

Heidelberg

Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg (ZAH)

Prof. Dr. Joachim Wambsganz
- Geschäftsführender Direktor des ZAH -
c/o Astronomisches Rechen-Institut
Mönchhofstr. 12-14
69120 Heidelberg
-
www.zah.uni-heidelberg.de
Tel.: +49-(0)6221-54-1801
E-Mail: info@zah.uni-heidelberg.de
Fax: +49-(0)6221-54-4221

Anschriften der Institute des ZAH

Astronomisches Rechen-Institut (ARI), Mönchhofstr. 12-14, 69120 Heidelberg
Tel.: +49-(0)6221-54-1801 E-Mail: egrauer@ari.uni-heidelberg.de

Institut für Theoretische Astrophysik (ITA), Albert-Ueberle-Str. 2, 69120 Heidelberg
Tel.: +49-(0)6221-54-4837 E-Mail: ita-verwaltung@zah.uni-heidelberg.de

Landessternwarte Königstuhl (LSW), Königstuhl 12, 69117 Heidelberg
Tel.: +49-(0)6221-54-1700 E-Mail: d.mueller-wolkenstein@lsw.uni-heidelberg.de

0 Allgemeines

Das Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg (ZAH) ist die größte Forschungseinrichtung für Astronomie und Astrophysik an einer deutschen Universität. Das ZAH bündelt die Einrichtungen Astronomisches Rechen-Institut (ARI), Institut für Theoretische Astrophysik (ITA) und Landessternwarte Königstuhl (LSW). Diese drei Institute sind auf drei Standorte im Stadtgebiet von Heidelberg verteilt.

Das ZAH beteiligt sich an der strukturierten Förderung junger Wissenschaftler:innen, z.B. über die Heidelberger „Graduate School for Physics (HGSFP)“ oder die „International Max Planck Research School for Astronomy and Cosmic Physics (IMPRS)“. Talentierte Nachwuchswissenschaftler:innen bietet das ZAH die Möglichkeit, eine eigene Forschungsgruppe aufzubauen und sich von Heidelberg aus international wissenschaftlich zu etablieren. Ergänzend ermöglichen Förderprogramme wie die „Gliese-Fellowship“ aussichtsreichen jungen Forscher:innen mehrjährige Forschungsaufenthalte am ZAH.

Forscher:innen des ZAH untersuchen die Entstehung von Planeten, Sternen, Galaxien und großen Strukturen im Universum, die Entwicklung von Sternen und Galaxien, suchen und entdecken extrasolare Planeten, konstruieren und bauen Messinstrumente für Teleskope und beteiligen sich an Entwicklung und Betrieb astronomischer Forschungssatelliten.

Die Ausbildung von Physiker:innen wird von der Fakultät für Physik und Astronomie der Universität Heidelberg gebündelt. In diesem Rahmen bietet das ZAH ein umfangreiches Ausbildungsprogramm für die astronomische und astrophysikalische Ausprägung des Heidelberger Physikstudiums im Bachelor- und Master-Programm sowie im Promotionsstudiengang Astronomie an. Schwerpunkte sind die beobachtende Astronomie, die theoretische Astrophysik und numerische Simulationen astrophysikalischer Vorgänge. Darüber hinaus unterstützt das ZAH die astronomische Öffentlichkeitsarbeit im „Haus der Astronomie“ auf dem Königstuhl personell und mit fachlicher Expertise im Rahmen von Vorträgen und öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen.

1 Personal und Ausstattung

1.1 Personalstand (Stand zum 31.12.2024)

Direktor:innen und Professor:innen: 10 (davon 2 am HITS¹)

Prof. Dr. Norbert Christlieb (LSW); Prof. Dr. Cornelis Dullemond (ITA); Prof. Dr. Eva Grebel (ARI); Prof. Dr. Ir. Saskia Hekker (HITS/LSW); Prof. Dr. Ralf Klessen (ITA); Prof. Dr. Michela Mapelli (ITA); Prof. Dr. Andres Quirrenbach (LSW); Prof. Dr. Fritz Röpke (HITS/ITA); Prof. Dr. Björn Malte Schäfer (ARI); Prof. Dr. Joachim Wambsgänk (ARI)

Wissenschaftliche Mitarbeiter: 62

Nachwuchsgruppenleiter:innen: 7

Dr. Melanie Chevance (ITA), Dr. Kathryn Kreckel (ARI), Dr. Dylan Nelson (ITA), Dr. Nicole Reindl (LSW), Dr. Andreas Sander (ARI), Dr. Fabian Schneider (HITS), Dr. Dominika Wylezalek (ARI)

Promovierende: 51

Bachelor-/Masterstudierende: 13/28

Sekretariat und Verwaltung: 11

Technische Mitarbeiter:innen: 10

1.2 Auszeichnungen und Ehrungen

Eva Grebel (ZAH/ARI) erhielt den Lehrpreis für die beste Vorlesung des Sommersemesters 2024 von der Fakultät für Physik und Astronomie der Universität Heidelberg. Sie wurde für ihren Master-Kernkurs „Galaktische und extragalaktische Astronomie“ ausgezeichnet, den die Studierenden inhaltlich und qualitativ als herausragend bewerteten. (6.12.2024)

Brooke Polak (ZAH/ITA) und Jose Eduardo Mendez-Delgado (/ZAH/ARI) wurden mit dem Ernst-Patzer-Preis 2024 ausgezeichnet. Die Ernst Patzer Stiftung vergibt jährlich bis zu drei Preise für die besten referierten Publikationen von Doktorand:innen und jungen Postdocs am Max-Planck-Institut für Astronomie und am ZAH. Brooke Polak erhielt den Preis für Ihre Veröffentlichung zu „Massive star cluster formation II. Runaway stars as fossils of subcluster mergers, 2024, *Astronomy & Astrophysics* 690, A207“, Jose Eduardo Mendez-Delgado für „Gas-phase Fe/O and Fe/N abundances in Star-Forming Regions: Relations between nucleosynthesis, metallicity and dust, 2024, *Astronomy & Astrophysics*“. (30.11.2024)

Dominika Wylezalek, Leiterin einer Emmy Noether-Nachwuchsgruppe am Astronomischen Rechen-Institut (ARI), wurde mit dem Klaus-Georg und Sigrid Hengstberger-Preis ausgezeichnet. Dieser Preis ermöglicht jährlich bis zu drei jungen Wissenschaftler:innen der Universität Heidelberg die Organisation eines eigenen Symposiums. Dominika Wylezalek

¹Anschrift: HITS gGmbH, Heidelberger Institut für Theoretische Studien, Schloss-Wolfsbrunnenweg 35, 69118 Heidelberg

wird den Preis für die Organisation eines wissenschaftlichen Symposiums beim Heidelberg International Science Forum (IWH) zum Thema „Quo Vadis Galaxy Evolution: Wie Galaxien entstehen und sich entwickeln“ (30. Juni bis 4. Juli 2025) nutzen. Dr. Wylezalek nahm den Preis feierlich von Prof. Dr. Frauke Melchior, Rektorin der Universität Heidelberg, im Rahmen der Jahresfeier der Universität am 19. Oktober 2024 entgegen. (19.10.2024)

