

# Max-Planck-Institut für Astronomie

## Heidelberg-Königstuhl



# Jahresbericht 2015



**Titelbild:**

Hochaufgelöste Spektren wie dieses des Sterns  $\mu$  Leonis wurden mit dem NARVAL-Spektrografen am Télescope Bernard Lyot des Observatoire Midi-Pyrénées als Teil eines großen Programmes bodengebundener Beobachtungen erstellt. Sie sollen die mit dem Astrometriesatelliten Gaia aufgenommenen Daten ergänzen. Die detaillierte Analyse von Hunderttausenden solcher Spektren aus allen Regionen unserer Heimatgalaxie sind der Schlüssel zum Verständnis der Herkunft der chemischen Elemente und der Entstehungsgeschichte der Milchstraße. Siehe Kapitel II.2, Seite 25.

Quelle: Maria Bergemann / MPIA / NARVAL@TBL

# **Max-Planck-Institut für Astronomie**

## **Heidelberg-Königstuhl**



## **Jahresbericht**

## **2015**

## **Max-Planck-Institut für Astronomie**

*Wissenschaftliche Mitglieder, Kollegium, Direktoren:*

Prof. Thomas Henning (Geschäftsführender Direktor)

Prof. Hans-Walter Rix (Direktor)

Dr. Klaus Jäger (Telefon: +49 6221 528 379)

*Wissenschaftlicher Referent:*

Dr. Markus Pössel

(Telefon: +49 6221 528 261)

*Öffentlichkeitsarbeit (Leitung), Haus der Astronomie (Leitung):*  
*Verwaltung (Leitung):*

Mathias Voss

(Telefon: +49 6221 528 230)

*MPIA-Observatorien:*

Dr. Roland Gredel

(Telefon: +49 6221 528 264)

*Emeritierte Wissenschaftliche Mitglieder:*

Prof. Guido Münch, La Jolla

Prof. Immo Appenzeller, Heidelberg

Prof. Karl-Heinz Böhm, Seattle † 2. März 2015

*Auswärtige Wissenschaftliche Mitglieder:*

Prof. Rafael Rebolo, Teneriffa

Prof. Steven V. W. Beckwith, Berkeley

Prof. Volker Springel, Heidelberg

Prof. Willy Benz, Bern

*Fachbeirat:*

Prof. Rolf-Peter Kudritzki, Honolulu (Vorsitz)

Prof. Sabine Schindler, Innsbruck

Prof. Ewine van Dishoeck, Leiden

Prof. Stephan Shectman, Pasadena

Dr. Philip John Puxley, Arlington

Prof. Rens Waters, Amsterdam

Prof. Dieter Reimers, Hamburg

Prof. Robert Williams, Baltimore

Prof. Anneila I. Sargent, Pasadena

Prof. Harold Yorke, Pasadena

*Kuratorium:*

Prof. Karlheinz Meier, Heidelberg (Leitung)

Dr. Wolfgang Niopek, Heidelberg

Prof. Bernhard Eitel, Heidelberg

Dipl.-Ing. Stefan Plenz, Wiesloch

Dr. Reinhold Ewald, Weißling

Prof. Roland Sauerbrey, Dresden

Dr. Peter Hartmann, Mainz

Dr. Bernd Scheifele, Heidelberg

Prof. Matthias Hentze, Heidelberg

Dr. h.c. Klaus Tschira, Heidelberg † 31. März 2015

Dr. Michael Kaschke, Oberkochen

Prof. Andreas Tünnermann, Jena

Min.-Dirig. Dr. Heribert Knorr, Stuttgart

Dipl.-Phys. Ranga Yogeshwar, Köln

Dipl.-Ing. Matthias Nagel, Bonn

*Anschrift:* MPI für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg

*Fax:* +49 6221 528 246

*Telefon:* +49 6221 5280

*E-Mail:* sekretariat@mpia.de

*Internet:* www.mpia.de

## **Calar-Alto-Observatorium**

*Anschrift:* Centro Astronómico Hispano Alemán, Calle Jesús Durbán 2/2, E-04004 Almería

*Telefon:* +34 950 230 988, 0034 950 632 500 *Fax:* +34 950 632 504

*E-Mail:* info@caha.es *Internet:* www.caha.es

## **Arbeitsgruppe »Laboratorastrophysik«, Jena**

*Anschrift:* Institut für Festkörperphysik der FSU, Helmholtzweg 3, D-07743 Jena

*Telefon:* +49 3641 947 354 *Fax:* +49 3641 947 308

*E-Mail:* cornelia.jaeger@uni-jena.de

---

© 2015 Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg

*Herausgeber:* Thomas Henning, Hans-Walter Rix

*Redaktion:* Markus Pössel

*Graphik-Redaktion:* Axel M. Quetz

*Lektorat/Korrektorat:* Sigrid Brümmer, Markus Pössel, Axel M. Quetz

*Texte:* Ingrid Apfel (V.1), Thomas Henning (II.1), Klaus Jäger (V.1–2), Knud Jahnke (III.2), Oliver Krause (III.2), Martin Kürster (III.1, III.4, III.5), Markus Pössel (I, II.3–7, IV.1–3), Hans-Walter Rix (II.2); mit Beiträgen der unter den jeweiligen Texten als Ansprechpartner/Beteiligte angegebenen Mitarbeiter

*Listenteil:* Axel M. Quetz

*Graphiken und Layout:* Karin Meißner, Judith Neidel

*Druck:* Neumann Druck, 69126 Heidelberg

Gedruckt im Juni 2016

ISSN 1437-2924; Internet: ISSN 1617-0490

# Inhalt

<b>Vorwort .....</b>	5	<b>IV. Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit .....</b>	75
<b>I. Das Institut im Überblick .....</b>	7	IV.1 Universitäre Lehre und Doktorandenförderung	76
Unsere Forschungsgebiete .....	8	IV.2 Wissenschaftliche Öffentlichkeitsarbeit .....	78
MPIA-Teleskope in aller Welt .....	10	IV.3 Haus der Astronomie .....	81
Weltraumteleskope .....	12		
Infrastruktur .....	14		
MPIA in Zahlen .....	15		
<b>II. Forschung: Abteilungen, Kooperationen, Highlights .....</b>	17	<b>V. Menschen und Ereignisse .....</b>	87
II.1 Planeten- und Sternentstehung .....	18	V.1 Auszeichnungen und Preise .....	88
II.2 Galaxien und Kosmologie .....	25	V.2 Ereignisse und Veranstaltungen .....	93
II.3 Wissenschaftliche Initiativen .....	30	V.3 Beruf und Familie / Doppelkarrieren (Dual Career) / Work-Life-Balance .....	99
II.4 Galaktischer »Raketenantrieb« erklärt ungeöhnliche Sternbewegungen in Galaxien ..	32		
II.5 Wenn das scheinbar Unmögliche passiert: Astronomen rätseln über Entdeckung eines Quasar-Quartetts .....	36	<b>VI. Anhang .....</b>	101
II.6 Ungewöhnliche bewegte Strukturen in der Staubscheibe eines Sterns .....	40	VI.1 Mitarbeiter .....	102
II.7 Wie massereiche Sterne ihre Masse bekommen .....	44	VI.2 Gästeliste .....	104
<b>III. Instrumentierung und Technik .....</b>	51	VI.3 Tagungen, Vorträge .....	104
III.1 Instrumentierung für bodengebundene Astronomie .....	52	VI.4 Lehre und Service .....	109
III.2 Instrumentierung für Weltraumteleskope .....	57	VI.5 Haus der Astronomie .....	111
III.3 LINC-NIRVANA: Vom Königsthül ans Large Binocular Telescope .....	62	VI.6 Veröffentlichungen .....	115
III.4 Übersicht aktueller Projekte .....	68	VI.7 Zusammenarbeit mit Firmen .....	133
III.5 Technische Abteilungen .....	72		



## Vorwort

**A**stronomischer Fortschritt ist eng an die Verfügbarkeit geeigneter Daten gekoppelt. Qualität und Menge der Daten, die astronomische Entdeckungen ermöglichen, hängen wiederum eng mit dem aktuellen Stand der Technik zusammen – und das in einer Weise, von der beide Seiten profitieren.

Die diesjährigen Entwicklungen am Max-Planck-Institut für Astronomie (MPIA) bieten dafür eindrucksvolle Beispiele. So fanden unsere Forscher in der Staubscheibe um den nahen Stern AU Microscopii ungewöhnliche bewegte Strukturen. Diese ersten Beobachtungen zeitlicher Veränderungen solcher Strukturen überhaupt waren nur mithilfe des Instruments SPHERE möglich, an dessen Konstruktion das Institut in entscheidender Weise beteiligt war und das Ende 2014 am Paranal-Observatorium der ESO in Betrieb gegangen ist.

Umgekehrt wirken die Anforderungen der beobachtenden Astronomie als Technologietreiber. Ein Beispiel ist das Instrument LINC-NIRVANA, das dieses Jahr nach mehr als einem Jahrzehnt Entwicklungs- und Bauzeit am MPIA fertiggestellt und zur Installation an das Large Binocular Telescope in Arizona verschifft wurde, an das größte Einzelteleskop der Welt.

In diesem Jahr gab es außerdem erstes Licht, »first light« für den neuen Planetenjäger CARMENES, der gleichzeitig mit seinem optischen und seinem Infrarot-Arm Spektren aufnahm. CARMENES ist das größte deutsch-spanische Instrumentierungsprojekt, und das MPIA hat dazu in entscheidender Weise beigetragen. Das Instrument soll im Frühjahr 2016 an der Calar Alto-Sternwarte die Jagd nach Exoplaneten aufnehmen.

Noch deutlich weiter in die Zukunft weist der offizielle Baubeginn für die Instrumente MICADO und METIS, der Ende des Jahres von der ESO beschlossen wurde: den ersten Instrumenten für das zukünftige 39-Meter European Extremely Large Telescope (E-ELT). Das MPIA ist Teil der Konsortien für beide Instrumente.

Zur Beobachtung gehört andererseits auch grundlegendes Verständnis – und zusätzlich zur sorgfältigen Planung nicht selten ein gewisses Quäntchen Glück! Die Arbeit unserer Doktorandin Athanasia Tsatsi zum »Raketenantrieb« für verschmelzende Galaxien ist ein schönes Beispiel für das erstere, die Entdeckung eines Vierfach-Quasars durch Joe Hennawi und Kollegen für das letztere. Beide Ergebnisse werden im wissenschaftlichen Highlight-Teil dieses Berichts vorgestellt.

Institute sind in unserer Zeit nur dann erfolgreich, wenn sie Teil eines größeren Netzwerks sind. Beispiele für wissenschaftliche Zusammenarbeit ziehen sich quer durch diesen Bericht. Hervorzuheben ist die Gründung der Heidelberg Initiative for the Origins of Life (HIFOL), die Forscher aus der Astrophysik, den Geowissenschaften, der makromolekularen Chemie, der statistischen Physik und den Lebenswissenschaften zusammenbringt, um besser zu verstehen, wie in unserem Universum Leben entstanden ist.

Mit diesem Jahresbericht möchten wir sowohl unseren Kollegen als auch der allgemeinen Öffentlichkeit weitergehende Informationen über die Aktivitäten unseres Instituts liefern – von den wissenschaftlichen Highlights des Jahres über den aktuellen Stand unserer Instrumentierungsprojekte am Boden und im Weltraum, über unsere Aktivitäten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit und akademische Ausbildung sowie über wichtige Veranstaltungen und Auszeichnungen des vergangenen Jahres.

*Thomas Henning, Hans-Walter Rix*

Heidelberg, Juni 2016



## I. Das Institut im Überblick



## Unsere Forschungsgebiete: Galaxien und Kosmologie

**Galaxien** gibt es in verschiedenen Größen und Formen. Woher kommen diese Unterschiede? Und woraus ergibt sich, wieviele Sterne in einer Galaxie entstehen?

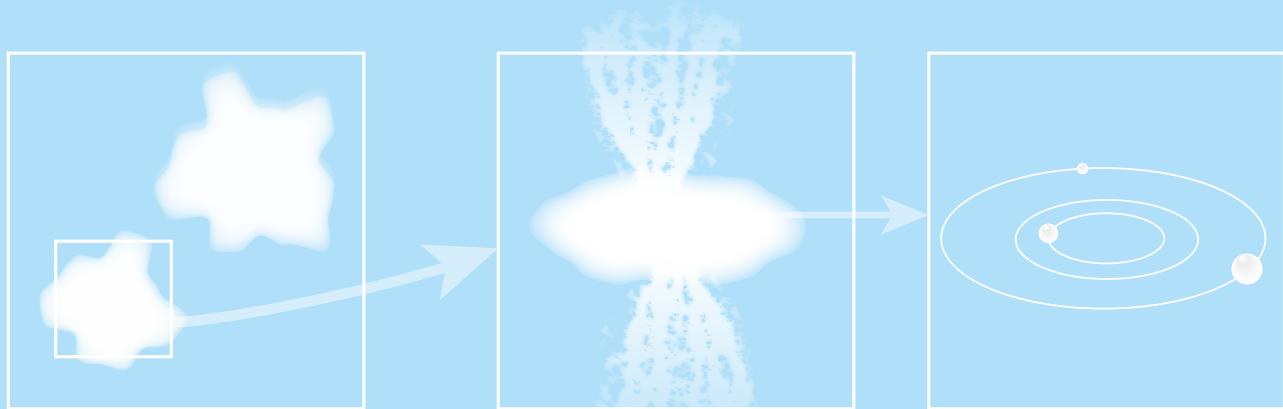
Unsere Heimatgalaxie, die **Milchstraße**, ist eine gigantische Spiralgalaxie mit mehreren hunderten Milliarden Sternen. Hier können wir Sternentstehung und Strukturbildung von nahem beobachten und Daten sammeln, die beim Verständnis der Galaxienentwicklung insgesamt helfen.

In den Zentren der Galaxien befinden sich **supermassereiche Schwarze Löcher**. Wie hängt die Masse solcher Schwarzen Löcher mit der Gesamtmasse der Sterne der Galaxie zusammen – trotz der Größenordnungen, die dazwischen liegen? Wann und wie kommt es in der Umgebung Schwarzer Löcher durch Materieeinfall zu Prozessen, die für einige der hellsten Leuchtphasen im Universum verantwortlich sind, für die Quasare?

