independent from human oversight – it was thus one of the few observatories that continued observations during the

recent travel bans due to the COVID-19 pandemic. However, the ability to work unattended also exposed a weakness: the lack of biannually scheduled maintenance runs resulted in a major cooling and instrument failure in 2021. Therefore, the AIP team decided to optimize the operational reliability of the telescopes during the planned upgrade.

GREGOR

Solar Observations with high spatial resolution

The interaction of hot plasma and strong magnetic fields occurs in the photosphere and chromosphere, the lower layers of the solar atmosphere, on spatial scales as small as a few tens of kilometres. GREGOR is Europe's largest solar telescope dedicated to studying dynamic processes at the fundamental spatial scale relevant for solar physics. AIP contributes to the instrumentation of GREGOR with imaging spectropolarimeters and high-cadence imaging systems for observations of the photosphere and chromosphere layer by layer. The improved High-resolution Fast Imager (HiFi+) now includes six large-format CMOS cameras, the successor to CCD, with image acquisition rates of up to 100 frames per second. Despite real-time correction of atmospheric turbulence provided by Adaptive Optics (AO), such high frame rates are needed for image restoration so that the highest possible spatial resolution can be achieved across a large field of view. Simultaneous restoration of narrow- and broad-band H-alpha images of the solar surface, obtained with a special filter originally used at the solar observatory Einstein Tower in Potsdam, yields time series of chromospheric fine structure with a temporal resolution of six seconds. Filters centred on spectral features of molecular lines add information on small-scale brightenings, which are typically associated with small-scale magnetic fields. Imaging the strong chromospheric absorption line Ca II K of the singly ionized calcium atom produces additional information on how energy is channelled



Das verbesserte Kamerasystem HiFi+ ermöglicht hochauflösende Bilder in sechs Wellenlängenbereichen und damit schichtweise Beobachtungen der Photosphäre und Chromosphäre unserer Sonne nahe der Beugungsgrenze des GREGOR-Teleskops.

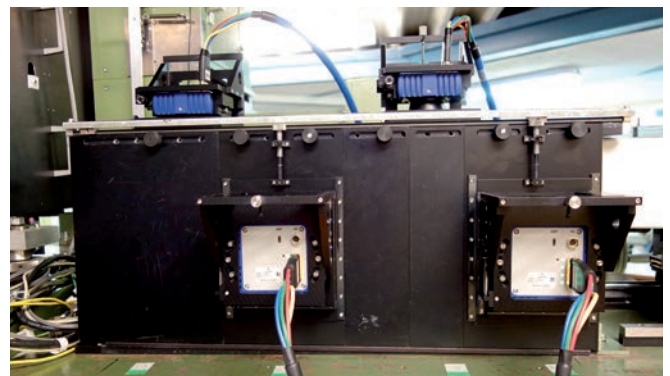
The improved camera system HiFi+ facilitates high-resolution imaging in six wavelength regions, enabling layer-by-layer observation of the photosphere and chromosphere of our Sun close to the diffraction limit of the GREGOR telescope.

Credits: AIP/C. Denker

by magnetic fields. This also links solar observations to the magnetic activity of stars other than the Sun.

Multi-line spectroscopy and chromospheric dynamics

In the past, the Echelle spectrograph has been the “work horse” of the VTT. Equipped with a laser frequency comb, it can provide high spectral resolution with a resolving power better than 1:500,000 and with a precisely calibrated wavelength scale. However, this type of observation covers only a very small field of view. The Fast Multi-Line Universal Spectrograph (FaMuLUS) camera system designed by AIP builds upon another unique property of the VTT. The design of its AO system facilitates scanning the surface of the Sun with the Echelle spectrograph so that a large field of view of 2 arcmin × 4 arcmin can be covered, which is sufficiently large to capture entire active regions. These scans can be repeated every minute with a spatial resolution comparable to the imagers and instruments for magnetic field measurements on board the space mission Solar Dynamics Observatory (SDO). FaMuLUS records photospheric and chromospheric spectral lines simultaneously in four spectral regions using 8k×6k pixel detectors. Spectral analysis techniques were developed for these spectral lines along with machine learning techniques for classifying these lines. The three-dimensional structure of the solar chromosphere is so complex that imaging alone or the observation of a single line will not capture the nature of the physical processes. Thus, multi-line spectroscopy is a rapidly emerging field in solar physics and will significantly impact the design of instruments for the next generation of solar telescopes, such as the 4-metre aperture European Solar Telescope (EST).



Vier großformatige FaMuLUS-Kameras mit 8k×6k Pixeln befinden sich am Ausgang des VTT-Echelle-Spektrographen und ermöglichen die simultane Beobachtung von vier Spektralbereichen.