Am 22. Juni nahm die Junge Akademie im Rahmen ihrer Jahresfeier zehn junge Wissenschaftler:innen als neue Mitglieder auf, darunter auch Dominika Wylezalek (ZAH/ARI). Die Junge Akademie wurde im Jahr 2000 als erste Akademie für herausragende Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler gegründet. Ihre Mitglieder kommen aus allen wissenschaftlichen Disziplinen und den Künsten. Sie erforschen die Potenziale und Grenzen interdisziplinärer Arbeit und wollen den Dialog zwischen Wissenschaft, Kunst und Gesellschaft anstoßen und Impulse für wissenschaftspolitische Diskussionen setzen. Träger sind die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (BBAW) und die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina. (24.06.2024)

Für seine Verdienste um die deutsch-polnische Zusammenarbeit in der Astrophysik wurde Joachim Wambsgank (ZAH/ARI), Direktor am Astronomischen Rechen-Institut, mit dem Copernicus-Preis 2024 ausgezeichnet. Gemeinsam mit ihm wurde sein Forscherkollege Andrzej Udalski von der Universität Warschau (Polen) geehrt. Die Auszeichnung wird alle zwei Jahre gemeinsam von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der Stiftung für die polnische Wissenschaft (FNP) an zwei Forscherpersönlichkeiten aus Deutschland und Polen verliehen. (22.05.2024)

Ralf Klessen (ZAH/ITA) wurde als Fellow des Harvard Radcliffe Instituts (USA) für das akademische Jahr 2024-2025 ausgewählt. Dieses Fellowship bietet ihm die seltene Gelegenheit, ehrgeizige Projekte in der einzigartigen Umgebung dieses weltweit renommierten Instituts intensiv zu verfolgen. Jede Fellowship-Klasse setzt sich aus einigen der herausragendsten zeitgenössischen Wissenschaftler:innen in den Geistes-, Natur-, Sozial- und Kunstwissenschaften sowie Schriftstellern, Journalisten, Dramatikern und anderen angesehenen Fachleuten zusammen. Für das akademische Jahr 24/25 nahm Radcliffe insgesamt 53 Bewerber:innen an. (13.05.2024)

Anna Pasquali (ZAH/ARI) wurde zum zweiten Mal mit dem Lehrpreis der Fakultät für Physik und Astronomie der Universität Heidelberg ausgezeichnet. Sie erhielt den Preis für ihre Leistungen in ihrer Vorlesung „Astronomical Techniques“, die von den Studierenden als herausragend bewertet wurden. Es war bereits das zweite Mal, dass ihr diese Auszeichnung verliehen wurde, nachdem sie den Preis bereits 2019 für ihr stetiges Engagement in den Tutorien der Experimentalphysik und im Master-Grundstudium erhalten hatte. (24.04.2024)

Dominika Wylezalek (ZAH/ARI) wurde mit dem Heinz Maier-Leibnitz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) ausgezeichnet. Gewürdigt werden damit ihre Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Galaxien und der Frage, welche Rolle supermassereiche Schwarze Löcher in ihren Zentren dabei spielen. Der Preis ist die wichtigste Auszeichnung in Deutschland für Forscherinnen und Forscher in frühen Karrierephasen. (25.03.2025)

Dylan Nelson (ZAH/ITA) ist einer von zwölf Wissenschaftler:innen der Universität Heidelberg, die in der Anfang 2024 veröffentlichten Liste der „Highly Cited Researchers 2023“ vertreten sind. Die internationale Auswertung „Highly Cited Researchers“ listet Forscher auf, deren Publikationen in ihrem jeweiligen Fachgebiet weltweit am häufigsten zitiert wurden oder die über mehrere Disziplinen hinweg herausragende Publikationsleistungen erbracht haben. Für Deutschland sind insgesamt 14 Forscher:innen im Bereich „Weltraumwissenschaften“ gelistet, darunter auch Dylan Nelson. Er ist Emmy-Noether-Forschungsgruppenleiter am Institut für Theoretische Astrophysik (ITA) des ZAH. (8.01.2024)

1.3 Instrumente und Rechenanlagen

Waltz-Teleskop der Landessternwarte

Das Waltz-Teleskop nahm 1906 seinen Betrieb auf. Es wurde seinerzeit von der Familie Waltz finanziert und war das erste große Spiegelteleskop, dessen Optik von Carl Zeiss Jena gebaut wurde. Der Durchmesser des Hauptspiegels beträgt 72 cm. Um die Astronomie-Ausbildung auch in experimenteller Hinsicht zu ermöglichen wurde in den vergangenen Jahren ein hochauflösender Echelle-Spektrograph für den Nasmyth-Fokus des Waltz-Teleskops entwickelt und gebaut. Zudem wurden viele Komponenten erstmals motorisiert (Teleskop, Dom, Kuppelspalt) sowie ein Frontend mit Iodzelle und Guide-Kamera installiert. Die komplexe Datenreduktions-Software wurde weiter verbessert, so dass inzwischen routinemässige Messungen der Radialgeschwindigkeit mit einer Genauigkeit von 2-4 m/s für Sterne heller als 6 mag möglich sind.

70cm-Teleskop der Landessternwarte

Bei diesem Instrument handelt es sich um ein Cassegrain-Teleskop mit einem Hauptspiegeldurchmesser von 70 cm bei einer Brennweite 560 cm (f:8). Das Teleskop wurde in der Werkstatt der Landessternwarte gebaut und 1988 erstmals in Betrieb genommen. Aktuell wird es nach umfangreicher Modernisierung im Rahmen des astrophysikalischen Praktikums eingesetzt, um Teilnehmenden die grundlegenden Prinzipien der Photometrie mittels einer CCD-Kamera (Feldgröße 8' x 5'.3) und photometrischer Farbfilter zu vermitteln.

SkyPole an der Landessternwarte

Am 14. Oktober 2023 wurde an der Landessternwarte der sogenannte „SkyPole“ eröffnet. Der Bau der Anlage wurde durch eine großzügige Förderung der Klaus-Tschira-Stiftung (KTS) ermöglicht. Es handelt sich dabei um ein Gerät, mit dessen Hilfe Himmelskörper in der Nacht, in der Dämmerung und ggf. sogar am Tag ohne weitere Hilfsmittel gefunden werden können. Die künstlerisch-architektonische Installation besteht dabei aus einem großen Mast, der von einer kreisförmigen Geländeﬂäche umgeben ist, in die gleichmäßig angeordnet leuchtende Bodenmarkierungen mit Koordinatenangaben eingebettet sind. Um ausgewählte Objekte wie Sternbilder, Planeten oder Himmelserscheinungen aufzufinden, muss man sich auf eine zuvor mit einer App oder einem wetterfest installierten Computer berechnete Bodenmarkierung stellen und über eine der Markierungen auf dem SkyPole auf die Position am Himmel peilen. Das Erkunden des Nachthimmels wird so auch zu einem gemeinsamen Erlebnis der ganz besonderen Art. Nähere Infos zum SkyPole finden sich unter <https://www.skypole.de>.