**Galaxien wachsen**, wenn sie mit anderen Galaxien verschmelzen oder kleinere Galaxien verschlucken. Wie funktionieren diese Wachstumsprozesse im einzelnen? Wie beeinflussen sie die Eigenschaften der unterschiedlichen Galaxientypen?

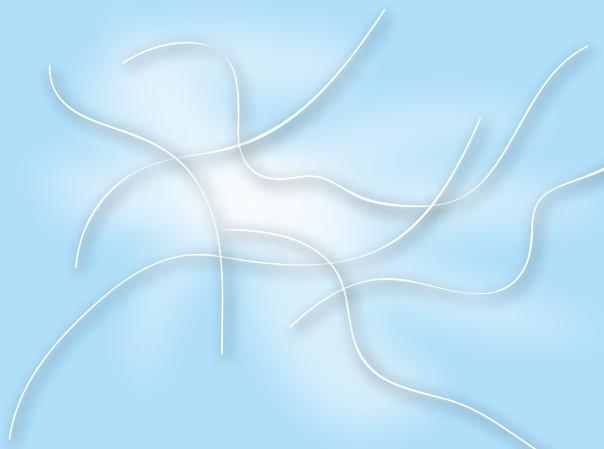
Wie sind **Dunkle Materie** und Wasserstoffgas auf den größten kosmischen Skalen verteilt, über hunderte von Millionen Lichtjahre hinweg? Wie hängt die Verteilung mit der Entwicklung der Galaxien über die letzten Milliarden Jahre zusammen? Wie entstand die heutige reiche Struktur aus einem anfangs fast perfekt gleichförmigen Universum?

## Planeten- und Sternentstehung

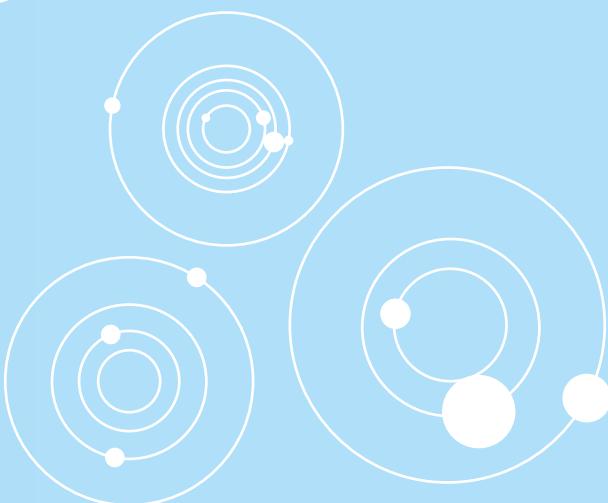
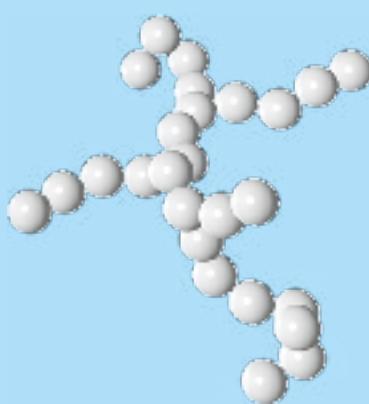


**Sterne entstehen**, wenn überdurchschnittlich dichte Regionen kalter Gas- und Staubwolken unter ihrer eigenen Schwerkraft kollabieren. Rund um einen jungen Stern entstehen aus einer wirbelnden Materiescheibe Planeten. Was passiert dort im einzelnen, und woraus ergibt sich die Vielfalt der beobachteten Planetensysteme?

Wie beeinflussen **Magnetfelder**, welche der interstellaren Wolken kollabieren und Sterne bilden? Welche Rolle spielen **Turbulenzen** innerhalb dieser Wolken?



Welches sind die unterschiedlichen Phasen der **Planeteneentstehung** – von winzigen zusammenklebenden **Staubkörnern** bis zu Objekten tausende Kilometer im Durchmesser? Was sagen uns Laborexperimente über die Eigenschaften kosmischen Staubs und darüber, wie man seine Eigenschaften nachweisen kann?



Seit 1995 haben Astronomen mehr als 2000 **Exoplaneten** nachgewiesen, also Planeten, die andere Sterne umkreisen als die Sonne. Was können diese vielfältigen Systeme uns über die Planeteneentstehung verraten?

## MPIA-Teleskope in aller Welt



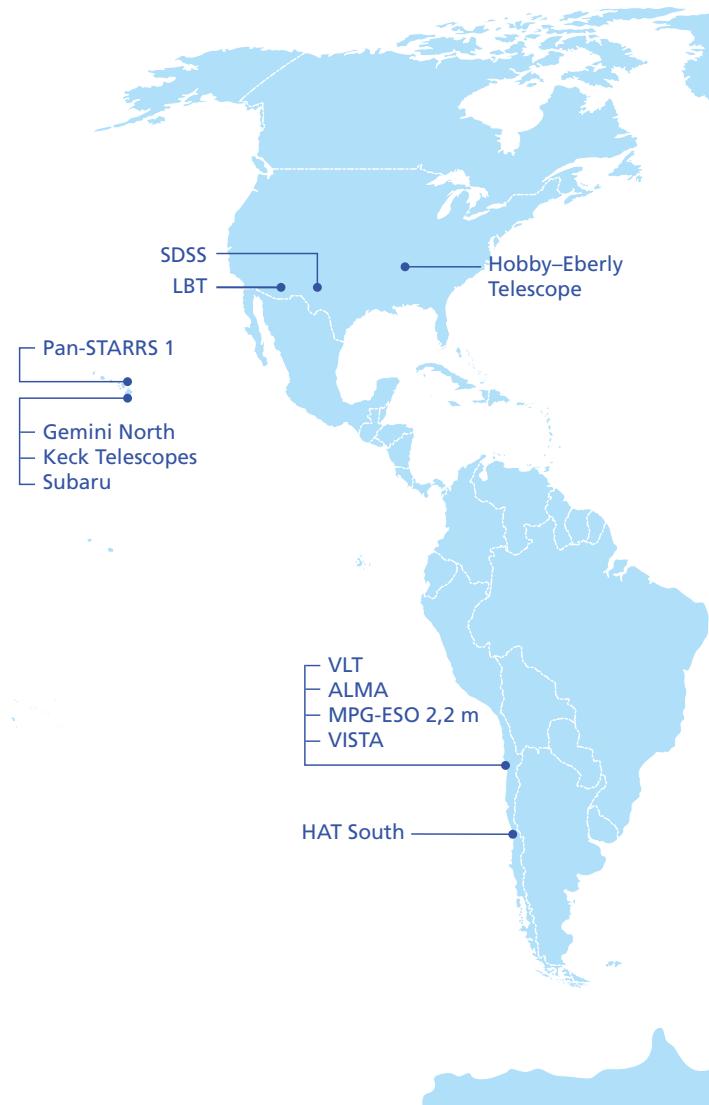
Das MPIA ist am Large Binocular Telescope (LBT) auf dem Mount Graham in Arizona beteiligt. Das LBT besitzt zwei 8,4-Meter-Spiegel auf einer Montierung. In diesem Jahr wurde vom MPIA aus die Doppelkamera LINC-NIRVANA zum LBT verschickt.



Für das Very Large Telescope der ESO am Paranal-Observatorium ist das MPIA an der Entwicklung der Instrumente SPHERE, MATISSE und GRAVITY beteiligt. In diesem Jahr wurden am Paranal wichtige Komponenten von GRAVITY installiert.



MPIA-Forscher nutzen das ALMA-Teleskop auf der Chajnantor-Hochebene in der Atacama-Wüste, um einige der kältesten und einige der entferntesten Objekte im Weltall zu beobachten. ALMA ist ein Interferometer für Beobachtungen im Millimeter- und Submillimeterwellenbereich.



Das MPIA ist Teil des PS1 Science Consortium, welches das Pan-STARRS1-Teleskop auf Haleakala auf Hawaii betreibt. PS1 hat wiederholt Übersichtsaufnahmen von weiten Teilen des Nachthimmels angefertigt und auf diese Weise eine Art »Himmelsfilm« erstellt.

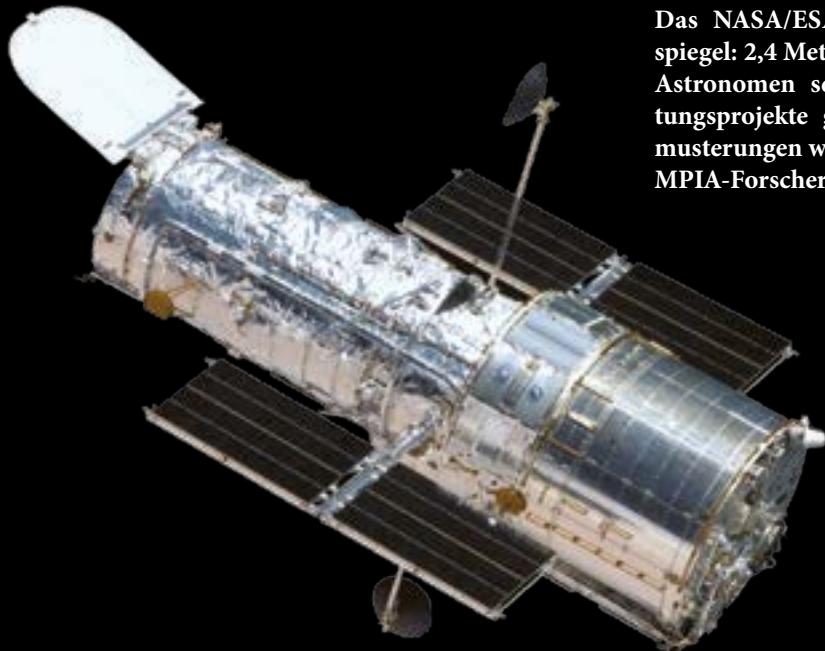


Das Calar-Alto-Observatorium in Südspanien, in den 1970er Jahren vom MPIA aufgebaut, wird als gemeinsames deutsch-spanisches Zentrum betrieben. Das MPIA war zuletzt an der Konstruktion der Instrumente CARMENES und PANIC für dortige Teleskope beteiligt.



Das MPIA ist Mitglied des Sloan Digital Sky Survey (SDSS), einer spektroskopischen Durchmusterung mit einem 2,5-Meter-Teleskop in New Mexico. Das Projekt liefert für eine große Zahl astronomischer Objekte Spektren in einheitlich hoher Qualität.

## Weltraumteleskope



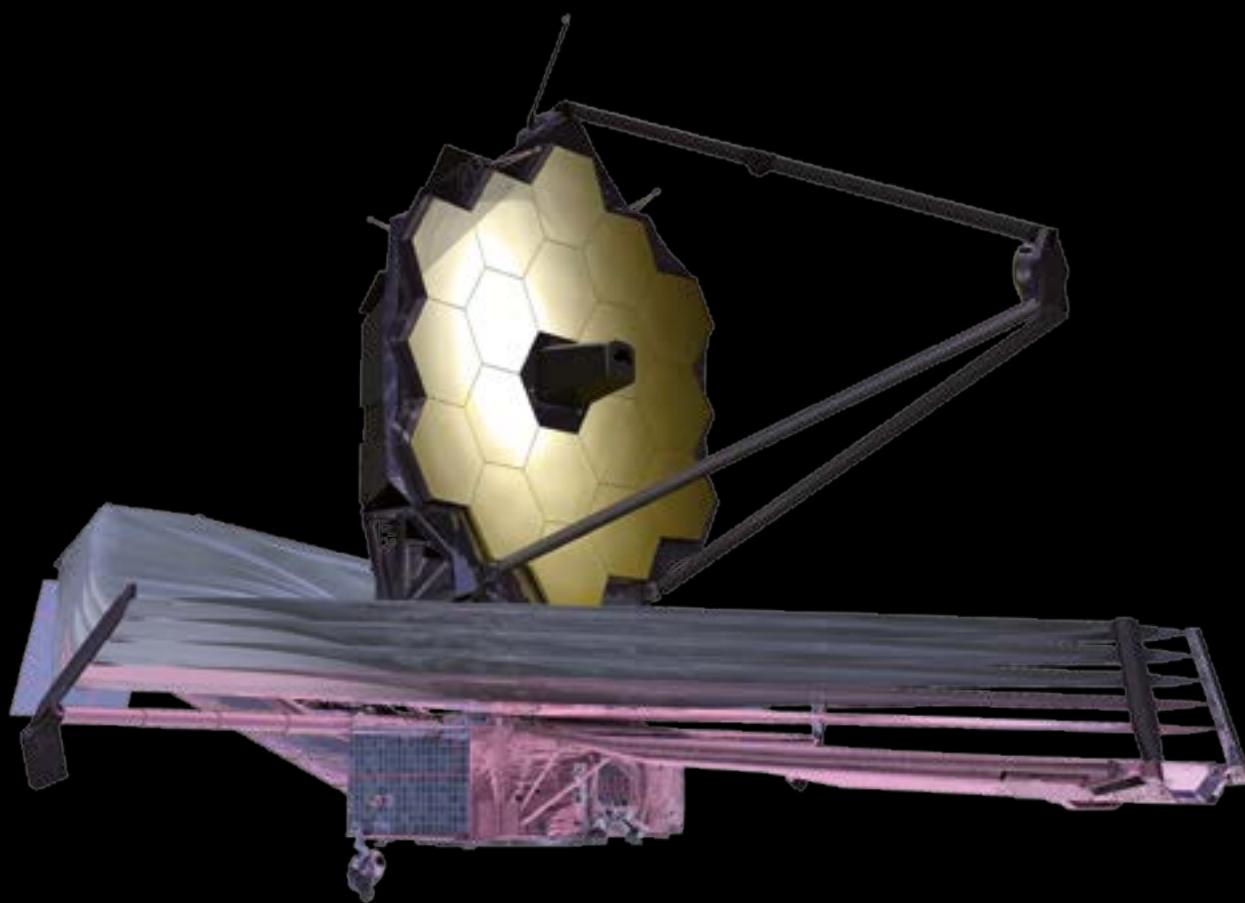
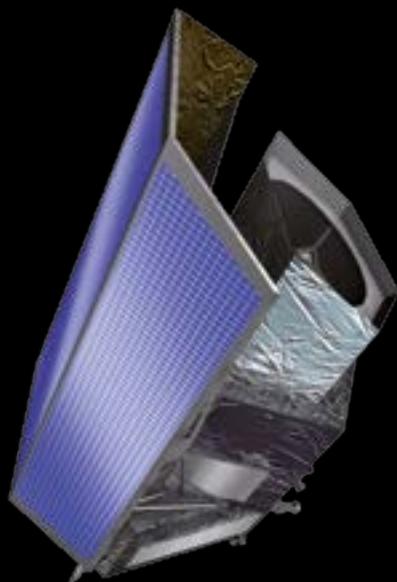
Das NASA/ESA-Weltraumteleskop Hubble (Hauptspiegel: 2,4 Meter Durchmesser) wird auch von MPIA-Astronomen seit Jahren für erfolgreiche Beobachtungsprojekte genutzt – inklusive größerer Durchmusterungen wie COSMOS oder CANDELS, an denen MPIA-Forscher maßgeblich beteiligt sind.