Four large-format FaMuLUS cameras with 8k×6k pixels are located at the exit of the VTT Echelle Spectrograph and provide simultaneous observations in four spectral regions.

Credits: AIP/C. Denker

ARIZONA

ARIZONA



*Das LBT auf dem Mt. Graham in Arizona.
The LBT on Mt Graham in Arizona.*

Credits: LBTO

LARGE BINOCULAR TELESCOPE

Das LBT auf dem 3.200 Meter hohen Mount Graham in Arizona mit seinen beiden 8,4-Meter-Spiegeln ist das derzeit größte optische Teleskop der Welt. Es entspricht dem Lichtsammelvermögen eines einzelnen 11,8-Meter-Teleskops und liefert, wenn interferometrisch gekoppelt, eine räumliche Auflösung am Himmel entsprechend eines einzelnen 22,8-Meter-Giganten. Das Teleskop ist seit etwa 2018 im Routinebetrieb und bietet neben einer Reihe von regulären Beobachtungsinstrumenten die Möglichkeit für die Weiterentwicklung bestehender und der Neuentwicklung zukünftiger Instrumente.

Zu den verfügbaren Beobachtungsmöglichkeiten gehörten im Jahr 2021 das Weitfeld-optische Imaging (LBC), niedrig auflösende Spektroskopie von multiplen Objekten im Optischen (MODS), mittlere Auflösung im nahen Infraroten mit Imaging und Ausnutzung der adaptiven Optik des Teleskops (LUCI) sowie hochauflösende optische Spektroskopie und Polarimetrie mit dem am AIP entwickelten und gebauten PEPSI-Instrument.

PEPSI-ÜBERGABE

Im Jahr 2020 fanden die Vorbereitungen zur Übergabe von PEPSI als reguläres Instrument am LBT statt. Die 450 Meter lange unterirdische Faserverbindung zum Vatican Advanced Technology Telescope (VATT) sowie das Sonnenscheiben-

Integrierte Teleskop SDI sind nicht inkludiert und weiterhin ausschließlich zur Nutzung durch das AIP und seine Partner bestimmt. Im Jahr 2021 hielt das PEPSI-Kernteam eine Reihe von Trainingsseminaren für das Personal des LBT ab, aufgrund der Pandemie in Form von Videokonferenzen. Zwei vollständige Dokumentationsreihen konnte das AIP noch 2020 kurz vor Ausbruch der Pandemie persönlich übergeben.

LARGE BINOCULAR TELESCOPE

The LBT is located at an altitude of 3,200 metres on Mount Graham in Arizona. With its two 8.4-metre mirrors, it is currently the largest optical telescope in the world. It has the light-gathering capacity of a single 11.8-metre telescope and, when combined interferometrically, provides a spatial resolution in the sky corresponding to a single 22.8-metre giant. The telescope has been in routine operation since 2018 and offers a complement of facility instruments as well as providing a platform for developing and experimenting with new instrument concepts.

Available observation opportunities in the year 2021 included wide-field optical imaging (LBC), optical low-resolution multiple object spectroscopy (MODS), near-infrared imaging and low-to-medium resolution multiple object spectroscopy (LUCI) taking advantage of the adaptive optics system, as well as high-resolution optical spectroscopy and polarimetry with the PEPSI instrument, which was developed and built by AIP.

PEPSI HANDOVER

In 2020, PEPSI entered the handover phase to become a facility instrument of the LBT. In 2021 the PEPSI core team delivered numerous training lectures via zoom and handed over two full sets of documentations just before the outbreak of the pandemic in 2020.



Übergabe der PEPSI-Dokumentation vom Leiter des Projekts, Klaus G. Strassmeier, an den Direktor des LBT Observatory, Christian Veillet.

PEPSI documentation handover by the PI, Klaus G. Strassmeier, to the LBT observatory's director, Christian Veillet.

Credits: LBTO



*Finale der Vorstellung von „Das Netz“ im Juli 2021
vor dem Einsteinturm.*

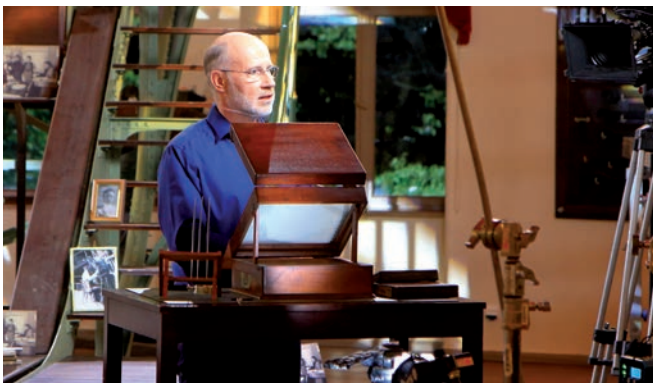
*Finale of the performance of “Das Netz” in July 2021
in front of the Einstein Tower.*