Rechenanlagen

Wichtigste Rechenressource sind die landes- und bundesweiten Cluster auf den HPC-Tiers 0-3, auf denen ZAH-Wissenschaftler Rechenzeit beantragen können. Daneben nutzen einige Einzelprojekte dedizierte Rechner für Aufgaben, die in massiv-parallelen Clustern schlecht abbilden lassen. Dazu gehören u.a. sechs AMD-Threadripper-Maschinen mit besonders hoher Single-Core-Leistung, zwei Maschinen mit modernen Ada-GPUs für Experimente mit ML-Methoden sowie vier schnelle Datenbankserver mit je bis zu 1.5 TB RAM und 180 TB SSD-Speicher für die Gaia-, JASMINE- und Spacecraft Digital Twin-Projekte. Weiterhin werden am ZAH je ein Storage- und ein Datenbank-Server für das Heidelberger GAVO-Datenzentrum betrieben. Für den allgemeinen Betrieb gibt es zuletzt einen Virtualisierungs-Cluster und einen Ceph-Storage-Cluster.

2 Wissenschaftliche Arbeiten

Die astrophysikalische Forschung am ZAH deckt ein breites Spektrum in Theorie und Beobachtung ab, das von Exoplaneten und nahegelegenen Sternen über die Milchstraße, externe Galaxien und Quasare bis hin zur Mikrowellenhintergrundstrahlung reicht. Das ZAH ist auch an der Entwicklung und dem Bau von Instrumenten sowie der Entwicklung

spezieller Hard- und Software beteiligt. Die Forschung am ZAH ist hauptsächlich in Forschungsgruppen organisiert und konzentriert. Zwei Forschungsgruppen sind am ZAH und dem Heidelberger Institut für Theoretische Studien (HITS) tätig. Im Folgenden sind die wichtigsten Gruppen und teilweise ihre in 2023 erzielten Forschungsergebnisse beschrieben. Einen vollständigen Überblick der Forschungsleistung geben die referierten wissenschaftlichen Publikationen. Es wurde die englische Bezeichnung der Arbeitsgruppen beibehalten.

2.1 Galactic Archaeology (Norbert Christlieb/Hans-Günter Ludwig)

Die Gruppe für Galaktische Archäologie an der Landessternwarte Heidelberg beschäftigt sich mit der Suche nach den metallärmsten und damit ältesten Sternen der Milchstraße und der Bestimmung ihrer chemischen Häufigkeitsmuster. Diese Sterne sind wichtige Instrumente für das Studium beispielsweise der Entstehung und chemischen Entwicklung der Galaxie, der Eigenschaften (z. B. Masse, Rotation) der ersten Generation massereicher Sterne, die als Supernovae vom Typ II explodierten, und der in ihnen stattfindenden Nukleosyntheseprozesse. Die Gruppe hat eine führende Rolle in der großflächigen Himmelsdurchmusterung, die voraussichtlich ab Frühjahr 2026 mit dem 4MOST-Multi-Objekt-Spektrografen am 4m-VISTA-Teleskop der ESO in Chile durchgeführt werden wird. Der hochauflösende Spektrograf dieses Instruments wurde an der LSW konstruiert und gebaut.

2.2 Planet Formation (Cornelis Dullemond)

Die Gruppe untersucht, wie Planeten und Exoplaneten aus kosmischem Staub in protoplanetaren Scheiben entstehen. Dies geschieht mithilfe numerischer Modelle, wobei der Schwerpunkt auf der Struktur, der Entstehung und der Entwicklung von Planetengeburtsorten (protoplanetaren Scheiben), der Koagulation, Fragmentierung und Bewegung von Staubbaggern in diesen Scheiben, der Entstehung von Planetesimalen (d. h. 1-100 km großen Körpern wie Kometen und Asteroiden), dem unkontrollierten und oligarchischen Wachstum von Planetenembryonen aus Schwärmen von Planetesimalen und den N-Körper-Wechselwirkungen zwischen neu entstandenen Planeten liegt. Darüber hinaus werden Methoden und Codes für den mehrdimensionalen Strahlungstransport entwickelt, die in zirkumstellarer und interstellarer Materie eingesetzt werden können.

2.3 Galaxy Evolution (Eva Grebel)

Diese Gruppe untersucht hauptsächlich anhand von Sternpopulationsstudien, wie sich Galaxien bilden und entwickeln. Besondere Forschungsschwerpunkte sind Zwerggalaxien, die Milchstraße und Sternhaufen. Chemische und kinematische Untersuchungen von RR Lyrae-Sternen im äußeren Halo der Milchstraße (< 165 kpc) zeigen, dass viele dieser Objekte akkretiert wurden und sie zum Teil ihren Ursprung in massereichen Satelliten wie der Großen Magellanschen Wolke und Sagittarius haben (Medina, Grebel). Die im Rahmen des nun abgeschlossenen SFB 881 begonnenen Studien der Spiralarmstruktur und des “Warps” der Milchstraßenscheibe mittels Cepheiden (Grebel, Dékány, Lemasle) wurden fortgesetzt und mit dynamischen Untersuchungen verbunden (Dehnen). Potential-Dichtemodelle für Balkenspiralen und Methoden zur Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit von Balken wurden entwickelt (Dehnen, Aly).

Eigenschaften von Zwerggalaxien in Wechselwirkung mit massereichen Galaxien in der Lokalen Gruppe, im Virgo-Haufen und anderen zentralen Galaxien im nahen Universum wurden anhand von Beobachtungen und TNG50-Simulationen untersucht und der Einfluss auf den Gasgehalt, die Sternentstehungsgeschichten und Zeitpunkt des Einfalls quantifiziert (Grebel, Pasquali, Bidaran, Engler). Staudruckeffekte und Gezeitenwechselwirkungen sind die Haupttreiber bei der Entwicklung einfallender Satelliten. Zudem wurden Akkretionssignaturen und diffuse Halos massereicher Galaxien detektiert und ihre Populationseigenschaften erforscht (Jackson, Pasquali, Grebel, Koch-Hansen).

Einfall entlang großräumiger Filamente spielt eine Schlüsselrolle beim Wachstum von Galaxienhaufen und ihrer dominanten Galaxien (Pasquali, Jackson). Die Mehrheit der massereichen Frühtypgalaxien (in erster Linie elliptische Galaxien) zeigen α -Elementanreicherung

und keine Entwicklung des $[\alpha/\text{Fe}]$ -Verhältnisses während der letzten 6.5 Milliarden Jahre (Pasquali). Die massereichsten elliptischen Galaxien bildeten innerhalb kurzer Zeit den Großteil ihrer Sternmasse bereits vor 9 Milliarden Jahren mit supersolaren Häufigkeiten und zeigen seitdem keine nennenswerte weitere Änderung des Metallgehalts mehr, während masseärmere elliptische Galaxien vielfach mehr Entwicklung und Sternentstehungsaktivität in den vergangenen 9 Milliarden Jahren aufweisen (Pasquali).