An der Konstruktion des ESA-Infrarot-Weltraumteleskops Herschel war das MPIA in wichtiger Rolle beteiligt: Am Institut wurden wichtige Teile des PACS-Instruments von Herschel entwickelt. Auch für eine Reihe von Beobachtungsprogrammen mit Herschel zeichnete das MPIA verantwortlich.



Auch das NASA-Weltraumteleskop Spitzer haben MPIA-Astronomen regelmäßig genutzt – beispielsweise zur Beobachtung von Protosternen im Inneren von Staubwolken oder zum Nachweis von aktiven Galaxienkernen aus einer Zeit nur rund eine Milliarde Jahre nach dem Urknall.

Für die ESA-Mission Euclid, die 2020 starten soll, entwickeln MPIA-Wissenschaftler Kalibrationsstrategien und sind außerdem bei der Konstruktion des Nahinfrarot-Spektrometers und -Photometers NISP beteiligt. Euclid soll Schlüsselfragen nach der Natur der Dunklen Energie und der Dunklen Materie klären helfen.



Das James Webb Space Telescope (JWST, Spiegeldurchmesser 6,5 Meter) soll 2018 als Nachfolger des Hubble-Teleskops ins All starten. Das MPIA ist an der Entwicklung zweier der Instrumente beteiligt: Des Mittel-Infrarotinstruments MIRI und des nahinfraroten Spektrografen NIRSPEC.

## Infrastruktur



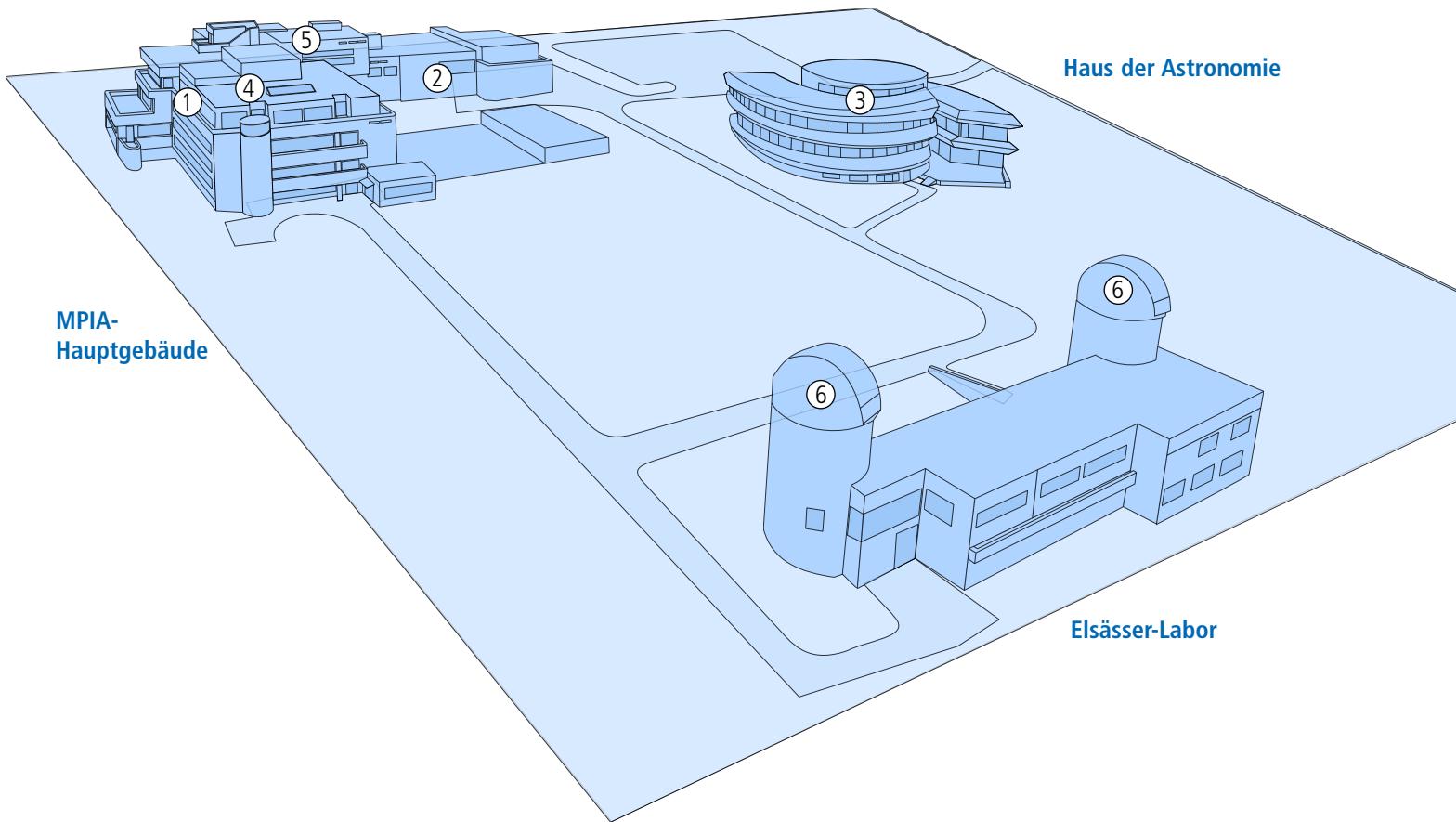
Spezialbibliothek mit knapp 9000 Monographien und Zugang zu rund 100 astronomischen Zeitschriftenserien



Experimentier- und Montagehallen mit Reinraumbereichen für Instrumentierung



Zwei Hörsäle und sieben Besprechungs-/Workshopräume, hier: HdA-Auditorium



IT-Infrastruktur inklusive Kapazitäten für den Umgang mit großen Datenmengen



Werkstätten und Konstruktionsbüro, hier: Konstruktionsabteilung



Teleskope für Test- und Ausbildungszwecke, hier: 50-cm-MPIA/HdA-Teleskop

# 310



## Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

arbeiten am MPIA. Davon sind 209 Wissenschaftler, darunter 67 Juniorwissenschaftler oder Visiting Scientists und 59 Doktoranden.

# 91,8



**Millionen Prozessorstunden**  
auf Supercomputern am MPIA (THEO), in Jülich (JUQUEEN) und Garching (HYDRA) nutzten MPIA-Forscher, um Planeten- und Sternentstehung sowie Galaxienentwicklung zu simulieren.

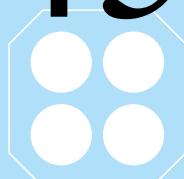
# 128



## Beobachtungsnächte

wurden für die LEGA-C-Galaxien-durchmusterung unter Leitung des MPIA bewilligt. Damit ist LEGA-C die bislang umfangreichste extraterrestrische Durchmusterung am Very Large Telescope.

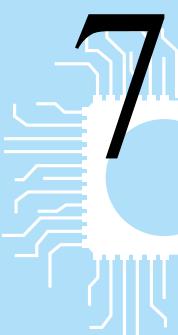
# 3454998



## Sterne

hat das HATSouth-Projekt, an dem auch das MPIA beteiligt ist, bis Ende 2015 auf der Suche nach Exoplaneten-Transits überwacht.

# 79760



## CPUs

besitzt der MPG-Supercomputer Hydra, den MPIA-Astronomen für aufwändige Simulationen der Planeten- und Galaxienentstehung nutzen.



# 5

## unabhängige Forschungsgruppen

beherbergte das Institut im Jahre 2015: zwei Emmy-Noether-Gruppen (DFG), zwei Max-Planck-Forschungsgruppen sowie eine Gruppe der Alexander-von-Humboldt-Stiftung.

# 20

## Jahre

sind seit dem Start des Infrared Space Observatory (ISO) der ESA vergangen, für welches das MPIA ein Instrument entwickelte. Mehr als 1500 wissenschaftliche Veröffentlichungen basieren auf ISO-Beobachtungen.

# 133

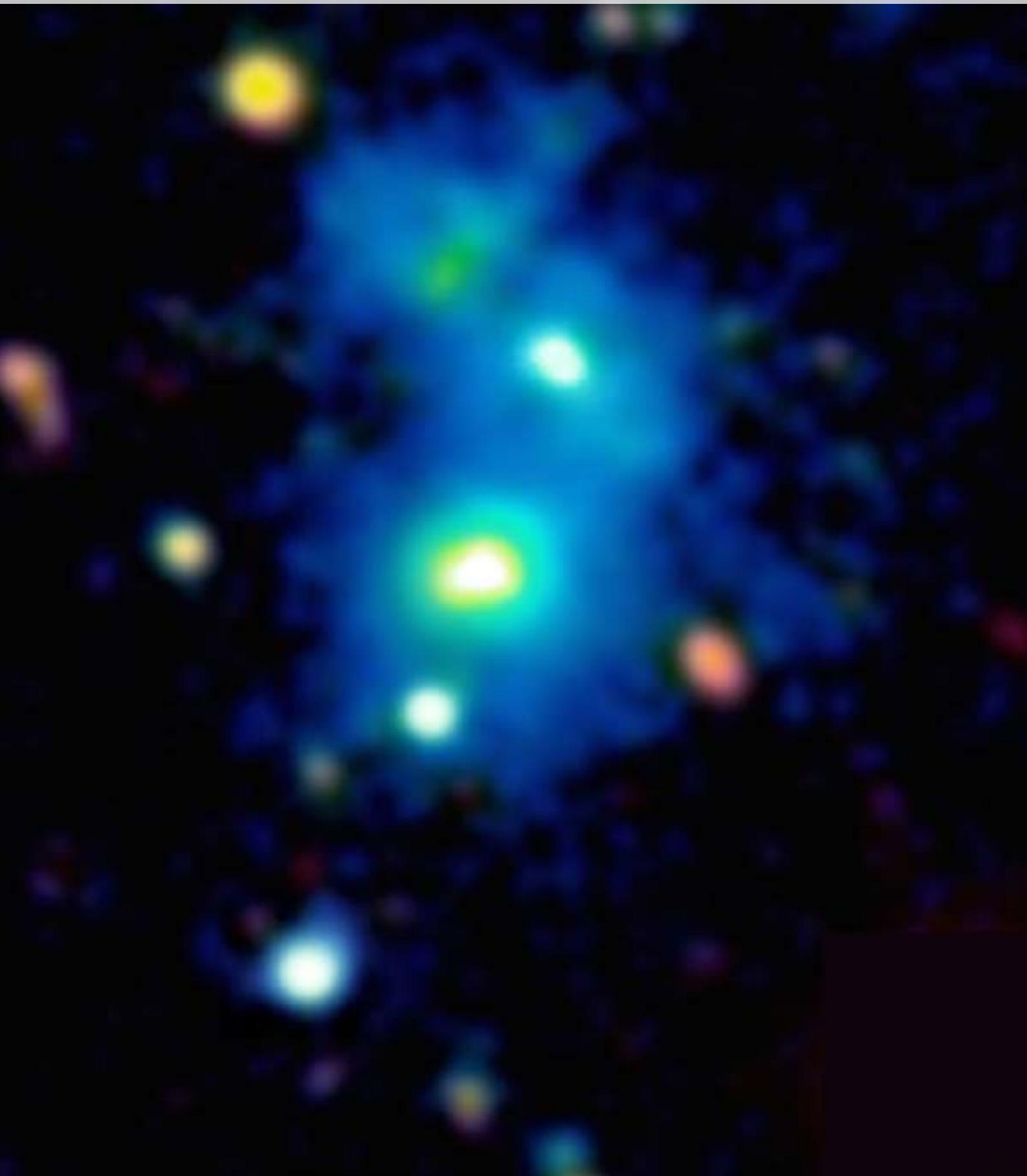
## Motoren

und 40 Kontrollsysteme, verbunden mit 966 Kabeln, und mehr als 250 Linsen und Spiegel enthält die am MPIA gebaute Doppelkamera LINC-NIRVANA.