PRESSE- UND ÖFFENTLICHKEITSARBEIT PUBLIC RELATIONS

Die Jahre 2020 und 2021 stellten für viele Formate der Öffentlichkeitsarbeit eine Herausforderung dar. Nichtsdestotrotz verfolgte das Institut das Ziel der astronomischen Wissensvermittlung an verschiedene Zielgruppen und setzte dabei verstärkt auf digitale Formate – mit großem Erfolg. Einzelne Präsenzveranstaltungen konnten unter freiem Himmel und mit entsprechenden Hygienevorschriften umgesetzt werden, ebenso wie zahlreiche Dreharbeiten für verschiedene Formate in Film und Fernsehen.

AIP IN DEN MEDIEN

AIP-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler informierten regelmäßig in Interviews über ihre Forschung oder zu aktuellen astronomischen Themen und Veranstaltungen. In den Jahren 2020 und 2021 berichteten nationale und internationale Medien – unter anderem *Die Zeit*, die *Tagesschau* oder die *New York Times* – über die insgesamt 55 Pressemitteilungen des Instituts zu wissenschaftlichen Höhepunkten, aktuellen Entwicklungen in Projekten und bevorstehenden öffentlichen Veranstaltungen. Einige erwiesen sich weltweit als äußerst populär: Internationale Medien griffen AIP-Mitteilungen auf und veröffentlichten diese in mehr als 24 Sprachen.



Harald Lesch beim Dreh für „Faszination Universum“ im Großen Refraktor.
Harald Lesch during the shoot for “Faszination Universum” in the Great Refractor.

Neuere Medienformate nahmen hierbei an Bedeutung zu. Im Podcast der Leibniz-Gemeinschaft sprach Noam Libeskind über Dunkle Materie, Matthias Steinmetz war bei der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften in der Reihe „Auf ein Akademisches Viertel mit...“ zu Gast. Ein Quiz über Dunkle Materie mit Marcel Pawlowski als Experten lud im August 2021 auf der Nachrichtenseite *t-online* zum Rätseln ein, während die *Märkische Allgemeine Zeitung* Mirko Krumpke zu einer Serie über Astronomie befragte. Katja Weingrill sprach im Dezember 2020 im *Tagesspiegel* über den ersten Teil der dritten Gaia-Datenveröffentlichung, Cristina Chiappini im Juni 2021 mit dem *rbb24 Inforadio* über den Klang der Sterne. Das Institut kommunizierte vermehrt in den sozialen Medien, z.B. mit einer Reihe von zweisprachigen Posts über die Geschichte der Astronomie und des Instituts unter dem Hashtag #AIPHistory, die auf ein engagiertes Publikum stießen.

Die langjährige Zusammenarbeit mit einem der größten deutschen öffentlich-rechtlichen Fernsehsender für die Doku-

mentation „Terra X: Faszination Universum“ mit Harald Lesch wurde 2020 und 2021 fortgesetzt. Unter strengen Hygienemaßnahmen drehte das Produktionsteam jedes Jahr eine Woche lang im historischen Großen Refraktor, um Material für insgesamt vier Folgen zu produzieren: „Die Reise zum Rand der Welt“ und „Im Sog des Schwarzen Lochs“ (2020) sowie „Labyrinth des Wissens“ und „Im Bann der Technik“ (2021).

Im Sommer 2021 empfing der Große Refraktor zum wiederholten Mal Staatsgäste: Der deutsche Bundespräsident Frank-Walter Steinmeier besuchte den Großen Refraktor auf dem Telegrafenberg zusammen mit den Staatsoberhäuptern der deutschsprachigen Länder. Olaf Scholz war dort im Mai 2021 vor seiner Wahl zum deutschen Bundeskanzler zu Gast.

Die historischen Teleskope des AIP sind oft Gegenstand von Film- und Fotoaufnahmen. Für ein von der University of Michigan gefördertes Forschungsprojekt entstanden einzigartige Drohnenaufnahmen vom Einsteinurm, die als Open-Source-Informationen für Menschen, die sich für Architektur interessieren, zur Verfügung stehen. Der deutsch-französische Sender *Arte* drehte für eine Folge des Wissenschaftsmagazins *Xenius* über Sonnenstürme im Einsteinurm und auf dem LOFAR-Gelände. Eine Folge für eine litauische Serie über die architektonische Moderne in Europa sowie ein Beitrag für eine Quizsendung des *ZDF* wählten ebenfalls den Einsteinurm als Thema; bei beiden agierte Alexander Warmuth als wissenschaftlicher Protagonist. Kunstschaffende wie die Singer-Songwriterin Alexia Peniguel nutzten die einzigartige Kulisse des Einsteinurms und des Großen Refraktors für Videodrehs mit astronomischem Bezug. Der italienische Sender *RAI* zeigte die historischen Teleskope in einer Sendung zur Geschichte Berlins und Potsdams in der Vorweihnachtszeit 2021.