2.4 Theory and Observations of Stars at HITS and LSW (Saskia Hekker)

Sterne sind eine wichtige Quelle elektromagnetischer Strahlung im Universum, mit der viele Phänomene untersucht werden können, von fernen Galaxien über das interstellare Medium bis hin zu Exoplaneten. Aufgrund ihrer Undurchsichtigkeit sagte einst Sir Arthur Eddington 1926, dass „auf den ersten Blick das tiefe Innere der Sonne und der Sterne für wissenschaftliche Untersuchungen weniger zugänglich zu sein scheint, als jede andere Region des Universums“ („at first sight it would seem that the deep interior of the Sun and stars is less accessible to scientific investigation than any other region of the universe“). Durch moderne mathematische Methoden und die Menge und Qualität verfügbarer Daten ist es nun jedoch trotzdem möglich geworden, die innere Sternstruktur direkt durch Sternschwingungen zu erforschen: eine Methode, die als Asteroseismologie bekannt ist. Hierzu werden die Eigenschaften von Wellen verwendet, um Rückschlüsse auf die innere Beschaffenheit von Sternen zu ziehen. Schwingungen, die auf den ganzen Stern einwirken, enthüllen so Informationen, die durch die undurchsichtige Oberfläche normalerweise verborgen sind. Diese asteroseismischen Informationen der Weltraumobservatorien wie CoRoT, Kepler, K2, TESS, SONG und Plato kombiniert mit astrometrischen Beobachtungen von Gaia, spektroskopischen Daten von SDSS-V APOGEE, Interferometrie, Photometrie und hochmodernen Sternmodellen wie MESA, geben Einblicke in die Sternstruktur und die physikalischen Prozesse, die in Sternen ablaufen.

Das Ziel der Theory and Observations of Stars (TOS) Forschungsgruppe am HITS ist die Untersuchung dieser physikalischen Prozesse, die in Sternen ablaufen, und wie sich diese in Abhängigkeit von der Sternentwicklung verändern. Die Gruppe konzentriert sich hierbei unter anderem auf sogenannte Hauptreihen-Sterne geringer Masse, „Unterriesen“ und rote Riesensterne. Diese Sterne sind deshalb interessant, weil sich ihre innere Struktur schnell ändert. Da sie potenziell von Planeten umgeben und kosmologische „Standardkerzen“ für Galaxienstudien sind, können sowohl die Exoplanetenforschung als auch die Galaxien-Archäologie vom wachsenden Verständnis dieser Sterne profitieren.

2.5 Star Formation (Ralf Klessen)

Diese Gruppe beschäftigt sich mit verschiedenen Aspekten der Sternentstehung in der Galaxis sowie im frühen Universum. Interstellare Turbulenz und die Entstehung und Entwicklung von Molekülwolken werden ebenso untersucht wie die dynamische Entwicklung der Milchstraße und ihrer Satellitengalaxien. Da diese Forschung stark auf Computersimulationen beruht, arbeitet die Gruppe auch an der Entwicklung und Verbesserung numerischer Methoden für die Astrophysik.

Beobachtung von polarisiertem Licht, das von ausgerichteten interstellaren Staubkörnern ausgeht, erlaubt es, die Ausrichtung des Galaktischen Magnetfelds zu untersuchen. Die genauen physikalischen Prozesse, die zu einer kohärenten großräumigen Kornausrichtung führen, sind jedoch nicht vollständig erforscht. Auf mikroskopischer Ebene wurden daher verschiedene Mechanismen untersucht, die zur Ausrichtung fraktaler Staubkörner und anschließend zur Staubpolarisierung führen (Reissl).

Ein neu entwickeltes Deep-Learning-Tool wurde entwickelt, das Sternparameter wie die effektive Temperatur, die Oberflächengravitation oder Extinktion junger massearmer Sterne schätzt, indem es theoretische Sternatmosphärenmodelle mit einem invertierbaren neuronalen Netzwerk (cINN) verbindet. Die Gruppe konnte zeigen, dass die cINNs die betrachteten Sternparameter über einen weiten Bereich von Spektraltypen mit hoher Zuverlässigkeit ableiten können (Kang, Ksoll).

Die erste Generation von Sternen, oft Population III, genannt, entsteht aus metallfreiem Urgas bei Rotverschiebungen $z \sim 30$ und darunter. Sie dominiert die kosmische Sternentstehungsgeschichte bis $z \sim 15$ -20. In einem Review-Artikel wurden aktuelle theoretische Modelle zur Entstehung, den Eigenschaften und der Auswirkung von Pop-III-Sternen zusammengefasst und mit Beobachtungsdaten verknüpft. Unter extremen Bedingungen können sich supermassive Pop-III-Sterne bilden, die Massen von mehreren $10^5 M_\odot$ erreichen. Ihre Überreste könnten die Keime der supermassiven Schwarzen Löcher sein, die in Quasaren mit hoher Rotverschiebung beobachtet werden (Klessen, Glover).

2.6 Gravitational Wave Astrophysics (Michela Mapelli)

Der erste direkte Nachweis von Gravitationswellen im Jahr 2015 hatte neue Perspektiven für die Untersuchung kompakter Objekte und ihrer Vorläufersterne eröffnet. Diesbezüglich betreibt diese Gruppe Astrophysik mit Gravitationswellenquellen. Sie untersucht die Entstehung (binärer) kompakter Objekte mithilfe astrophysikalischer Modelle und validiert diese anhand von Gravitationswellendaten. Was sind die Endprodukte der Entwicklung von Doppelsternen? Können wir aus hierarchischen Ketten von Verschmelzungen kompakter Objekte in Sternhaufen massive schwarze Löcher bilden? Dies sind nur einige der wichtigsten offenen Fragen, die mit numerischen Modellen der Entwicklung von Doppelsternen und der Dynamik von Sternhaufen beantwortet werden sollen. Die Ergebnisse werden sowohl mit elektromagnetischen als auch mit Gravitationswellendaten verglichen, um Vorhersagen für zukünftige Detektoren wie dem „Einstein-Teleskop“ zu treffen.

2.7 Instrumentation (Andreas Quirrenbach)

Die Gruppe arbeitet derzeit an verschiedenen Instrumentierungsprojekten. Für den Spektrographen CARMENES, installiert und betrieben am Calar Alto 3.5m Teleskop, werden nach wie vor konstruktive Updates gefertigt sowie die regelmäßige Wartung durchgeführt. Der am ESO 4m VISTA Teleskop zu installierende Spektrograph 4MOST, bei dem die Landessternwarte für die hochauflösende Komponente und die Bediensoftware verantwortlich zeichnet, ist nahezu fertiggestellt. CUBES, vorgesehen für das ESO VLT, befindet sich auf dem Weg zum final design review. Für den 2nd Earth Spektrographen, vorgesehen für das 2.2m Teleskop auf La Silla, wurde mit dem detaillierten Design der Optik und Mechanik begonnen. Auch für den hochauflösenden ANDES Spektrographen, der am ESO 39m ELT installiert werden soll, wurde am preliminary design der Optik für den K-band Spektrographen gearbeitet. Für MOSAIC, der ebenfalls am ESO 39m ELT betrieben werden soll, wurde ebenfalls mit dem preliminary design der Optik des visuellen Spektrographen begonnen.