# MPIA in Zahlen

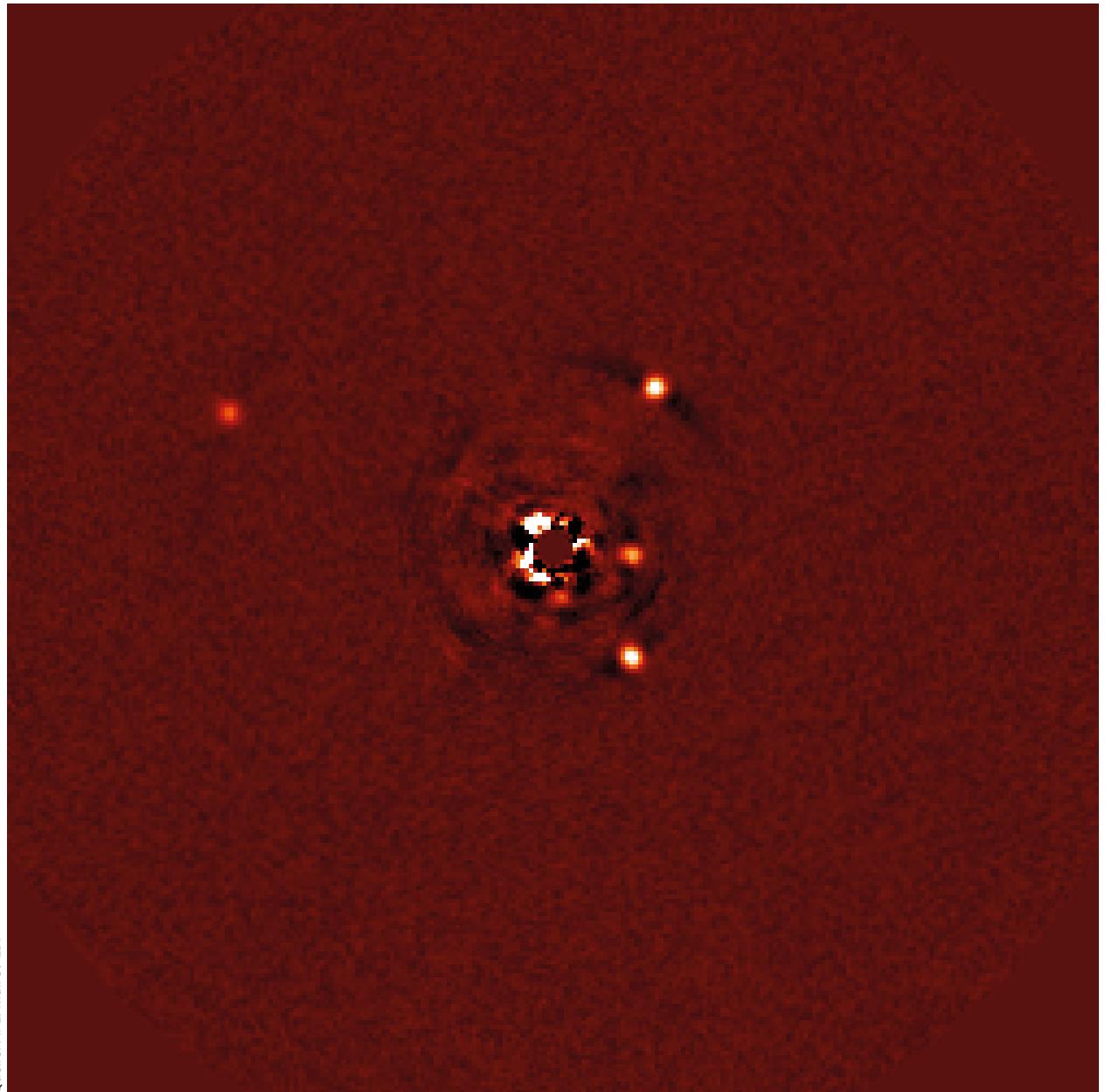


## II. Forschung: Abteilungen, Kooperationen, Highlights



## II.1 Abteilungen

### Planeten- und Sternentstehung (PSF)



Quelle: A.-L. Maire / LBT

**Abb. II.1.1:** Direkte Aufnahme des Planetensystems um den Stern HR 8799. Links ist der Planet HR 8799b zu sehen, auf der rechten Seite von oben nach unten die Planeten c, e und d. Der Großteil des Sternenlichts ist mithilfe einer Maske ausgeblendet (Koronografie). Für die überwiegende Mehrheit der Exoplaneten gibt es nur indirekte Nachweise.

Dieses seltene direkte Bild eines ganzen Planetensystems wurde mit dem Large Binocular Telescope auf dem Mount Graham in Arizona von einem internationalen Team von Astronomen aufgenommen, zu dem auch Forscher des MPIA gehören.

## Die Herkunft der Sterne und ihrer Planeten

Sternentstehung ist ein fundamentaler kosmischer Prozess. Sterne bestimmen die Struktur ganzer Galaxien ebenso wie die chemische Zusammensetzung des Kosmos, und sie schaffen die nötigen Voraussetzungen für die Entstehung von Leben.

Sterne werden in den dichten Kernregionen von Molekülwolken geboren – gigantischen Wolken kalten Gases, mit dem 1000-fachen der Masse der Sonne – die instabil werden und unter ihrer eigenen Schwerkraft kollabieren. Bei diesem Kollaps können einige Teilregionen sich soweit verdichten und aufheizen, dass Kernfusionsreaktionen einsetzen: ein neuer Stern ist entstanden. Die Entstehung von Planeten ist ein natürliches Nebenprodukt der Entstehung nicht allzu massereicher Sterne. Sie spielt sich in den protoplanetaren Scheiben aus Gas und Staub ab, die junge Sterne umgeben. Vor 4,5 Milliarden Jahren ist auch unser eigenes Sonnensystem auf diese Weise entstanden.

Die Forscher in der PSF-Abteilung gehen einer Reihe von offenen Fragen zur Stern- und Planetenentstehung nach. Auf ihrer Suche nach Antworten nutzen sie Beobachtungen in diversen Wellenlängenbereichen ebenso wie umfangreiche Computersimulationen und Laborexperimente.

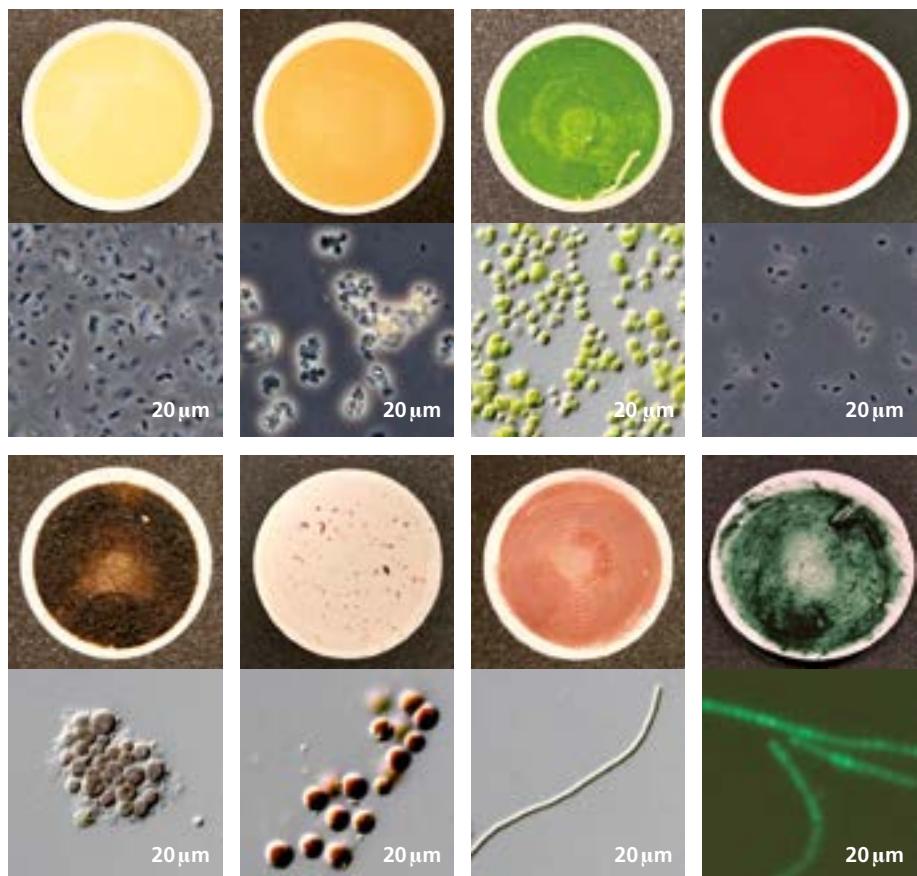
## Direkte Beobachtungen der Entstehung von Sternen und Planeten

Bei den astronomischen Beobachtungsmethoden waren über das letzte Jahrzehnt hinweg beachtliche Fortschritte zu verzeichnen. Die Beobachtungsprogramme der PSF-Abteilung decken ein breites Spektrum an Wellenlängen vom sichtbaren Licht bis zu Infrarot- und Radiostrahlung ab, wobei der Schwerpunkt auf hoher räumlicher Auflösung sowie auf hochauflösten Spektren liegt.

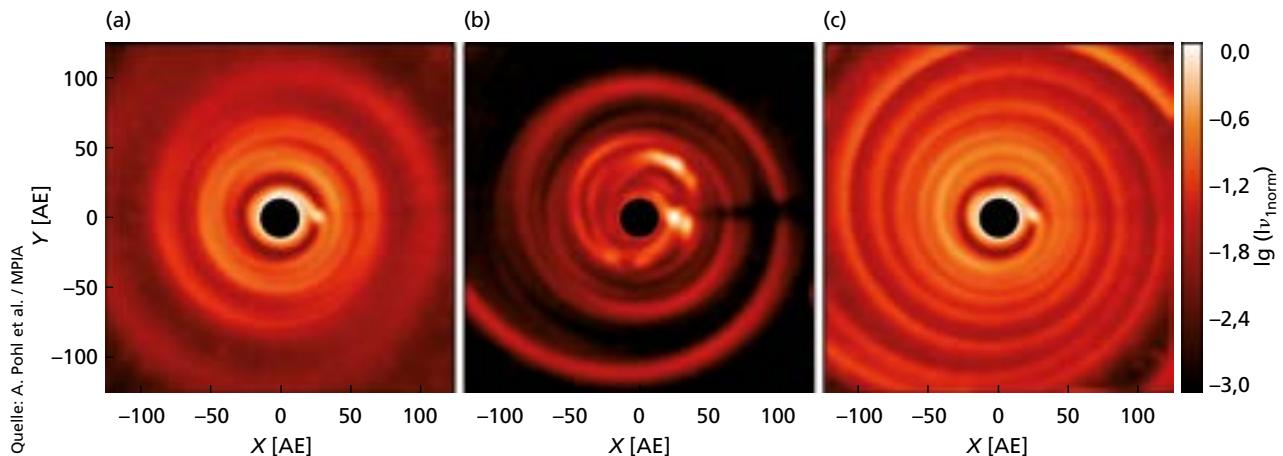
Die Forscher der PSF-Abteilung nutzen bei ihrer Arbeit diverse Teleskope und Observatorien, etwa das Hubble-Weltraumteleskop und bodengestützte Observa-

**Abb. II.1.2:** Astronomen und Biologen unter der Leitung des MPIA-Doktoranden Siddharth Hegde haben die »chemischen Fingerabdrücke« von 137 verschiedenen Spezies von Mikroorganismen bestimmt. Acht Proben sind in diesem Bild zu sehen. Das Ergebnis soll in Zukunft dabei helfen, Leben auf der Oberfläche von Exoplaneten nachzuweisen.

Die Organismen stammen aus den unterschiedlichsten Lebensräumen, und einige von ihnen sind an extreme Umweltbedingungen angepasst. Das erlaubt eine erste vorsichtige Abschätzung der möglichen Farbenvielfalt von Lebensformen auf Exoplaneten.



Quelle: S. Hegde et al. / MPIA



**Abb. II.1.3:** Die Untersuchung protoplanetarer Scheiben als Geburtsorte von Planeten ist ein wichtiges Ziel der PSF-Abteilung. Die Beobachter werden dabei durch Simulationen unterstützt, die zeigen, wie solche Scheiben in hochauflösten Bildern aussehen dürften. Diese Bilder, erstellt von der MPIA-Doktorandin Adriana Pohl und ihren Kollegen, zeigen das Erscheinungsbild einer bestimmten Sorte protoplanetarer Scheiben im Nahinfrarotlicht. Mit den Bildern wollte Pohl insbesondere die Frage beantworten, wie Spiralarmstrukturen, gebildet durch die Wechselwirkung neu entstandener Planeten mit dem in der Scheibe verbliebenen Gas, in Hochkontrast-Bildern aussehen würden. Das Ergebnis der

Studie war, dass der Kontrast solcher Spiralarme durchaus oberhalb der Nachweigrenze heutiger Teleskope liegt, mit anderen Worten: dass Astronomen gute Chancen haben, in einer Scheibe eingebettete Planeten anhand der Spiralspuren nachzuweisen, die sie hinterlassen. In den drei Bildern ist jeweils das simulierte Bild einer Scheibe im gestreuten (polarisierten) Licht zu sehen (H-Band, Wellenlänge  $\lambda = 1.65 \mu\text{m}$ ). Das Scheibenmaterial entspricht dabei 20% der Masse des Zentralsterns. Die Zentralregion ist ausgeblendet, wie es auch bei tatsächlichen Beobachtungen mithilfe eines Koronografen bewerkstelligt wird.

torien wie das Very Large Telescope der ESO, das Large Binocular Telescope in Arizona, das IRAM-Interferometer auf dem Plateau de Bure (das seit neuestem NOEMA heißt), das Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array ALMA und das Karl G. Jansky Very Large Array. Beobachtungen mit diesen Teleskopen geben Einblicke in die Physik und Chemie des interstellaren Mediums und der frühesten Stadien von Stern- und Planetenentstehung.

Hohe räumliche Auflösung – die Fähigkeit, winzigste Details abzubilden – ist der Schlüssel zu vielen der Beobachtungen, die unser Verständnis der Stern- und Planetenentstehung erweitern. Die Größenskalen, auf denen Molekülwolken fragmentieren und kollabierende Unterwolken bilden, oder auf denen Planeten in protoplanetären Scheiben entstehen, sind astronomisch gesehen sehr klein.

Die PSF-Abteilung ist an mehreren Projekten beteiligt, die sich dieser Herausforderung stellen: Die Technik der Adaptiven Optik gleicht die Verzerrungen aus, die Bilder astronomischer Objekte beim Durchgang durch die Erdatmosphäre erleiden. So können große Teleskope ein besonders großes Auflösungsvermögen erreichen.