VERANSTALTUNGEN

Bis März 2020 besuchten zahlreiche Gäste die AIP-Standorte in Babelsberg und auf dem Telegrafenberg. Im Oktober 2020 startete die neue Saison der Babelsberger Sternennächte – dieses Mal pandemiebedingt virtuell in einer Kooperation mit dem YouTube-Kanal „Urknall, Weltall und das Leben“. Die monatlich erscheinenden Vortragsvideos, ergänzt durch Kommentarcheck-Videos zur Klärung von Publikumsfragen, erreichten anhaltend Zuschauerzahlen von mindestens 15.000 bis über 50.000 Aufrufen; der Vortrag von Klaus G. Strassmeier zu außerirdischem Leben im Universum wurde sogar knapp 200.000 mal angesehen. Insgesamt besuchten in den Jahren 2020 und 2021 rund 2.000 Gäste Veranstaltungen und Führungen vor Ort, viele Tausend weitere riefen die Online-Inhalte des AIP ab.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am AIP beteiligten sich an der Veranstaltungsreihe „Book a Scientist“ der Leibniz-Gemeinschaft, bei der Interessierte ein virtuelles 25-minütiges Einzelgespräch mit Forschenden aus verschiedenen Bereichen buchen konnten. Auf dem Telegrafenberg luden die performativen Veranstaltungen „Zeitbrücken“

(2020) und „Das Netz“ (2021) zu einem Abend ein, der Wissenschaft und Kunst durch Tanz und einen geführten Spaziergang mit Vorträgen von Forschenden des GFZ, AWI, PIK und AIP verband.

Im Sommer 2021 boten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des AIP einen Abend lang in einer Live-Veranstaltung auf der Inselbühne der Freundschaftsinsel in Potsdam im Rahmen des „International Tuesday“, einer Veranstaltungsreihe des Neuen Potsdamer Toleranzedikts, einen Einblick in die astrophysikalische Forschung von der Sonne bis zu den großen Skalen des Universums.

VERNETZUNG

Das AIP beteiligte sich, wie auch schon in vergangenen Jahren, 2020 an der proWissen Potsdam-Publikation „Nachgefragt!“, die Fragen von Kindern aus der Region zu wissenschaftlichen Themen und Antworten von Forschenden aus Potsdam und Umgebung enthält. Katja Poppenhäger und Christoph Pfrommer beantworteten Fragen zu Lebewesen innerhalb anderer Planeten und zum Ursprung der Welt. Die Hefte wurden in allen Brandenburger Schulen verteilt.

Unter dem Motto „Forschen. Entdecken. Mitmachen.“ fand der Potsdamer Tag der Wissenschaften 2021 online statt. Hochschulen und Forschungseinrichtungen der Region präsentierten sich auf einer virtuellen Wissensplattform.

Die Planetariumsshow „Sterne über Potsdam“ zeigte 360-Grad-Aufnahmen vom Einsteinturm, Großen Refraktor, Humboldthaus und LOFAR, die die verschiedenen historischen und modernen Beobachtungsorte in Potsdam repräsentieren.

NACHWUCHSFÖRDERUNG

Das Institut wendet sich regelmäßig an Potsdamer Kinder aller Altersstufen und weckt so frühzeitig deren Interesse an der Astronomie. Trotz weniger Veranstaltungen und Führungen, die nur während des Sommers möglich waren, blieben das Institut und seine Mitarbeitenden über vermittelte Interviews mit Forschenden, Erklärvideos und einer vom AIP organisierten



Dreh für Arte Xenius auf dem LOFAR-Feld.
TV shoot for Arte Xenius on the LOFAR field.

virtuellen Veranstaltung für Schülerinnen und Schüler mit den jungen Interessierten in Kontakt. Erstmals fand 2021 auch der jährliche Girls‘ Day online statt, mit positiver Resonanz der Teilnehmerinnen aus ganz Deutschland.

WEBSEITEN-RELAUNCH

Am 22. Februar 2020 ging die neue Website des AIP mit einem neuen Design und nach Umstellung auf ein individualisierbares Content-Management-System online. Zum neuen Funktionsumfang gehört eine Projektdatenbank, ein Twitter-Plugin, die automatisierte Aktualisierung von Publikationslisten sowie eine korrekte mobile und barrierearme Darstellung.