2.8 Exoplanets (Andreas Quirrenbach/Sabine Reffert)

Die Exoplanetengruppe der Landessternwarte konzentriert sich auf die Suche und Charakterisierung von Exoplaneten um verschiedene Sterntypen, darunter M-Zwerge und K-Riesen. Dazu wird hauptsächlich Dopplerspektroskopie verwendet, aber auch andere Methoden wie Transit-Photometrie, direkte Bildgebung und Astrometrie werden für die Suche nach Planeten und ihre Charakterisierung eingesetzt.

Ziel dieser Untersuchungen ist es u.a., die Rolle der Sternmasse auf die Planeteneigenschaften und die Planetenhäufigkeit allgemein zu untersuchen. Dazu wurden die Beobachtungen mit Carmanes, Song, Waltz und anderen Teleskopen auf der ganzen Welt fortgesetzt. Sowohl K-Riesen als auch M-Zwerge stellen besondere Ansprüche an die Interpretation ihrer Radialgeschwindigkeiten, weil neben einem umlaufenden Planeten auch interne stellare Prozesse die Radialgeschwindigkeit beeinflussen können. Für einen K-Riesen konnte erstmals gezeigt werden, dass nichtradiale Pulsationen die Radialgeschwindigkeitsvariationen verursachen.

Einen weiteren Fokus der Exoplaneten-Gruppe stellen Mehrfach-Planetensysteme dar. Dynamische Simulationen der gravitativen Wechselwirkungen können oftmals die genaue System-Architektur besser bestimmen, als das für einzelne Planeten der Fall ist. Einen

Spezialfall der dynamisch untersuchten Systeme bildet die Gruppe der Planeten, die sich durch Verschiebungen ihrer Transitzeiten bemerkbar machen. Diese dynamischen Analysen helfen dabei, besser zu verstehen, wie Planetensysteme entstehen und sich entwickeln.

2.9 Physics of Stellar Objects (Friedrich Röpke)

Die am HITS und ZAH arbeitende Forschungsgruppe „Physics of Stellarer Objects“ versucht, die Prozesse in Sternen und bei Sternexplosionen auf der Grundlage umfangreicher numerischer Simulationen zu verstehen. Neu entwickelte numerische Techniken und die stetig wachsende Leistungsfähigkeit von Supercomputern ermöglichen eine Modellierung stellarer Objekte in beispiellosem Detail und höchster Präzision.

Ein Hauptziel ist die Modellierung der thermonuklearen Explosionen weißer Zwergsterne, die zum astronomischen Phänomen der Supernovae vom Typ Ia führen. Diese sind die Hauptquellen des Elements Eisen und haben als Entfernungssindikatoren in der Kosmologie eine wichtige Rolle gespielt, was u.a. zur spektakulären Entdeckung der beschleunigten Expansion des Universums führte. Mehrdimensionale fluiddynamische Simulationen in Kombination mit Nukleosyntheseberechnungen und Strahlungstransportmodellen liefern ein detailliertes Bild der physikalischen Prozesse in Supernovae vom Typ Ia, werden aber auch auf andere Arten kosmischer Explosionen angewendet.

Die klassische astrophysikalische Theorie beschreibt Sterne als eindimensionale Objekte im hydrostatischen Gleichgewicht. Dieser Ansatz war äußerst erfolgreich. Er erklärt, warum Sterne in unterschiedlichen Konfigurationen beobachtet werden und vermittelt ein qualitatives Verständnis der Sternentwicklung. Die vereinfachenden Annahmen begrenzen jedoch die Vorhersagekraft solcher Modelle. Mit neu entwickelten numerischen Werkzeugen untersucht die Gruppe dynamische Phasen der Sternentwicklung in dreidimensionalen Simulationen. Ihr Ziel ist es, eine neue Generation von Sternmodellen zu konstruieren, die auf einer verbesserten Beschreibung der in ihnen ablaufenden physikalischen Prozesse basiert.

2.10 Statistics and Cosmology (Bjoern Malte Schaefer)

Die Forschungsgruppe untersucht statistische Eigenschaften der großräumigen Strukturen im Universum und erforscht die Sensitivität kosmologischer Methoden wie Linseneffekte und CMB-Anisotropien zur Einschränkung kosmologischer Modelle und zur Messung kosmologischer Parameter. Die wichtigsten Werkzeuge sind die kosmische Störungstheorie zur Beschreibung von Strukturwachstumsprozessen und Statistiken wie Markov-Ketten zur Erforschung von Parameterräumen, nicht-Gaußschen Zufallsprozessen und statistischer Inferenz. Darüber hinaus untersucht die Gruppe Gezeitenwechselwirkungen von Galaxien mit der umgebenden großräumigen Struktur und arbeitet an der Beschreibung dieser Ausrichtungsprozesse in der Sprache schwacher Linseneffekte. Die Anwendungen dieser Untersuchungen erfolgt in PLANCK- und EUCLID-Projekten.

2.11 Gravitational Lensing (Joachim Wambsganz)

Als Gravitationslinsen bezeichnet man Objekte, die durch ihre Masse in der Lage sind, das von verschiedenen (Hintergrund-)Quellen wie Sternen, Galaxien oder Quasaren emittierte Licht von seiner geradlinigen Ausbreitung abzulenken. Dadurch verändern sich die Positionen dieser Quellen an der Himmelssphäre, sie werden vergrößert, in ihrer Form verzerrt oder verstärkt. Die spektakulärsten Phänomene sind Mehrfachbilder einer einzigen Hintergrundquelle. In dieser Forschungsgruppe werden u.a. mehrfach abgebildete Quasare hinsichtlich Helligkeitsänderungen, Lichtkurven, Zeitverzögerungsbestimmung und Mikrolinseneffekt untersucht. Darüber hinaus wird der Gravitationslinseneffekt genutzt, um (Exo-)Planeten um andere Sterne zu entdecken.

2.12 Virtual Observatory/eScience (Joachim Wambsganz/Markus Demleitner)

Die Astronomie ist eine extrem datenintensive Wissenschaft. Dies erfordert die Entwicklung und ständige Pflege und Verbesserung einer leistungsfähigen Infrastruktur. Das ARI leistet

hierbei einen Beitrag, indem es sich über die deutsche VO-Organisation GAVO (German Astrophysical Virtual Observatory) am internationalen Virtuellen Observatorium beteiligt. Wir betreiben ein Datenzentrum, das rund hundert Millionen Datensätze und Kataloge mit zusammen deutlich über zehn Milliarden Zeilen publiziert. Auf der Serverseite entwickeln wir DaCHS, ein Softwarepaket, das an rund 50 astronomischen Instituten weltweit für standardkonforme Datenpublikation sorgt. Wir sind ein wichtiger Teil der internationalen Kollaboration, die die Bibliothek pyVO pflegt; diese vereinfacht die Nutzung des Virtual Observatory von Python-Programmen aus erheblich. Zu den meisten Standards, die all das möglich machen, haben wir durch Text und Implementation beigetragen, insbesondere auch zum Protokollstapel von TAP und ADQL, das inzwischen die Basis der Datenpublikation von Gaia, Rubin und vieler anderer großer Astronomieprojekte ist.