Für sogenannte interferometrische Beobachtungen wiederum werden mehrere Teleskope so zusammengeschaltet, dass das resultierende Auflösungsvermögen dem eines deutlich größeren Einzelteleskops entspricht. Infrarot-Interferometrie mit Großteleskopen und großen Basisspannen ist ebenso Teil unserer Beobachtungsprogramme wie die Nutzung von (Sub-)Millimeter- und Radio-Interferometern.

### Sternentstehung verstehen

Eine der Schlüsselfragen der Sternentstehung betrifft die Massenverteilung neuer Sterne, die Initial Mass Function (IMF): Wie wahrscheinlich ist es, dass beim Kollaps einer Molekülwolke Sterne mit geringerer Masse (wie unsere Sonne) oder mit höheren Massen (wie einige der Objekte im Sternentstehungsgebiet des Orion) entstehen? Konkreter: Wie hängt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Stern der Masse  $M$  entsteht, vom Wert von  $M$  ab?

Das führt zu der allgemeineren Frage, welche Eigenschaften einer Wolke die Eigenschaften der Sterne beeinflussen, die aus der Wolke entstehen, und welche physikalischen Prozesse dabei welche Rolle spielen. Offen sind dabei insbesondere die Fragen danach, wie Magnetfelder oder Turbulenzen das Einsetzen der Sternentstehung beeinflussen – auch davon hängt die Massenverteilung der dabei gebildeten Sterne oder substellaren Objekte ab.

Im allgemeinen werden kollabierende Molekülwolken fragmentieren, so dass nebeneinander Doppel- oder noch umfangreichere Mehrfachsysteme entstehen. Besonders massereiche Sterne bilden sich ganz generell in größeren Haufen, in denen das Umfeld für die Sternentstehung deutlich komplexer ist als anderswo. Die schnelle Entwicklung massereicher Protostärne und die damit zusammenhängenden energetischen Phänomene machen es zu einer großen Herausforderung, die Entwicklungswege massereicher Sterne nachzuvollziehen.

Wie entstehen Molekülwolken aus Wolken von Wasserstoffatomen? Was reguliert den Beginn und die Effizienz von Sternentstehungsprozessen? Was löst die Fragmentierung von Molekülwolken aus? Welche Rolle spielen Filamentstrukturen bei der Sternentstehung? Gibt es eine maximale Masse für neue Sterne, und wie lange dauert es, bis ein Sternhaufen entstanden ist? Diese und weiteren Fragen gehen die Wissenschaftler der PSF-Abteilung nach.

### Ein Blick ins Verborgene

Die frühesten Stadien der Sternentwicklung sind hinter enormen Mengen von Staub und Gas verborgen und können nur durch empfindliche Beobachtungen im Ferninfrarot- und (Sub-)Millimeterbereich nachgewiesen werden. In späteren Stadien senden die betreffenden Objekte bereits selbst nachweisbare Mengen von Wärmestrahlung aus und werden bei nah- und mittelinfraroten Wellenlängen sichtbar. Noch später treiben die jungen Sterne ihren Kokon aus Gas und Staub auseinander und lassen sich dann auch im sichtbaren Licht beobachten.

Ein Grundgesetz der Hydrodynamik, nämlich die Erhaltung des Drehimpulses, führt dazu, dass Materie vor allem auf dem Umweg über eine zirkumstellare Scheibe auf einen Protostern einfällt. Scheiben rund um T-Tauri-Sterne – junge Sterne mit einer Masse von bis zu 3 Sonnenmassen – und die etwas massereichenen Herbig Ae/Be-Sterne sind natürliche Geburtsstätten für Planetensysteme.

Während der Protostern noch Materie aus der ihn umgebenden Scheibe anzieht (Akkretion) wird einiges von dem Material senkrecht zur Scheibebene hinausgeschleudert – in Form von Ausflüssen molekularen Gases ebenso wie in Form ionisierter Jets. Die direkte Beobachtung von Scheiben und der damit assoziierten Phänomene kann Aufschlüsse sowohl über die Entstehung unseres eigenen Sonnensystems als auch, allgemeiner, über die Vielfalt von Planetensystemen liefern.

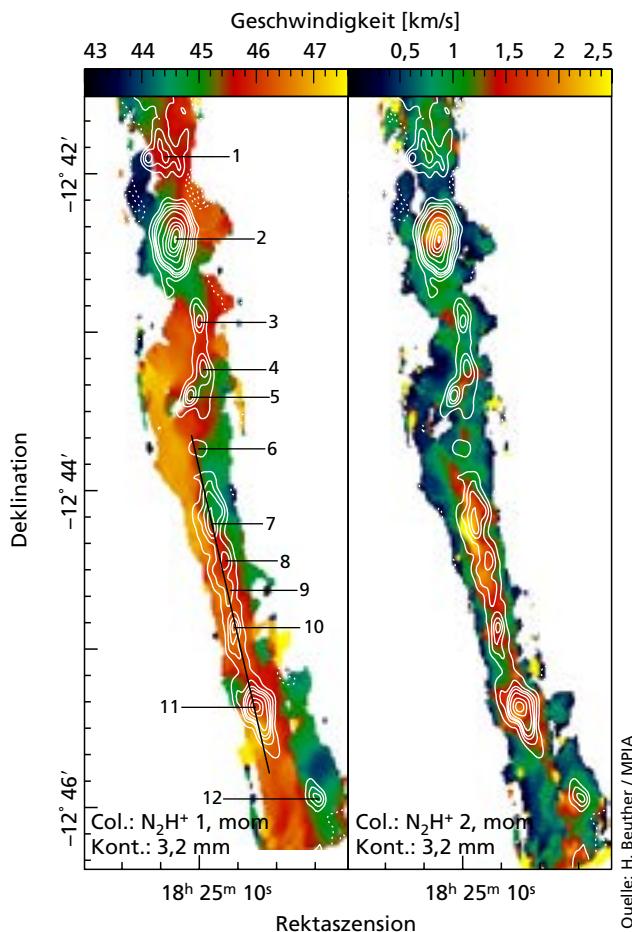
**Abb. II.1.4:** Der Kollaps einer Molekularwolke bei der Sternentstehung findet in verschiedenen Phasen statt: Teile der Wolke ziehen sich zu länglichen Filamenten zusammen, und Abschnitte dieser Filamente wiederum kollabieren, so dass Sterne entstehen. Henrik Beuther und seine Kollegen beobachteten das Filament IRDC 18223 im Sternbild Schild (Scutum) mithilfe des IRAM Plateau-de-Bure-Interferometers mit so hoher Auflösung, dass 12 unterscheidbare Kernregionen (cores) sichtbar würden. Beide Bilder nutzen Daten, die in einem engen Frequenzband entsprechend dem Übergang (1-0) für das Ion Diazetyl ( $N_2H^+$ ) aufgenommen wurden. Das linke Bild zeigt Dopplerverschiebungen als Maß für die Durchschnittsgeschwindigkeit der Materie in jedem Pixel zum Beobachter hin oder von ihm weg. Das rechte Bild zeigt anhand der Breite der entsprechenden Linien an, wie groß das Durcheinander der Bewegungen innerhalb des abgebildeten Pixels ist, als Maß für die Geschwindigkeitsvielfalt in der betreffenden Region. Die Konturen zeigen Infrarot-Helligkeiten bei einer Wellenlänge von 24  $\mu m$ , aufgenommen mit dem NASA-Weltraumteleskop Spitzer.

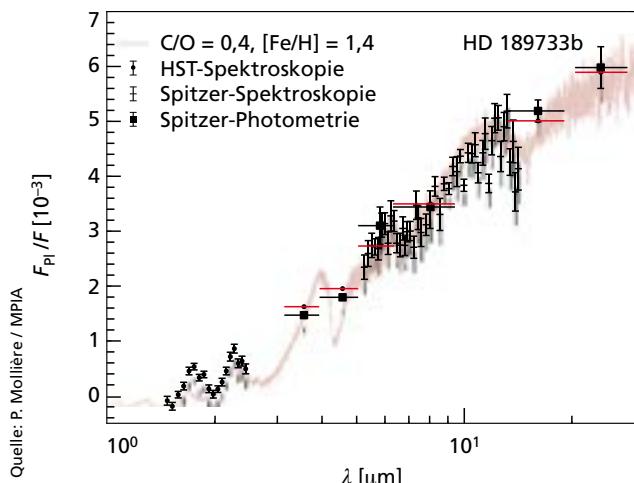
### Beobachtungen vom Boden und aus dem Weltraum

Eines der Ziele der PSF-Abteilung besteht darin, die frühesten Phasen der Entwicklung sowohl für Sterne niedriger Masse als auch für massereiche Sterne zu verstehen – wobei die Ergebnisse zu Sternen niedriger Masse wiederum wichtige Informationen zu den Voraussetzungen der Planetenentstehung liefern, während Wissen über massereiche Sterne zum Verständnis der Entwicklung von Galaxien wichtig ist.

Mithilfe von Weltraumteleskopen wie dem Hubble-Teleskop sowie mit bodengestützten Infrarot-, (Sub-) Millimeter- und Radioteleskopen beobachten und untersuchen die PSF-Forscher die Sternentstehung ebenso wie die anschließende Entwicklung junger Sterne – von substellaren Objekten bis hin zu den Sternen mit den größten bislang bekannten Massen. Dazu haben die Wissenschaftler umfangreiche Beobachtungsprogramme ins Leben gerufen, die einige der besten Observatorien weltweit nutzen.

Aktuell ist die PSF-Abteilung dabei, eine Reihe von Beobachtungsprojekten im Themengebiet Sternentstehung und protoplanetare Scheiben für das James Webb-Weltraumteleskop vorzubereiten (James Webb Space Telescope, JWST), den Nachfolger des Hubble-Weltraumteleskops, der 2018 starten soll. Als Konsor-





**Abb. II.1.5:** Astronomen können aus dem Spektrum eines Exoplaneten auf Atmosphäreneigenschaften des Planeten zurückschließen – und auf diese Weise eines Tages vielleicht sogar das Vorhandensein von Leben auf solch einem Planeten nachweisen! Um solche Spektren besser zu verstehen simulieren die Forscher der PSF-Abteilung mithilfe von Strahlungstransport-Software die Eigenschaften des Lichts, das Planeten mit unterschiedlichen Eigenschaften aussenden sollten. Das Bild zeigt das simulierte Spektrum für den Exoplaneten HD 189733b, basierend auf Arbeiten des MPIA-Doktoranden Paul Mollière und seiner Kollegen. Zum Vergleich sind Beobachtungsdaten aufgetragen, die für den betreffenden Planeten mithilfe unterschiedlicher Teleskope aufgenommen wurden, als der Planet von der Erde aus gesehen vor seinem Zentralstern vorbeizog.

tiumsmitglied für das JWST-Instrument MIRI haben wir Zugriff an ein garantiertes Kontingent an Beobachtungszeit mit diesem Instrument.

Ein weiteres Instrument, dessen Konstruktion gerade begonnen hat, wird mit am Start sein, wenn das größte bodengestützte Teleskop der nächsten Generation in Betrieb geht: das derzeit im Bau befindliche European Extremely Large Telescope (E-ELT) mit 39-Meter-Spiegeldurchmesser. Die PSF-Abteilung wird das Kamerasystem und einen Teil der Adaptiven Optik für METIS liefern, das Instrument für Beobachtungen im mittleren Infrarotbereich für das E-ELT.

### Planetenentstehung und Planeten um andere Sterne

Mit dem Nachweis der ersten extrasolaren Planeten im Jahre 1995 trat die Erforschung der Planetenentstehung in protoplanetären Scheiben in eine neue Phase ein. Anstatt nur auf ein einziges Beispiel zurückgreifen zu können – unser eigenes Sonnensystem – standen den Astronomen nun zunächst dutzende, dann hunderte und inzwischen tausende Beispiele für Planetensysteme zur Verfügung, die sich untersuchen und miteinander vergleichen ließen.

Astronomen der PSF-Abteilung nehmen aktiv teil an Beobachtungsprogrammen, mit denen sich solche Planeten mithilfe direkter Abbildungen, durch die Transitme-