The years 2020 and 2021 posed a challenge to many outreach activities. Nevertheless, the institute kept communicating astronomy to the public via various new online event formats – with great success. Individual in-person events were realized outdoors and under appropriate hygiene measures, as were numerous shoots for different formats in film and TV.

AIP IN THE MEDIA

AIP scientists are regularly invited as interview partners regarding either their research or current astronomy-related topics and events. In 2020 and 2021, national and international media – such as *Die Zeit*, *Tagesschau* and *New York Times* – regularly covered the institute’s 55 press releases on scientific highlights, current developments in projects, and upcoming public events. Some of them proved to be extremely popular worldwide: AIP news items were covered in at least 24 languages.

Increasingly, newer media formats became more important: Noam Libeskind spoke about dark matter in the podcast of the Leibniz Association, Matthias Steinmetz was a guest at the Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities in the series “On an Academic Quarter with...”. A quiz on dark matter with Marcel Pawlowski as scientific expert invited people to test their knowledge on the *t-online* news site in August 2021, while Mirko Krumpe was consulted on a series about astronomy by local newspaper *Märkische Allgemeine Zeitung*. In December 2020, Katja Weingrill spoke about the first part of the third Gaia data release in *Tagesspiegel*, in June 2021 Cristina Chiappini was interviewed about the sound of the stars by *rbb24 Inforadio*. The institute increasingly communicated with its followers on social media, e.g., with a series of bilingual posts about the history of astronomy and AIP under the hashtag #AIPHISTORY, which attracted an engaged audience.

The long-term cooperation with one of Germany’s main public TV channels for the documentation “Terra X: Fascination Universe” with Harald Lesch was continued in 2020 and 2021.

Under strict hygiene measures, the production team shot in the historical Great Refractor for one week each year to produce footage for four episodes: “Journey to the Edge of the World” and “In the Wake of the Black Hole” (2020) as well as “Labyrinth of Knowledge” and “Under the Spell of Technology” (2021).

In the summer of 2021, the Great Refractor received state guests once again: German President Frank-Walter Steinmeier visited the Great Refractor on Telegrafenberg together with the Heads of State of the European countries that have German as an official language. Olaf Scholz also visited there in May 2021 before his election as German Chancellor.

The AIP’s historic telescopes are regularly the subject of film and photo shoots. For a research project funded by the University of Michigan, unique drone images of the Einstein Tower were created and are available as open-source information for people interested in architecture. The German-French channel *Arte* filmed in the Einstein Tower and on the LOFAR site for an episode of the science magazine *Xenius* about solar storms. An episode for a Lithuanian series on architectural modernism in Europe and a contribution for a quiz programme on *ZDF* also chose the Einstein Tower as their subject; Alexander Warmuth acted as protagonist in both. Artists such as singer-songwriter Alexia Peniguel used the unique setting of the Einstein Tower and the Great Refractor for astronomy-related video shoots. The Italian broadcaster *RAI* featured the historic telescopes in a programme about the history of Berlin and Potsdam in the days before Christmas 2021.

EVENTS

Before March 2020, numerous guests visited the AIP locations in Babelsberg and on Telegrafenberg. In October 2020, the new season of the Babelsberg Starry Nights started – this time and due to the pandemic, virtually in a cooperation with the YouTube channel “Urknall, Weltall und das Leben”. The monthly lecture videos, supplemented by commentary check videos to clarify audience questions, consistently achieved viewership numbers ranging from at least 15,000 to over 50,000 views; the talk by Klaus G. Strassmeier on extraterrestrial life in the universe has even been viewed almost 200,000 times. In total, around 2,000 guests attended events and guided tours on site in 2020 and 2021, and many thousands more accessed the AIP’s online content.

Scientists at the AIP participated in the Leibniz Association’s “Book a Scientist” event series, where interested people could book a virtual 25-minute one-on-one meeting with researchers from various fields. On Telegrafenberg, the performative events “Time Bridges” (2020) and “The Net” (2021) invited visitors to an evening that combined science and art through dance and a guided walk with talks by researchers from GFZ, AWI, PIK, and AIP.

In the summer of 2021, five AIP scientists offered insights into astrophysical research, from the Sun to the large scales of the

universe, for one evening in a live event on the Inselbühne of the Freundschaftsinsel in Potsdam as part of International Tuesday, a series of events organized by the New Potsdam Tolerance Edict.

NETWORKING

As in previous years, in 2020 the AIP participated in the proWissen Potsdam publication “Nachgefragt!”, which contains questions from children in the region about scientific topics and answers from researchers in Potsdam and the surrounding area. Katja Poppenhäger and Christoph Pfrommer answered questions about living beings inside other planets and the origin of the world. The booklets were distributed in all Brandenburg schools.

Under the motto “Research. Discover. Participate.” the Potsdam Science Day 2021 took place online. Universities and research institutions in the region presented themselves on a virtual knowledge platform.