Im Rahmen des PUNCH4NFDI Projekts wurden diverse open-source Datenmanagement-tools entwickelt. Darunter befinden sich u.a. ein Forum zum Austausch von Datenmanagementlösungen, sowie die Suchmaschine physics.tools für wissenschaftliche Software, deren Datenbank aus in Publikationen genannter Software erstellt wurde. Eine KI-basierte Weiterentwicklung der Suchmaschine wurde begonnen. Ebenfalls wurde die Software ELMA entwickelt, die Echtzeitdatenreihen analysieren kann und bei Abweichungen einen Alarm sendet.

2.13 Emmy Noether Research Group on Galactic Matter Cycle (Mélanie Chevance)

Die Forschungsgruppe Galaktischer Materiezyklus nutzt modernste Multiwellenlängenbeobachtungen, um die Massen- und Energieflüsse innerhalb von Galaxien zu charakterisieren und zu bestimmen, wie Gas in Sterne umgewandelt wird und wie Sterne Materie zurück in das umgebende Medium abgeben. Im Jahr 2024 begrüßte die Gruppe ein neues Mitglied, Xinyue Liang, die im Oktober ihre Doktorarbeit begann. Die Gruppe beherbergte auch Noah Bomblies für seine Bachelorarbeit.

Die Mitglieder der Gruppe haben wichtige Beiträge zu den Themen Sternentstehung, stellare Rückkopplung und interstellares Medium geleistet und im Jahr 2024 insgesamt 19 Veröffentlichungen gehabt. Insbesondere hat die Gruppe in Romanelli et al. (2025) gezeigt, dass riesige Molekülwolken ähnlich lange in den Spiralarm- und Interarmregionen von Galaxien leben, was der gängigen Vorstellung widerspricht, dass Spiralarme die Sternentstehung auslösen. Fortschritte wurden auch bei der Charakterisierung der Eigenschaften des Gases in Umgebungen mit geringer Metallizität erzielt, indem die Gesamtmenge an molekularem Gas in Zwerggalaxien modelliert wurde (z.B. Ramambason et al. 2024). In den Jahren 2023-2024 war die Gruppe maßgeblich an der Analyse einiger der ersten Beobachtungen des James-Webb-Weltraumteleskops (JWST) beteiligt. Die erste vollständige öffentliche Datenveröffentlichung der PHANGS-JWST-Beobachtungen wurde in Williams et al. (2024) veröffentlicht. Seitdem wurden mehrere Beobachtungsanträge unter Beteiligung von Mitgliedern der Gruppe genehmigt, insbesondere zu ALMA, MUSE und JWST, was im kommenden Jahr viele aufschlussreiche neue Ergebnisse verspricht. Die Gruppe ist auch an der Planung des zukünftigen AtLAST-Teleskops (Atacama Large Aperture Submillimeter Telescope; Daizhong et al. 2024, inkl. Chevance) beteiligt.

Im Jahr 2024 endete schließlich das Projekt Nr. 558 des ISSI International Teams (P.I. Kruijssen), an dem Mitglieder dieser Gruppe beteiligt waren. Das Team hat erfolgreich die Transformationen von Planetensystemen durch Umweltstörungen untersucht. Wir haben zwei Arbeiten eingereicht, eine über die Ergebnisse von Simulationen, das andere über Beobachtungen. Weitere Arbeiten sind in Vorbereitung, um die Ergebnisse dieser fruchtbaren Zusammenarbeit zusammenzufassen.

2.14 ERC and Emmy Noether Research Group on the Baryonic Life Cycle (Kathryn Kreckel)

Diese Nachwuchsforschungsgruppe unter der Leitung von Kathryn Kreckel will Galaxienentwicklung verstehen, indem sie unser Verständnis der physikalischen Prozesse und lokalen

Bedingungen verbessert, die ihren Aufbau von Sternmasse durch Sternentstehung vorantreiben. Im Rahmen der PHANGS-Kollaboration arbeiten die Mitglieder der Gruppe an der Analyse der chemischen Häufigkeiten und Ionisierungsquellen einzelner Nebel in nahe gelegenen Galaxien, um zu verstehen, wie die Energie von Sternen in das umgebende interstellare Material zurückfließt. Die hochauflösende, aber globale Betrachtung von Galaxien ermöglicht es den Forschungsprojekten, die Physik im kleinen Maßstab mit unserem Verständnis der Galaxienentwicklung zu verbinden. Im Rahmen des SDSS-V Local Volume Mapper (LVM) entwickelt die Gruppe wichtige Software und Pipeline-Produkte im Zusammenhang mit der neuen Durchmusterung, die unsere eigene Milchstraßengalaxie und andere Galaxien der Lokalen Gruppe auf der Skala der Energieinjektion abbildet. Die Gruppe arbeitet optische spektroskopische Karten zu verwenden und die innere Struktur der HII-Regionen der Milchstraße und der Lokalen Gruppe aufzulösen. Diese Beobachtungen ermöglichen es, präzise und genaue Messungen des gasförmigen Metallgehalts zu erhalten.

2.15 Emmy Noether Research Group on Computational Galaxy Formation and Evolution (Dylan Nelson)

Die Forschungsgruppe ist auf rechnergestützte Galaxienbildung und -entwicklung spezialisiert und entwirft und führt numerische Simulationen durch, zu verstehen wie Galaxien im Laufe der kosmischen Zeit wachsen. Wie Gas in, aus und um Galaxien fließt? Zu diesem Zweck betreibt die Gruppe die theoretische Modellierung der Galaxienbildung, des kosmischen Baryonenzyklus, der kosmologischen Gasakkretion, des zirkumgalaktischen Mediums und energetischer Rückkopplungsprozesse. Was ist der Ursprung, die Struktur und die Physik des zirkumgalaktischen Mediums (CGM) von Galaxien? Welchen Einfluss hat baryonische Rückkopplung, die von Supernovas und supermassiven Schwarzen Löchern angetrieben wird, auf das CGM und den Baryonenzyklus? Was sind die beobachtbaren Signaturen von kaltem (molekularem/neutralem), warmem (ionisiertem) und heißem (z.B. Röntgenstrahlen emittierendem) Gas im interstellaren Medium (ISM) innerhalb von Galaxien, im zirkumgalaktischen und intracluster Medium (CGM/ICM) um Galaxien herum sowie im intergalaktischen Medium (IGM) auf großen Skalen?

Die Gruppe untersucht diese Fragen durch numerische Simulationen, die überwiegend mit AREPO durchgeführt werden, einem Finite-Volumen-Hydrodynamikcode, der auf einem bewegten unstrukturierten Netz basiert, und ist Leiter von Projekten wie IllustrisTNG und der TNG50-Simulation (www.tng-project.org), GIBLE, TNG-Cluster, und cosmosTNG – nächsten Generation kosmologischer magnetohydrodynamischer Simulationen der Galaxienentwicklung und der großräumigen Strukturbildung.