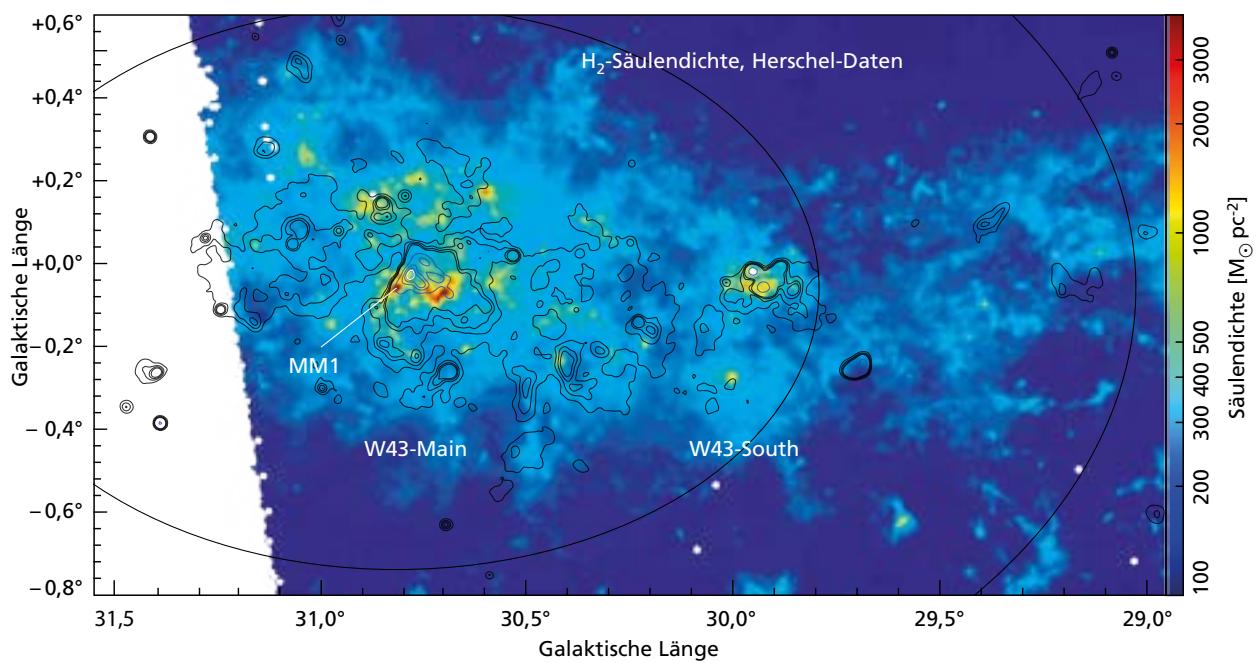
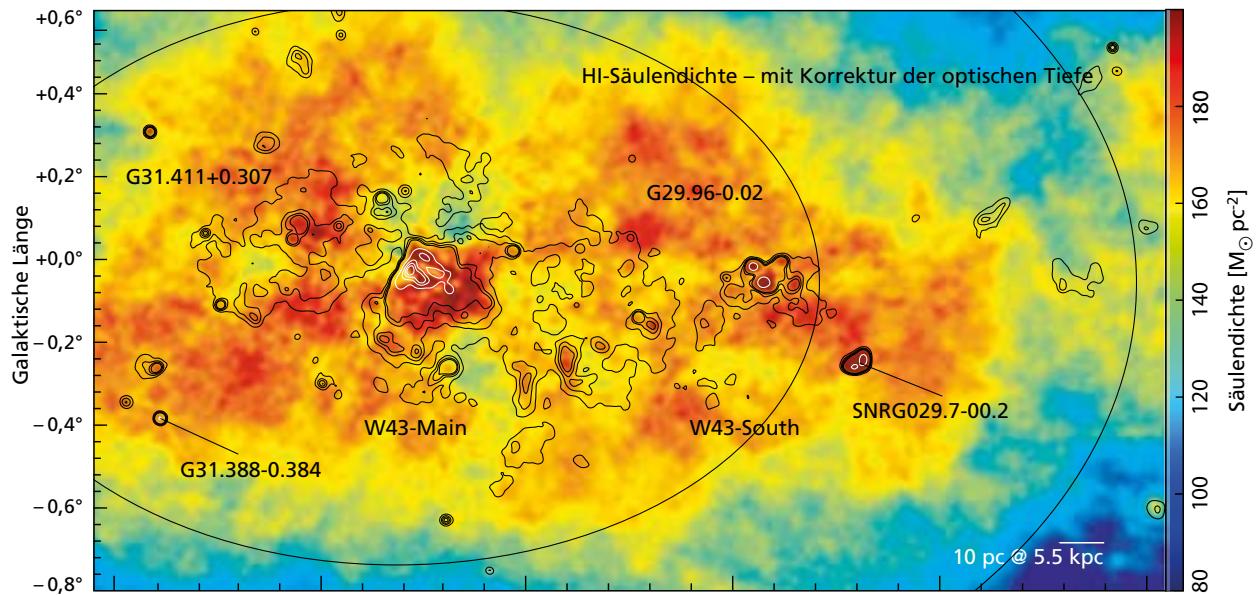
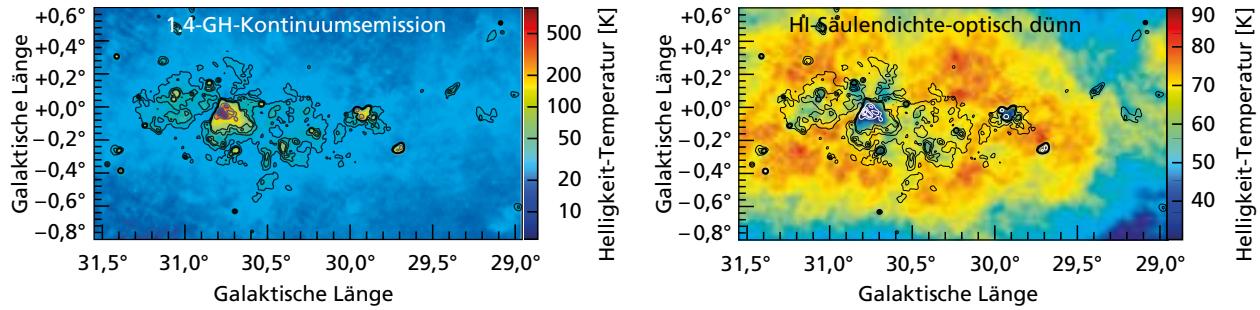
thode und über Radialgeschwindigkeitsmessungen von Beobachtungszielen des Weltraumteleskops Kepler nachweisen lassen. Das HATSouth-Transitnetzwerk mit drei Beobachtungsstationen in Chile, Australien und Namibia hat uns geradezu eine Flut neuer Entdeckungen beschert, und die Missions-Verlängerung K2 des Kepler-Weltraumteleskops erlaubt es uns, Supererden um vergleichsweise helle Sterne nachzuweisen.

Das Konsortium des Planetenjäger-Instruments SPHERE, an dem das MPIA als Co-PI-Institut in einer Leitungsposition beteiligt ist, führt derzeit die größte Durchmusterung durch, die mithilfe eines Teleskops der 10-Meter-Klasse direkte Abbildungen von Exoplaneten anfertigt. Außerdem erhalten wir von diesem Instrument Bilder von Scheiben, in denen Planeten entstehen, mit einem nie zuvor erreichten Detailreichtum – von Ringen bis hin zu Spiralarmen, die auf eine komplexe Dynamik der Wechselwirkung von Planeten und Scheibe hindeuten.

Die Abteilung ist außerdem in entscheidender Position am LEECH-Programm am Large Binocular Telescope (LBT) in Arizona beteiligt und hat am Very Large Telescope der ESO in Chile eine Suche nach jungen Planeten begonnen, die NACO nutzt, ein Instrument mit Adaptiver Optik.

Zwei weitere Instrumente, an denen die PSF-Abteilung in technischer ebenso wie in wissenschaftlicher Hinsicht beteiligt ist, stehen kurz vor der Fertigstellung: GRAVITY

**Abb. II.1.6:** Wie entstehen aus Wolken von Wasserstoffatomen (HI) die Molekülwolken ( $H_2$ ), in denen sich neue Sterne bilden können? Diese Frage war Ausgangspunkt von »The HI/OH/Recombination line survey«, zu deutsch etwa die HI-OH-Rekombinationslinien-Durchmusterung (unserer Milchstraße), abgekürzt THOR, die Henrik Beuther, Simon Bühr und Kollegen durchgeführt haben. THOR nutzte das Very Large Array (VLA) des Nationalen Radioastronomischen Observatoriums der USA (NRAO) kombiniert mit Daten des ESA-Weltraumteleskops Herschel und der fliegenden Sternwarte SOFIA, um einen von der Nordhalbkugel aus gut sichtbaren Ausschnitt der Scheibenebene unserer Galaxie zu untersuchen. Aus den dabei erhaltenen Daten können die Forscher Rückschlüsse auf dynamische Prozesse im interstellaren Medium sowie auf die Wolkenbildung für atomaren und molekularen Wasserstoff ziehen und ihre Ergebnisse mit den Vorhersagen theoretischer Modelle vergleichen. Das Bild oben links zeigt Strahlung im Bereich der 21-Zentimeter-Linie, die das Vorhandensein von atomarem Wasserstoff HI anzeigt. Das Bild oben rechts zeigt eine Rekonstruktion der Menge von Wasserstoff entlang der jeweiligen Sichtlinien (Säulendichte) – unter der Standardannahme, dass wir tatsächlich Strahlung von allen Wasserstoffatomen empfangen können, die sich dort befinden (Wolke als optisch dünnes Medium). Eine systematische Studie von Quellen, die sich hinter den betrachteten Wasserstoffwolken befinden, zeigt allerdings, dass diese Annahme falsch ist: Einige Teile der Wasserstoffwolke werden von anderen Teilen verdeckt; zumindest einige Regionen sind optisch dick. Anhand der Hintergrundquellen lässt sich auch schließen, welche Korrekturen man anbringen muss, um die Gesamtmenge des in der Wolke vorhandenen Wasserstoffs nachzuweisen. Die entsprechende Dichtekarte (wiederum Säulendichte) ist im mittleren Abbildungsteil zu sehen und stellt eines der Hauptergebnisse von THOR dar. Im unteren Bild ist zum Vergleich die Menge an molekularem Wasserstoff in jeder Teilregion gezeigt (Säulendichte), basierend auf der HiGAL-Durchmusterung mit dem Weltraumteleskop Herschel.



Quelle: S. Böhr / MPIA

und MATISSE. Beide werden am Very Large Telescope Interferometer der ESO zum Einsatz kommen. Mit diesen Instrumenten wird es möglich sein, protoplanetare Scheiben mit bis dahin nicht erreichter räumlicher Auflösung zu untersuchen – ideale Ergänzung für unsere Beobachtungen mit den (Sub-)Millimeter-Interferometern IRAM und ALMA.

### Stern- und Planetenentstehung im Computer

Für ein tieferes Verständnis dessen, was bei der Planeten- und Sternentstehung abläuft, ist es nötig, die Zusammenhänge zwischen astronomischen Beobachtungen und den zugrundeliegenden physikalischen Prozessen aufzuklären.

Die theoretischen Arbeiten der PSF-Abteilung konzentrieren sich auf umfangreiche numerische Simulationen protoplanetarer Scheiben, inklusive des Wechselspiels zwischen Strahlung, Dynamik, Chemie und der Entwicklung der Staubkörner. Weitere Forschungsthemen der Theorie-Gruppe sind die Entstehung massereicher Sterne sowie die Sternentstehung auf galaktischen Skalen.

Die Theoriegruppe der PSF-Abteilung entwickelt Software zur Simulation mehrdimensionalen Strahlungs transports, die nachvollziehen kann, wie sich Strahlung durch Molekülwolken, deren verdichtete Kernregionen, protoplanetare Scheiben sowie durch die Atmosphäre von Planeten ausbreitet. Mithilfe der Software lassen sich einerseits Bilder und Spektren interpretieren, die Wolken oder Scheiben zeigen. Umgekehrt erlaubt es die Software, für magneto-hydrodynamische Simulationen zu erschließen, wie sich die betreffenden Objekte für astronomische Beobachter darstellen würden.

Eine weitere wichtige Anwendung der Strahlungs transports-Software betrifft Planetenatmosphären. Für sie lässt sich mithilfe der Software berechnen, welche Transmissions- oder Emissionsspektren bodengebundene oder Weltraumteleskope für verschiedene Sorten von Exoplaneten messen würden.

Gerade angelaufen ist ein vielseitiges Programm, das den Bogen schlägt zwischen der Planetenentstehung einerseits und den Eigenschaften der Planeten und ihrer Atmosphären andererseits. Das Programm dient zur Vorbereitung der Analyse von planetaren Spektren, wie sie das JWST aufnehmen können wird.

### Vom Kosmos ins Laboratorium und zurück

Ein besseres Verständnis der Physik des interstellaren Mediums und protoplanetarer Scheiben setzt Detailkenntnisse der mikrophysikalischen Prozesse in Gas und Staub unter den betreffenden Umgebungsbedingungen voraus. Dasselbe gilt für die Interpretation von Spektren der Objekte. Solche Detailkenntnisse wiederum lassen sich nur durch gezielte experimentelle Forschung im Labor erlangen.

Dementsprechend gehört zur PSF-Abteilung eine Gruppe Labor-Astrophysik, die am Institut für Festkörperphysik der Universität Jena angesiedelt ist. Diese Gruppe erforscht die spektroskopischen Eigenschaften von Nano- und Mikropartikeln sowie von komplexen Molekülen, insbesondere von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) als einer wichtigen Klasse von Molekülen, die in Gasform in astronomischen Umgebungen vorkommen. Die Gruppe erforscht außerdem die Entstehungsmöglichkeiten für kleine Partikel (z.B. Staubkörner) und deren Wechselwirkung mit molekularen Eisschichten.

Eine ganz andere Verbindung zwischen Kosmos und Labor, nämlich mit den Laboren unserer Kollegen in den Lebenswissenschaften, strebt eine andere Initiative an: die Heidelberg Origins of Life Initiative (HIFOL), welche die PSF-Abteilung jüngst zusammen mit anderen wissenschaftlichen Instituten in Heidelberg gegründet hat. Ziel der Initiative ist es, die grundlegenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse zu verstehen, die bei der Entstehung von Leben eine Rolle spielen, und Zusammenhänge mit den astrophysikalischen Bedingungen herzustellen, die für die Entstehung von Leben wichtig sind.

## II.2 Abteilungen

# Galaxien im kosmologischen Kontext (GC)

### Wie das Universum interessant wurde

Kurz nach dem Urknall war das Universum fast perfekt homogen und einfach, mit anderen Worten: ebenso elegant wie langweilig. Das ist ein markanter Gegensatz zum heutigen Universum mit seiner reichen Hierarchie an Strukturen auf einem weiten Spektrum von Längenskalen – von den Filamenten der Galaxienverteilung im sogenannten kosmischen Netz bis hinunter zu Galaxien, Sternhaufen, einzelnen Sternen und ihren Planeten. Dieser Reichtum an Struktur macht das Universum sowohl interessant als auch komplex. Die Entstehung all dieser großräumigen Strukturen scheint durch Gravitations-Instabilitäten vorangetrieben zu werden: durch Materie, die sich unter dem allgegenwärtigen Einfluss der Schwerkraft zusammenzieht und so größere Strukturen bildet, die ihrerseits kollabieren und sich zusammenziehen. Auf der Größenskala der Galaxien kommt noch eine Vielzahl weiterer physikalischer Effekte ins Spiel.

Um nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ zu verstehen, wie in einem expandierenden Universum die um uns herum beobachtbaren Strukturen entstehen, benötigen die heutigen Modelle eine besondere Zutat: sogenannte Dunkle Materie, die zwar Masse und damit auch Gravitationsanziehung besitzt, aber nicht mit elektromagnetischer Strahlung in Wechselwirkung tritt. Die genaue Natur dieser Dunklen Materie ist derzeit noch ungeklärt. Und es kommt noch schlimmer: Beobachtungen zeigen, dass sich die Expansion des Kosmos beschleunigt. Um das erklären zu können, müssen Astronomen einen noch exotischeren Inhaltsstoff postulieren: Dunkle Energie, die als eine Art abstoßende Kraft wirken kann.