The planetarium show “Stars over Potsdam” showed 360-degree images of the Einstein Tower, Great Refractor, Humboldt-haus, and LOFAR, representing the various historical and modern observing sites in Potsdam.

PROMOTION OF YOUNG TALENTS

The institute regularly engages with Potsdam children of all ages, sparking their interest in astronomy early on. Even with fewer events and tours only possible during summer, the institute and its staff remained in contact with students via interviews with researchers, explanatory videos, and an AIP-organized virtual event for pupils. For the first time, the annual Girls’ Day event took place online in 2021, with positive feedback from participants, who logged in from all over Germany.

WEBSITE RELAUNCH

On 22 February 2020, AIP launched its new website. The relaunch included a new design and a move to an individualized content management system. The new functionality includes a project database, a Twitter plugin, the automated update of publication lists, and a correct mobile and barrier-free display.



Zu Besuch am AIP: Schülerinnen und Schüler aus Südkorea im Januar 2020. Visiting AIP: Students from South Korea in January 2020.



ANHANG

APPENDIX





*Das Leibnizhaus auf dem AIP-Campus in Potsdam Babelsberg.
The Leibnizhaus on the AIP campus in Potsdam Babelsberg.*

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 und vom Bund institutionell gefördert.

The Leibniz Institute for Astrophysics Potsdam (AIP) is a foundation according to the civil law of the state of Brandenburg and is a member of the Leibniz Association. AIP is funded institutionally by the state of Brandenburg and by the federal German government.

GREMIEN UND ORGANE COMMITTEES AND STATUTORY BODIES

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 implements its decisions. The Executive Board accomplishes all tasks that are not explicitly assigned to other supervisory bodies.

INSTITUTSLEITUNG INSTITUTE MANAGEMENT

Prof. Dr. Matthias Steinmetz

Wissenschaftlicher Vorstand und Vorsitzender des Vorstands
Scientific Member and Chairman of the Board

Direktor Forschungsbereich: Extragalaktische Astrophysik
Director Research Branch: Extragalactic Astrophysics

Wolfram Rosenbach

Administrativer Vorstand
Administrative Member of the Board

Direktor Verwaltung
Director Administration

Prof. Dr. Klaus G. Strassmeier

Direktor Forschungsbereich: Kosmische Magnetfelder
Director Research Branch: Cosmic Magnetic Fields

KURATORIUM

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

BOARD OF TRUSTEES

The Board of Trustees decides on the general research objectives and the important political and financial affairs of the foundation. It directs the Executive Board in its important political and financial affairs. The Board of Trustees also reviews the legality, appropriateness, and efficiency of the management of the Executive Board.

Dr. Inge Schlotzhauer

Vorsitzende / Chair

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

Eckart Lilienthal

Stellvertretender Vorsitzender / Vice Chair

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Federal Ministry of Education and Research

Prof. Oliver Günther, PhD

Präsident der Universität Potsdam
President of the University of Potsdam

Prof. Dr. Ralf Bender

Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching
Universitäts-Sternwarte, Ludwig-Maximilians-Universität,
München
Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching
University-Observatory, Ludwig-Maximilians-University,
Munich

GREMIEN UND ORGANE COMMITTEES AND STATUTORY BODIES

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT

Der aus externen Mitgliedern bestehende Wissenschaftliche Beirat berät die Stiftung in allen wissenschaftlichen und fachübergreifenden Fragen. Der Wissenschaftliche Beirat bewertet die wissenschaftlichen Ergebnisse und nimmt zu den Entwürfen der Forschungs- und Entwicklungsprogramme Stellung. Er unterstützt bei der Gewinnung von Leitungspersonal und berät bei wichtigen Entscheidungen zur Weiterentwicklung der Einrichtung.

SCIENCE ADVISORY BOARD

Comprised of external members, the Science Advisory Board advises the foundation on all scientific and interdisciplinary issues. The Science Advisory Board evaluates the scientific results of the foundation and comments on the drafts of the research and development programmes. It supports in attracting upper management staff and in regard to decisions on the institute's further development.

Prof. Dr. Ralf Bender

Vorsitzender / Chair

Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching
Universitäts-Sternwarte, Ludwig-Maximilians-Universität,
München

Prof. Dr. Sami K. Solanki

Stellvertretender Vorsitzender / Vice Chair

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen

Prof. Dr. Natalie Batalha

Department of Astronomy & Astrophysics, UC Santa Cruz, USA

Prof. Dr. Marcus Brüggen

Hamburger Sternwarte, Universität Hamburg

Prof. Dr. Sarbani Basu

Department of Astronomy, Yale University, USA

Prof. Dr. Andrey Kravtsov

Department of Astronomy and Astrophysics,
The University of Chicago, USA

Dr. Juna A. Kollmeier

Canadian Institute for Theoretical Astrophysics,
Toronto, Canada

Prof. Dr. Astrid Veronig

Karl-Franzens-Universität Graz, Österreich

BETRIEBSRAT

Der Betriebsrat des AIP unterstützt und vermittelt die Anliegen der Mitarbeitenden gegenüber dem Vorstand.