2.16 Heisenberg Research Group on Hot Compact Stars (Nicole Reindl)

Die Gruppe (N. Reindl, M.Sc. N. Mackensen, L. Comanescu) untersucht heiße Weiße Zwerge und deren unmittelbare Vorläufer. Spektroskopische UV-Daten eines großen (130 orbits) HST Programms (PI: N. Reindl, Proposal ID 17113) wurden analysiert (N. Reindl, N. Mackensen). Ferner wurden spektroskopische und photometrische Daten von verschiedenen Zentralsternen planetarischer Nebel (N. Reindl), heißen Weißen Zwergen mit ultrahoch angeregten Absorptionslinien (N. Reindl, N. Mackensen), engen Doppelsternsystemen (N. Reindl), Weißen Zwergen mit geschichteten Atmosphären (N. Reindl), und heißen, H-armen Vor-Weißen Zwergen analysiert (N. Reindl, L. Comanescu). Es wurde eine spektroskopische Nachverfolgung von heißen (Vor-)Weißen Zwergen mit LBT/MODS durchgeführt (N. Reindl, N. Mackensen). Weiterhin wurden Modellgitter für PG1159 Sterne (N. Mackensen) und O(He) Sterne (L. Comanescu, N. Reindl) gerechnet. Ergänzend laufen die Vorbereitungen für den 4MOST Survey. Mitarbeit an Projekten zu kurz- und langzeit veränderlichen Zentral Sternen planetarischer Nebel (N. Reindl, N. Mackensen). Außerdem Mitarbeit an spektroskopischen und kinematischen Untersuchungen schneller heißer Unterzwerge (N. Reindl).

2.17 Emmy Noether Research Group on Stellar Atmospheres and Mass Loss (Andreas Sander)

Die von Dr. Andreas Sander geleitete Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe untersucht Eigenschaften und Einfluss heißer Sterne und ihrer strahlungsgetriebenen Winde. Zentrales Werkzeug der Gruppe ist dabei die Berechnung und Weiterentwicklung von Atmosphärenmodellen mit dem PoWR-Code, die sowohl den Stern als auch seinen Wind beschreiben. Im Jahr 2024 umfasste die Gruppe zwei Postdocs, fünf Doktoranden und eine Masterstudentin. Die Arbeit der Gruppe wird neben den Emmy-Noether-Mitteln auch durch eine DFG-Sachbeihilfe, ein DLR-Projekt, Exzellenzmittel sowie ein PhD-Fellowship der IMPRS-HD finanziert.

Ein wesentliches Standbein der Gruppe ist quantitative Spektralanalyse heißer Sterne (A. Sander, V. Ramachandran, M. Bernini Peron, E.C. Schösser). Highlights in diesem Bereich waren die erstmalige Entwicklung einer bisher nicht nachgewiesene wichtige Zwischenstation in der Entwicklung massereicher Doppelsterne (Ramachandran et al. 2023, A&A) und der erstmalige Nachweis einer Notwendigkeit von Röntgenemissionen bei späten B-Überriesen (Bernini-Peron et al. 2023, A&A). Neben der quantitativen Spektralanalyse von Einzel- und Mehrfachsternen beschäftigt sich die Gruppe auch mit dem resultierenden Feedback einzelner Sterne sowie ganzer Sternpopulationen. Dabei werden auch Modelle zur Vorhersage von Sterneigenschaften sowie zur Populationssynthese erstellt (R.R. Lefever, S. Kapoor). Ein weiteres Standbein der Nachwuchsgruppe ist die theoretische Untersuchung von strahlungsgetriebenen Sternwinden (A. Sander, R.R. Lefever, G. Gonzalez-Tora). Highlights in diesem Bereich waren die erstmalige Darstellung der Temperaturabhängigkeit des Wind-Massenverlusts von klassischen WR-Sternen veröffentlicht (Sander et al. 2023, A&A) sowie der quantifizierte Einfluss des Geschwindigkeitsfelds auf das emergente Spektrum von Wolf-Rayet-Sternen (Lefever et al. 2023, A&A). Die Gruppe hat zudem damit begonnen neuste Erkenntnisse aus 2D und 3D-Windsimulationen in 1D-Sternatmosphären abzubilden (A. Sander, G. Gonzalez-Tora).

Als Schnittstelle zwischen Theorie und Analyse heißer Sterne ist die Nachwuchsgruppe stark in der XShootU-Kollaboration involviert, die sich der Erforschung massereicher Sterne mit niedrigem Metallgehalt auf Basis der ULLYSES UV-Spektren sowie ergänzender XShooter-Spektren widmet. Seit Ende 2023 beteiligt sich die Gruppe zudem an der im Aufbau befindlichen BLOeM-Kollaboration zur Erforschung von massereichen Doppelsternen in der SMC. Weitere Kollaborationen und ergänzende Studien über die Auswirkung von Sternwinden runden die Arbeit der Gruppe ab. J. Josiek (Doktorand seit September 2023) hat mit den Arbeiten für die Veröffentlichung einer Studie über den Einfluss von Hauptreihen-Sternwinden auf die späte Sternentwicklung begonnen. C. Larkin (Doktorand, IMPRS Fellow) entwickelte 3D-Modelle, die u.a. die Möglichkeit der Teilchenbeschleunigung in kollidierenden Sternwinden und Supernovae-Explosionen näher untersuchen sollen. Im Oktober 2023 hat A. Sander ferner mit den Mitteln seines 2022 erhaltenen Hengstberger-Preises einen diskussionsorientierten Workshop zum Thema „A unified understanding of stellar yields“ mit 25 eingeladenen Teilnehmer:innen aus aller Welt organisiert.

2.18 Emmy Noether Research Group on Galaxy Evolution and AGN (Dominika Wylezalek)

Das Hauptziel der im Rahmen des Emmy Noether-Stipendiums geförderten Forschung (Beginn September 2020) besteht darin zu verstehen, wie Galaxien entstehen und sich entwickeln und welche physikalischen Prozesse in verschiedenen kosmischen Epochen und auf verschiedenen räumlichen Skalen am wichtigsten sind. Konkret geht es darum, Beobachtungen zur Selbstregulierung supermassereicher Schwarzer Löcher und ihrer Wirtsgalaxien sowie ihrer klein- und großräumigen Umgebung zu finden. Die Gruppe beschäftigt zwei Promovierende, zwei Postdoktoranden und betreut drei Master- und zwei Bachelorstudierende.

Die Gruppe verfolgt einen Multi-Wellenlängen-, Multi-Technik-, Multi-Skalen- und Multi-Epochen-Ansatz. Bei niedriger Rotverschiebung nutzen wir den SDSS-MaNGA-Datensatz, um Galaxien neu zu klassifizieren (Alban et al. 2023) und systematisch Wind-Signaturen von AGN zu untersuchen (Alban et al. in prep., Kukreti et al. in prep.). Ein großes CO-Folgeprogramm von MaNGA-Galaxien (MASCOT, Wylezalek et al. 2022a) zeigt, dass Metalle durch AGN-Rückkopplung auf großen Skalen umverteilt werden können (Bertemes et al. 2023).