An einigen Orten im Universum führen Gravitations-Instabilitäten zu dichten Konzentrationen Dunkler Materie. Dort kann sich auch normale Materie sammeln und konzentrieren, so dass sich aus dichten Gaswolken Sterne bilden. Diese Orte nennen wir Galaxien, und zumindest von der Größenskala her sind sie die zentralen Elemente in der Strukturhierarchie des Kosmos.

### Ordnung im Reich der Galaxien

Galaxien gibt es auf einem weiten Spektrum von Längenskalen. Eine Galaxie kann sich von einer anderen um viele Größenordnungen unterscheiden: der Gesamtmasse ihrer Sterne, der Rate der Sternentstehung, der Größe der Schwarzen Löcher in ihren Zentren oder schlicht in ihren Ausmaßen.

Und doch stellte bereits Edwin Hubble vor 80 Jahren fest, dass diese »Inseluniversen« nicht so vielfältig sind, wie sie es den physikalischen Gesetzen nach sein könnten. Beobachtungen, insbesondere aus den letzten 15 Jahren, haben Hubbles Beobachtungen bestätigt und wichtige Details hinzugefügt: Nur einen kleinen Bruchteil aller möglichen Eigenschaftskombinationen für Galaxien (Sternmassen, Masse des zentralen Schwarzen Lochs und mehr) finden wir im Universum tatsächlich vor. So gut wie alle physikalischen Eigenschaften von Galaxien hängen direkt miteinander zusammen: Massereiche Galaxien sind gleichzeitig groß; die Masse des zentralen Schwarzen Lochs ist proportional zur kugelförmigen Verteilung der Sterne in den Zentralregionen der Galaxie (»Bulge«), obwohl viele Größenordnungen zwischen diesen beiden Strukturen liegen (nämlich ein Faktor von rund zehn Millionen). Sprialgalaxien sind die häufigste Art von Galaxien im Universum, aber keine der massereichsten Galaxien gehört zu dieser Sorte.

All dies bedeutet, dass das »Reich der Galaxien«, wie Hubble es nannte, einen hohen Grad an Ordnung aufweist. Wie entwickelte sich diese Ordnung aus den winzigen, zufälligen Dichtefluktuationen kurz nach dem Urknall? Das ist die grundlegende Frage der Galaxienentstehung, und ein zentrales Thema der Kosmologie.

### Vom Gas zu den Sternen

Sterne sind die allgegenwärtigen, direkt sichtbaren und definierenden Bestandteile von Galaxien. Sie entstehen aus interstellarem Gas, insbesondere aus Molekülwolken: aus Gas, das hinreichend kühl ist, dass seine Atome sich zu Molekülen zusammenfinden können, insbesondere zu Wasserstoffmolekülen  $H_2$ . Das allermeiste Gas im Universum findet man allerdings außerhalb von Galaxien, im intergalaktischen Medium – und das gilt für alle Epochen der kosmischen Geschichte.

Um die Galaxienentwicklung zu verstehen, muss man verstehen, wie Gas sich abkühlt, sich in den durch die Dunkle Materie hervorgebrachten Gravitations-Potenzialtöpfen sammelt, zu Molekülwolken abkühlt und am Ende Sterne hervorbringt. Ebenso interessant sind die Prozesse, die der Sternbildung entgegenwirken: Wie wird Gas aufgeheizt und dabei eventuell sogar aus Galaxien hinausgeschleudert – sei es durch die intensive Strahlung junger Sterne, durch Supernovae oder in Anwesenheit eines aktiven zentralen Schwarzen Lochs?

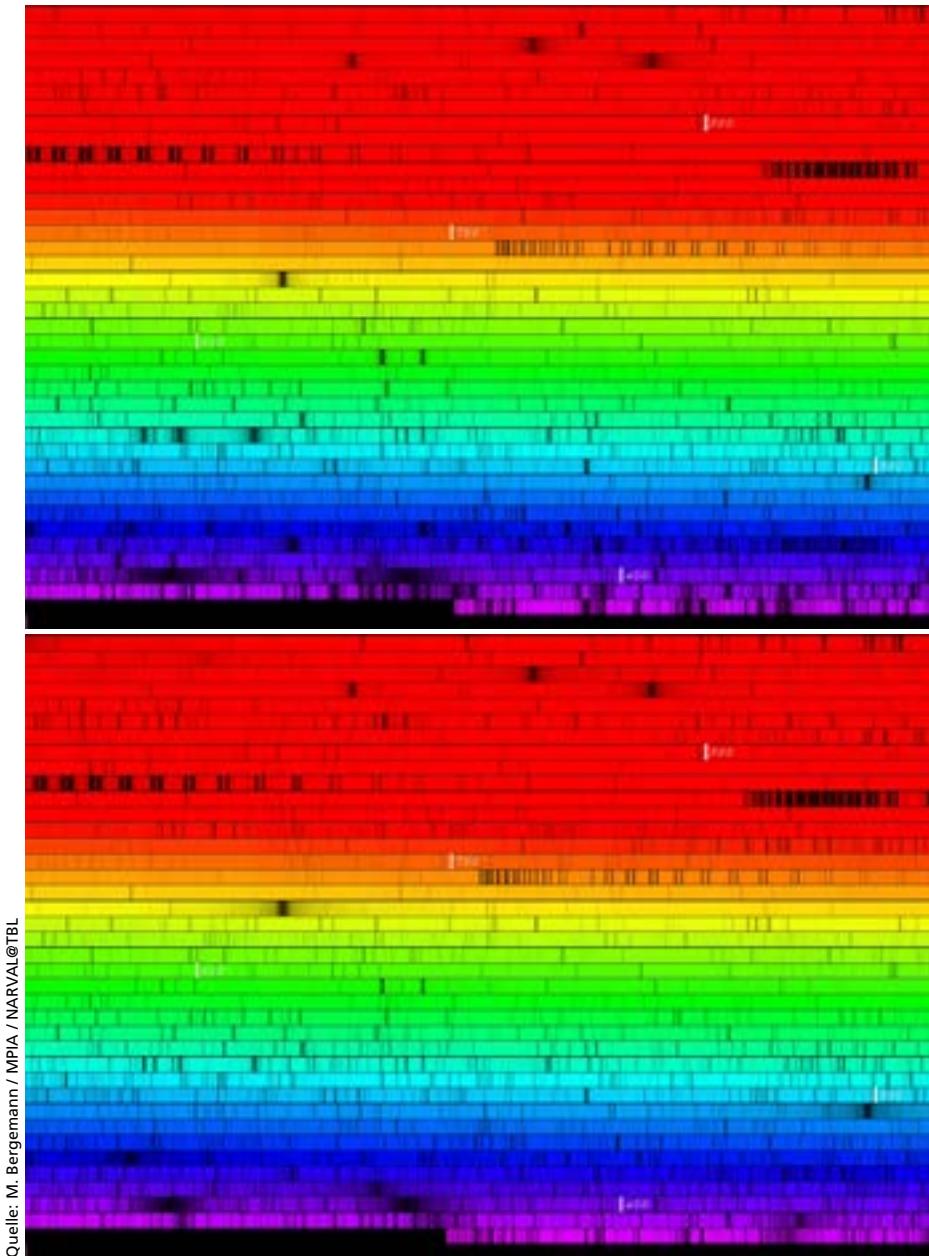
Die Kreisläufe von galaktischem und zirkumgalaktischem Gas sind noch bei weitem nicht vollständig verstanden. Um hier Fortschritte zu erzielen, müssen wir Wege finden, die unterschiedlichen Sorten von Gas genauer zu untersuchen: molekulares Gas ebenso wie neutrales (atomares) und ionisiertes Gas. Das erfordert ein breites Spektrum an Beobachtungstechniken, von Submillimeterbeobachtungen molekularer Linien bis hin zu UV-Absorptionslinien, die durch heißes Gas hervorgerufen werden. Um Quasar-Absorptionslinien zu beob-

achten, einer der jüngeren Forschungsschwerpunkte am MPIA, kommen Einrichtungen wie ALMA, das IRAM-Plateau-de-Bure-Interferometer und große optische Teleskope zum Einsatz.

Es gibt drei unterschiedliche Erklärungsmöglichkeiten für die begrenzte Vielfalt im Zoo der Galaxien. Entweder sind diejenigen Eigenschaftskombinationen, die wir tatsächlich beobachten können, die einzigen Kombinationen, die über lange Zeit hinweg stabil sind. Angenommen, Galaxien verbrächten einen Groß-

**Abb. II.2.1:** Hochaufgelöste Spektren für vier Sterne:  $\mu$  Cassiopeiae (links oben), Prokyon (links unten),  $\mu$  Leonis (rechts oben) und die Sonne (rechts unten). Diese Spektren wurden mit dem NARVAL-Spektrografen am Télescope Bernard Lyot des Observatoire Midi-Pyrénées aufgenommen. Das betreffende Beobachtungsprogramm

nimmt Spektren auf, welche die mit dem Astrometriesatelliten Gaia aufgenommenen Daten ergänzen sollen. Die detaillierte Analyse von Hunderttausenden solcher Spektren aus allen Regionen unserer Heimatgalaxie sind der Schlüssel zum Verständnis der Herkunft der chemischen Elemente und der Entstehungsgeschichte der Milchstraße.



teil ihres Daseins in einer dieser stabilen Konfigurationen und hätten allenfalls für kurze Übergangsphasen andere Eigenschaften, dann wäre es unwahrscheinlich, dass astronomische Beobachtungen zu einem beliebigen Zeitpunkt (in unserem Falle: der Jetztzeit) mehr als ein paar Galaxien (wenn überhaupt eine) in dieser kurzen Übergangsphase erwischen.

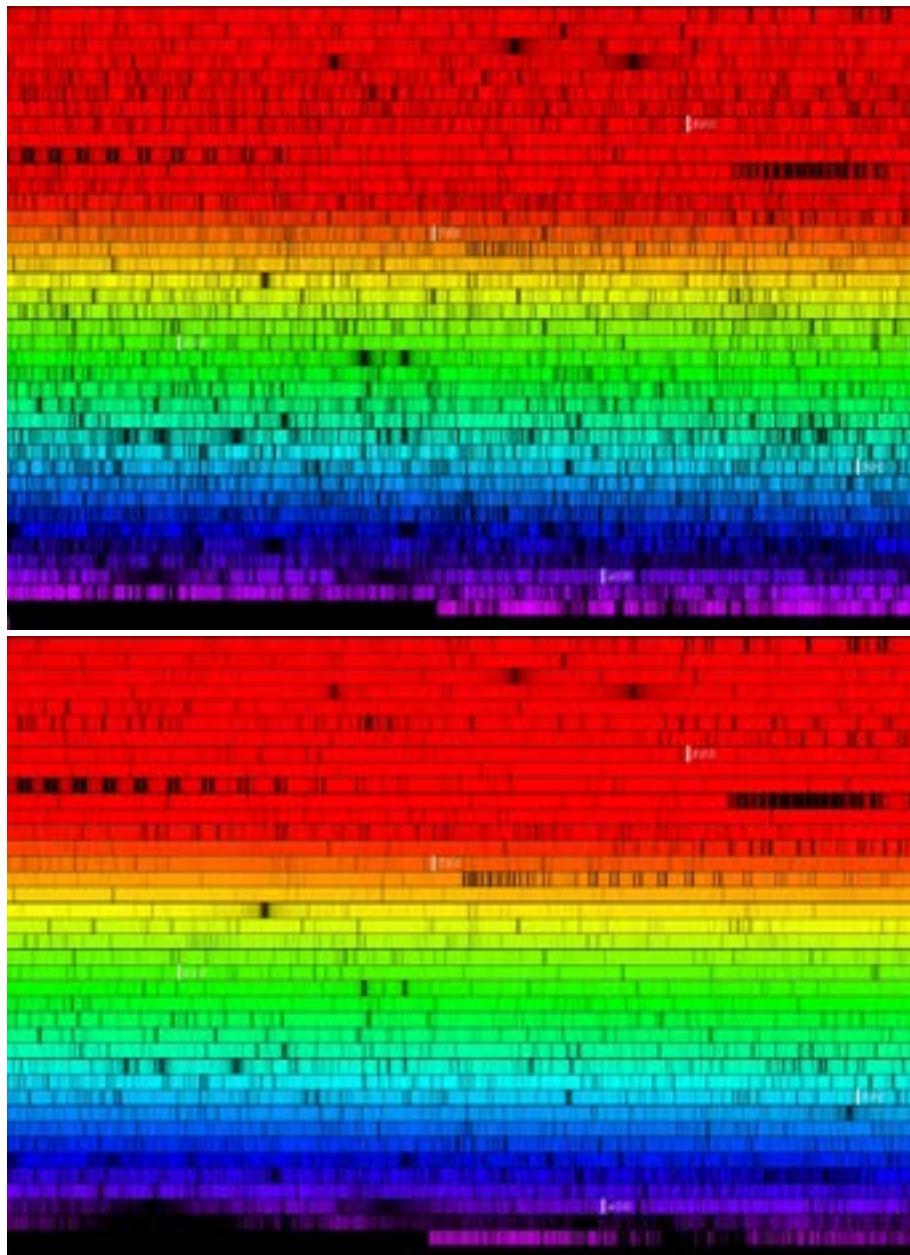
Alternativ ist möglich, dass die Anfangsbedingungen unseres Kosmos nur die Entstehung derjenigen Galaxiensorten zuließen, die wir tatsächlich beobachten. Oder aber die Galaxienentstehung ist ein hochgradig selbstregulierender Prozess, in dem, weitgehend unabhängig von den Anfangsbedingungen, nur bestimmte Endzustände erreicht werden können – eben jene Kombinationen von Eigenschaften, die wir auch tatsächlich beobachten.