WORKS COUNCIL

The AIP Works Council supports and conveys the concerns of employees to the Executive Board.

**Katrin Böhrs, Linda Henkel, Robert Hermsdorf,
Dr. Noam Libeskind, Ronny Nickel, Dr. Kristin Riebe,
Dr. Daniel Sablowski, Dr. Ole Streicher,
Dr. Christian Vocks**

GLEICHSTELLUNGSBEAUFTRAGTE

Die Gleichstellungsbeauftragte ist Ansprechperson für alle Themen rund um die Gleichstellung und die Vereinbarkeit von Familie und Beruf.

GENDER EQUALITY OFFICER

The Gender Equality Officer is the contact person for all issues relating to equality and the compatibility of family and career.

Dr. Ulrike Lemke

Gleichstellungsbeauftragte / Gender Equality Officer

Hillene Ites

Stellvertreterin / Deputy

INTERNES WISSENSCHAFTLICHES KOMITEE

Das Interne Wissenschaftliche Komitee wird von den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts gewählt und ermöglicht deren Mitwirkung an der wissenschaftlichen Planung und Entwicklung des AIP.

INTERNAL SCIENTIFIC COMMITTEE

The Internal Scientific Committee is elected by AIP scientists and facilitates their participation in the scientific planning and development of the institute.

**Dr. Julián Alvarado-Gómez, Dr. Sydney Barnes,
Dr. John Davenport, Dr. Ekaterina Dineva, Nikoleta Ilic,
Dr. Iris Traulsen, Dr. Tanya Urrutia, Dr. Meetu Verma**

**KURATORIUM
BOARD OF TRUSTEES**

Dr. Inge Schlotzhauer (Vorsitzende/Chair)
Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg
Eckart Lilienthal (Stv. Vorsitzender/Vice Chair)
Bundesministerium für Bildung und Forschung

**WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT
SCIENCE ADVISORY BOARD**

Prof. Dr. Ralf Bender (Vorsitzender/Chair)
Prof. Dr. Sami Solanki (Stv. Vorsitzender/Vice Chair)