Mithilfe von Daten aus mehreren JWST IFU-Programmen untersucht die Gruppe hochrotverschobene AGN und deren Rückkopplungs- und Wind-Signaturen. Diese IFU-Daten zeichnen den inneren sub-kpc-AGN-Wind nach, was zusätzlich zu den MUSE-Daten im CGM-Maßstab (Wang et al. 2021, Wylezalek et al. 2022a, Wang et al. 2023, Bertemes et al. 2024, Wang et al. 2024) einen ergänzenden Blick auf die inneren paar kpc ermöglicht. Mit diesem Datensatz lassen sich die dichtesten Knoten der Galaxienbildung um ein hochverschobenen AGN identifizieren. Die Arbeit erhielt weltweite Anerkennung, einschließlich der Aufmerksamkeit der Medien durch mehrere Pressemitteilungen (NASA, ESA). Die Gruppe hat auch Projekte im Rahmen der SDSS-V Black Hole Mapper Survey gestartet und trägt zu mehreren Veranstaltungen zur Öffentlichkeitsarbeit bei. Die Gruppe wird außerdem von der Daimler-Benz Stiftung, der MERAC-Stiftung und dem DLR gefördert und nimmt an einem DAAD-CAPES (Brasilien) Austauschprogramm teil.

2.19 Gaia, JASMINE, Spacecraft Digital Twins (Michael Biermann)

Die Gaia-Gruppe in Heidelberg besteht aus 10 Mitgliedern, von denen ein Drittel Softwareentwickler sind. Dieses Team ist für entscheidende Aufgaben innerhalb des Gaia Data Processing and Analysis Consortiums (DPAC) verantwortlich. U.a. liegt die Leitung für die Verarbeitung der astrometrischen Daten des Gaia-Satelliten sowie die Koordination der Herstellung und Verifikation der astrometrischen Globallösung für den vierten Gaia-Katalog in dieser Arbeitsgruppe. Ihre Aufgaben umfassen darüber hinaus ein breites Spektrum an Aktivitäten, darunter die Sicherstellung der täglichen Qualitätskontrolle der wissenschaftlichen Rohdaten und des Funktionierens des Gaia-Satelliten (Gaia First Look), die Koordinierung und Auswertung bodengestützter Beobachtungen zur genauen Bestimmung der Umlaufbahn des Satelliten (GBOT), die Verwaltung eines Gaia-Partner-Datenzentrums (<https://gaia.ari.uni-heidelberg.de>), die Erstellung von 3D-Visualisierungen von Gaia-Daten (Gaia Sky, <https://gaiasky.space/>), die Leitung der Öffentlichkeitsarbeit des DPAC sowie die Leitung des DPAC Project Office, das alle Aufgaben zwischen den vielfältigen Arbeitsgruppen des DPAC koordiniert.

Die „Japan Astrometry Satellite Mission for INfrared Exploration“ (JASMINE) plant an Gaia anknüpfend das Zentrum der Milchstraße im Infraroten astrometrisch hochgenau zu vermessen, sowie nach Exoplaneten zu suchen. Anders als Gaia wird JASMINE aber nicht den gesamten Himmel kartographieren, sondern bestimmte Regionen anvisieren und diese wiederholt beobachten. Die Arbeitsgruppe in Heidelberg entwickelt in Zusammenarbeit mit den japanischen Kollegen ein direktes astrometrisches Lösungsverfahren für diese Mission, die im nächsten Jahrzehnt starten und dann drei Jahre lang beobachten soll. Dazu wurde ein massiv paralleler Supercomputercode für das astrometrische JASMINE Problem erstellt, der auf dem bwUniCluster 2.0 eine Lösung für 9.2 Milliarden Beobachtungen von insgesamt 115.000 Sternen in wenigen Stunden berechnen kann. Darüber hinaus gibt es einen intensiven Erfahrungsaustausch zwischen der laufenden Gaia-Mission und der JASMINE Arbeitsgruppe.

Je komplexer Wissenschaftssatelliten werden, desto wichtiger ist die Kenntnis und Berücksichtigung der Satelliteneffekte in der wissenschaftlichen Datenaufnahme. Da zukünftige wissenschaftliche Satelliten immer genauer messen werden können, werden Störeffekte in den reinen wissenschaftlichen Rohdaten immer relevanter werden. Es wäre daher ideal, wenn man auf der Erde einen „Digitalen Satelliten-Zwilling“ hätte, den man parallel zum laufenden Betrieb im All nutzen könnte, um Störeffekte zu verstehen. Auf diese Weise könnte

man neue Software entwickeln und ausprobieren, um diese Störeffekte in den Daten zu eliminieren. Das Ziel dieses Projekts ist es, einen solchen digitalen Zwilling zu erstellen, der am Beispiel des Bahn- und Lageregelungssystems des Gaia-Satelliten (AOCS = Attitude and Orbit Control System) einschließlich der verwendeten Sensorsysteme die gemessenen Drehraten der insgesamt mehr als 10-jährigen Mission besser verstehen hilft.

2.20 Extragalactic & High Energy Astrophysics (Stefan Wagner)

Diese Forschungsgruppe arbeitet hauptsächlich im Bereich der Datenanalyse der von H.E.S.S. beobachteten hochenergetischen Gammastrahlung und weiterer Multiwellenlängendaten, sowie an Datenmanagementtools im Rahmen des PUNCH4NFDI Projekts der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur.

Für H.E.S.S. wurden Monitoringdaten des Blazars PKS 1510-089 ausgewertet und veröffentlicht, die eine erstaunliche Ruhephase der Quelle zeigen. Weiterhin war die Gruppe an der Auswertung der Daten des Blazars PKS 0903-57 beteiligt, dessen Charakterisierung sich bisher als schwierig darstellte. Die H.E.S.S. Daten werden in Kürze veröffentlicht und belegen, dass es sich bei der Quelle um einen FSRQ handelt.

Die Gruppe erstellt federführend einen VHE Katalog von extragalaktischen Quellen auf Basis von H.E.S.S. und Fermi-LAT Daten. Weitere Studien mit H.E.S.S. Beobachtungen dienen der Suche nach dem Annihilationssignal von dunkler Materie, sowie der diffusen Emission der sogenannten Fermi-Bubbles.

Daten des galaktischen Zentrums von H.E.S.S. und XMM-Newton wurden dazu verwendet um die korrelierte Kurzzeitvariabilität in diesen Wellenlängenbereichen zu erforschen. Die Gruppe ist auch maßgeblich an der Überwachung des laufenden Betriebs von H.E.S.S. und der IT Infrastruktur beteiligt. Das Automatische Teleskop für Optisches Monitoring (ATOM) in Namibia, welches als optisches Supportinstrument für H.E.S.S. agiert, wurde zu einem vollständig autonom agierendem Observatorium weiterentwickelt und die gewonnenen Beobachtungsdaten haben wertvolle Beiträge bei der Erforschung von aktiven Galaxienkernen geleistet.

3 Veröffentlichungen

3.1 In referierten Zeitschriften (390)

Eine Übersicht der Veröffentlichungen mit Autoren des ZAH in referierten Journalen für die Jahre 2005 bis 2024 ist zu finden unter <https://zah.uni-heidelberg.de/publications>.

Verantwortlich für den Inhalt: Dr. Guido Thimm