INSTITUTSLEITUNG INSTITUTE MANAGEMENT

**VORSTAND
EXECUTIVE BOARD**

Prof. Dr. Matthias Steinmetz (Sprecher/Chair)
Wolfram Rosenbach

**KOSMISCHE MAGNETFELDER
COSMIC MAGNETIC FIELDS**

Prof. Dr. Klaus Strassmeier

**Magnetohydrodynamik und Turbulenz
Magnetohydrodynamics and Turbulence**

Dr. Oliver Gressel

**Sonnenphysik
Solar Physics**

apl.-Prof. Dr. Carsten Denker

**Sternphysik und Exoplaneten
Stellar Physics and Exoplanets**

Prof. Dr. Katja Poppenhäger

**Sternaktivität
Stellar Activity**

Dr. Sydney Barnes

**EXTRAGALAKTISCHE ASTROPHYSIK
EXTRAGALACTIC ASTROPHYSICS**

Prof. Dr. Matthias Steinmetz

**Milchstraße und die lokale Umgebung
Milky Way and the Local Volume**

Dr. Roelof de Jong

**Zwerggalaxien und der Galaktische Halo
Dwarf Galaxies and the Galactic Halo**

Prof. Dr. Maria-Rosa Cioni

**Galaxien und Quasare
Galaxies and Quasars**

Prof. Dr. Lutz Wisotzki

**Röntgenastronomie
X-ray Astronomy**

PD Dr. Axel Schwobe

**Kosmologie und Hochenergie-Astrophysik
Cosmology and High-Energy Astrophysics**

Prof. Dr. Christoph Frommer

**Kosmographie und großräumige Strukturen
Cosmography and Large-Scale Structure**

Dr. Noam Libeskind

**Teleskopsteuerung und Robotik
Telescope Control and Robotics**

Dr. Thomas Granzer

**Hochauflösende Spektroskopie und
Polarimetrie
High-resolution Spectroscopy and
Polarimetry**

Dr. Michael Weber

**ADMINISTRATION
ADMINISTRATION**

Wolfram Rosenbach

**Finanzen und Beschaffung
Finance and Procurement**

Ulrich Boyer

**Personal und Recht
Personnel and Legal Affairs**

Gernot Rosenkranz

**Haustechnik
Building Service**

Dennis Nagel

**Bauangelegenheiten
Building Supervision**

Jörg Däubel

**Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit
Public Relations**

Dr. Janine Fohlmelster

**Forschungstechnik
Technical Section**

Dr. Hakan Önel

**Projektmanagement
Project Management**

Joar Brynnel

**IT-Service
IT-Services**

Rainer Herbst

**Wissenschaftliche Bibliothek
und Dokumentationszentrum
Scientific Library and
Documentation Centre**

Regina v. Berlepsch

**Betriebsrat
Works Council**

Internes Wissenschaftliches Komitee
Internal Scientific Committee
John Davenport

**Ombudsperson für gute
wissenschaftliche Praxis
Ombudsperson for Good Scientific Practice**

Prof. Dr. Katja Poppenhäger

**Gleichstellung
Gender Equality**

Dr. Ulrike Lemke

**Inklusion
Inclusion**

Melanie Dautz

**Datenschutz
Data Protection**

Dr. Harry Enke

**IT Sicherheit
IT Security**

Mario Dionies

Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP)
An der Sternwarte 16
14482 Potsdam

info@aip.de
+49 331 7499-0
www.aip.de

Stand September 2022



Leibniz-Institut für
Astrophysik Potsdam

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.

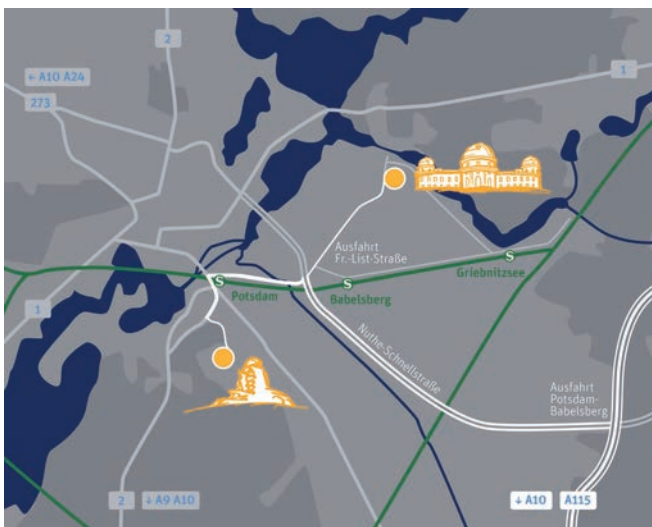
Mit dem Auto: Ab Berlin und Umgebung über die A115 bis zur Abfahrt „Potsdam Babelsberg“ fahren; auf der Nuthe-Schnellstraße bleiben bis zur Ausfahrt „Friedrich-List-Straße“. Der Straße „Alt Nowawes“ geradeaus folgen, bergauf, bis zur Rechten die Einfahrt zum AIP zu sehen ist.

Nächster Flughafen: Berlin Brandenburg BER

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. Er verkehrt nur wochentags zu Stoßzeiten.

Mit dem Auto: Ab Berlin und Umgebung: Die A115 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 fahren und dann der Albert-Einstein-Straße bis zum Eingang des Wissenschaftsparks folgen. Das Auto bitte vor dem Gelände des Wissenschaftsparks parken.



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

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. Search for the most convenient train and bus connection on www.bvg.de.

By car: Drivers from Berlin and the surrounding area can best reach the Babelsberg campus from the A115 motorway, exit “Potsdam Babelsberg”. From there, follow the “Nuthe-Schnellstraße” expressway until you reach exit “Friedrich-List-Straße”. Turn right and follow the road “Alt Nowawes” straight uphill until you see the AIP entrance on the right-hand side.

Nearest airport: Berlin Brandenburg BER

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 at peak times on weekdays.

By car: Drivers from Berlin and the surrounding area can best reach Telegrafenberg from the A115 motorway, exit “Potsdam Babelsberg”. From the “Nuthe-Schnellstraße” expressway take Friedrich-Engels-Straße towards Potsdam main station. Turn onto Brauhausweg and follow Albert-Einstein-Straße until you reach “Wissenschaftspark Albert Einstein”. Park near the gate at the side of the road.



Forschungscampus Potsdam Babelsberg.
Research campus in Potsdam Babelsberg.

**IMPRESSUM
IMPRINT**

Biennial Report 2020 – 2021

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, Sarah Hönig,
Kristin Riebe, Susann Stehfest

Teamfotos

Thomas Spikermann

Bilder ohne Credits-Angabe

AIP

Gestaltung

VOGELHAUS Büro für Gestaltung, Potsdam

Auflage

500 Exemplare

ISSN

2367-3664

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

An der Sternwarte 16
14482 Potsdam
+49 331 7499-0

www.aip.de