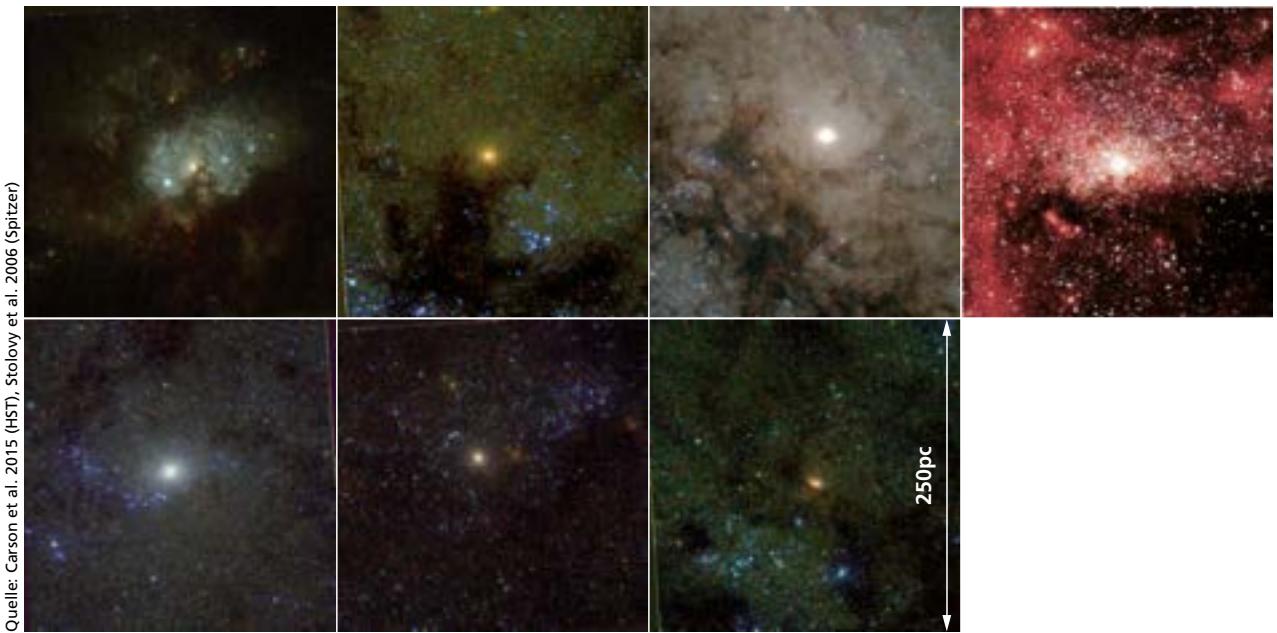
Heutigem Wissen nach könnten alle drei Erklärungsansätze eine Rolle spielen.

### Die richtigen Fragen stellen

Zahlreiche Forschungsprojekte in der GC-Abteilung stehen vor dem Hintergrund der hier umrissenen Grundfragen. Wie so oft liegt der Schlüssel zu erfolgreicher Forschung darin, Grundfragen in praktische Forschungsfragen zu übersetzen, die sich mit den heute verfügbaren Methoden und Werkzeugen beantworten lassen.

Eine Reihe dieser Forschungsfragen betreffen allgemeinere Aspekte der Galaxienentstehung. Welches sind die Eigenschaften des intergalaktischen Mediums, also des extrem dünnen Gases in den Zwischenräumen zwis-





**Abb. II.2.2:** Familienporträt: nukleare Sternhaufen von sechs nahegelegenen Galaxien aus einer neueren Durchmusterung mit WFC3/HST im Vergleich zum nuklearen Sternhaufen unserer Milchstraße (obere Reihe, ganz rechts). Ein nuklearer Sternhaufen befindet sich in der Zentralregion einer Galaxie rund um das zentrale Schwarze Loch. Wenn Materie in die inneren Regionen der Galaxie gelangt, dann fällt ein Teil

davon in das Schwarze Loch während sich aus einem anderen Teil davon eine neue Generation von Sternen im nuklearen Sternhaufen bildet. Forscher wie Nadine Neumayer und ihre Gruppe rekonstruieren die Akkretionsgeschichte des Schwarzen Lochs (sprich: wieviel Materie wann auf das Schwarze Loch gefallen ist) aus der Geschichte des umgebenden nuklearen Sternhaufens.

schen den Galaxien? Dort befindet sich die Mehrzahl der Atome im gesamten Universum. Wie ist dieses Gas aus dem kosmischen Netz in die Galaxien gelangt? Wie wird einiges davon wieder aus den Galaxien ausgestoßen? Und wo und wie wird atomares zu molekularem Gas, so dass Sterne entstehen können? Oder, um die Frage nach dem Verhältnis der Galaxien und dem kosmischen Netz allgemeiner zu formulieren: Welche Arten von Galaxien halten sich in den unterschiedlich großen Halos aus Dunkler Materie auf, die das kosmische Netz enthält?

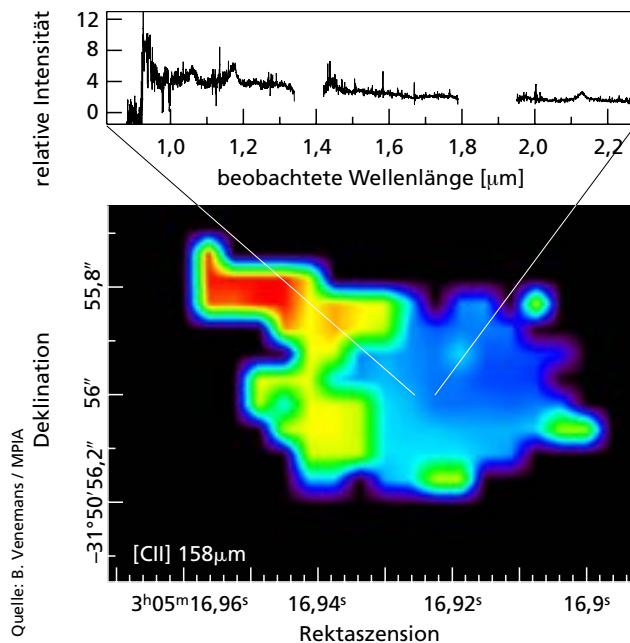
Der Prozess der Sternentstehung auf der Ebene von Galaxien dürfte der Schlüssel zum Aussehen der Galaxien sein. Wann, wie und mit welcher Effizienz wurde das Gas in den Galaxien in Sterne umgesetzt? Die Frage nach dem Wann kann man untersuchen, indem man sehr weit entfernte Galaxien beobachtet. Da das Licht dieser Galaxien einige Zeit benötigt, um uns zu erreichen, sehen wir diese Galaxien immer so, wie sie zu einer bestimmten Zeit in der Vergangenheit waren. Das Wie lässt sich erforschen, indem man für uns nähere Galaxien detaillierte Karten der Verteilung des Gases (also des Rohmaterials der Sternentstehung) und der Sternentstehungsgebiete erstellt.

Ein weiteres Forschungsgebiet der GC-Abteilung beschäftigt sich mit den zentralen Schwarzen Löchern der Galaxien. Warum ist es möglich, die Masse des zentralen Schwarzen Lochs vorherzusagen, wenn man die Gesamtmasse der Galaxie kennt? Wie entstehen diese supermassereichen Schwarzen Löcher, und wie wachsen sie?

Die meisten Galaxien sind soweit von uns entfernt, dass wir ihre Sterne – als ihre wichtigsten und typischsten Bestandteile – nicht einzeln beobachten könnten. Und doch enthalten die chemische Zusammensetzung und die Umlaufbahnen der einzelnen Sterne Hinweise darauf, wo und wann sie entstanden sind. Dass wir Sterne in nahen Galaxien – und insbesondere in unserer eigenen Galaxie, der Milchstraße, individuell beobachten können, stellt damit eine einzigartige Möglichkeit dar, Prozesse der Galaxienentstehung zu verfolgen. Die Herausforderung besteht darin, die Milchstraße zu einer Art von Stein von Rosetta der Galaxienentwicklung zu machen. Dazu müssen wir allerdings alles nur Mögliche über die individuellen Eigenschaften der Sterne und die Eigenschaften von Sternpopulationen lernen. Spektroskopische Beobachtungen und die derzeit laufende Weltraummission Gaia liefern die nötigen Beobachtungsdaten.

### Von der Beobachtung zur Simulation

Um Antworten auf all diese Fragen zu finden, verfolgt die GC-Abteilung drei grundsätzlich verschiedene Ansätze. Zum einen untersuchen wir Galaxien in unserer direkten Nachbarschaft, als Repräsentanten der heutigen Eigenschaften des Universums. Dabei nutzen wir insbesondere die Detailgenauigkeit aus, mit der sich unsere direkte kosmische Umgebung im Vergleich zu ferner Galaxien beobachten lässt.



**Abb. II.2.3:** Geschwindigkeitskarte, abgeleitet aus Messungen der Emissionslinien [CII] bei 158  $\mu\text{m}$  für eine Galaxie mit Quasar bei Rotverschiebung  $z = 6,61$ , als das Universum nur rund 850 Millionen Jahre alt war. Diese ALMA-Daten zeigen, dass die Emissionslinien aus einer nur knapp 10 Lichtjahre großen, möglicherweise rotierenden Region stammen und ausströmende Materie anzeigen. Mit einer geschätzten Sternentstehungsrate von rund 1000 Sonnenmassen pro Jahr ist dies eine der am schnellsten wachsenden Galaxien im frühen Universum. Interessanterweise ist diese Galaxie bei optischen Wellenlängen und im Nahinfraroten unsichtbar, da sie von ihrem aktiven zentralen Schwarzen Loch komplett überstrahlt wird (kleines Bild). Die Beobachtungen stellen daher ein gutes Beispiel für die Leistungsfähigkeit von ALMA für die Untersuchung solcher extremer Galaxien dar.

Zweitens können wir direkt in vergangene Epochen sehen, wenn wir sehr weit entfernte Objekte betrachten (entsprechend großen kosmologischen Rotverschiebungswerten  $z$ ). Astronomen sehen schließlich immer in die Vergangenheit, und wenn das Licht einer fernen Galaxie 9 Milliarden Jahre benötigt, um uns hier auf der Erde zu erreichen, dann zeigen unsere Beobachtungen diese Galaxie so, wie sie vor neun Milliarden Jahren war.

Außerdem vergleichen wir unsere Beobachtungen mit physikalischen Modellen. Diese Strategie erfordert vielfältige Beobachtungsmöglichkeiten: Durchmusterung-

teleskope, die umfangreiche Stichproben kosmischer Objekte liefern, ebenso wie die größten verfügbaren Teleskope, deren Eigenschaft, viel Licht zu sammeln, unverzichtbar ist für die Beobachtung leuchtschwacher Quellen. Erst Techniken wie adaptive Optik und Interferometrie ermöglichen bei entfernten Objekten die nötige Detailgenauigkeit. Umfassende Studien der Galaxienentwicklung benötigen Daten aus allen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums, von Röntgenstrahlung bis hin zu Radiowellen.

### Kooperation und Initiativen

Das MPIA ist in führender Rolle an einer Reihe weltweiter Beobachtungsprogramme beteiligt, die sich den hier skizzierten Forschungsfragen widmen. Dazu gehören sehr tiefe Aufnahmen mit ALMA, die dichtes Gas bei hoher Rotverschiebung nachweisen sollen, ebenso wie umfangreiche Programme am VLT oder an den Keck-Teleskopen, die das intergalaktische Medium studieren, sowie eine VLT-Legacy-Durchmusterung von Galaxien mit hoher Rotverschiebung. Außerdem sind wir führend an einem großen Beobachtungsprogramm mit dem VLA des National Radio Astronomy Observatory in New Mexico, USA, sowie an einem Projekt beteiligt, das mit dem Plateau de Bure-Interferometer von IRAM in den französischen Alpen Gas in vergleichsweise nahen Galaxien untersucht.

Umfangreiche spektroskopische Durchmusterungen nahegelegener Galaxien erfassen die Kinematik der Sternbewegungen. Das erlaubt Rückschlüsse auf die dynamische Struktur und auf die Natur des zentralen Schwarzen Lochs der Galaxie.

Das MPIA spielt außerdem eine Schlüsselrolle bei der Erstellung dreidimensionaler Karten unserer Milchstraße mithilfe der PS1-Durchmusterung und von Gaia, sowie in großen spektroskopischen Durchmusterungen, von denen sich die Forscher ein besseres Verständnis der Vorgeschichte unserer Galaxie erhoffen.

Last but not least ist das MPIA für die Photometrie im Infrarotbereich im Rahmen der Euclid-Mission der ESA verantwortlich. Euclid soll einen der rätselhaftesten Aspekte der Physik auf kosmischen Skalen erforschen: die Natur der Dunklen Energie.

## II.3 Internationale Vernetzung

### Wissenschaftliche Initiativen

**Wissenschaft ist vernetzt, und größere Forschungsvorhaben werden von mehreren Instituten gemeinsam in Angriff genommen: in größeren Konsortien oder als Kooperation zwischen ausgewählten Institu-**

**ten. Das MPIA ist integraler Teil der internationalen astronomischen Forschungslandschaft und an zahlreichen Initiativen beteiligt.**



#### PanSTARRS 1 Sky Survey

Das PS1 Science Consortium betreibt das Pan-STARRS1-Teleskop auf dem Berg Haleakala auf Hawaii. Die astronomische Kamera des Teleskops ist die größte Digitalkamera der Welt. Sie wird genutzt, um eine Art »Himmelsfilm« zu drehen: weite Teile des Himmels zu unterschiedlichen Zeitpunkten wieder und wieder aufzunehmen, um so insbesondere auch Veränderungen von Himmelsobjekten nachweisen zu können. Zu dem Konsortium gehören neben dem MPIA noch neun andere Institutionen aus vier Ländern.



#### Sloan Digital Sky Survey IV

Das MPIA ist Mitglied im Sloan Digital Sky Survey IV (SDSS), einer spektroskopischen Durchmusterung, welche das 2,5-Meter-Teleskop der Sloan Foundation am Apache Point Observatory nutzt. Frühere SDSS haben die Astronomie revolutioniert: Durch ihre umfassenden und hochwertigen spektroskopischen Daten wurden statistische Auswertungen möglich, die vorher nicht durchführbar gewesen wären.



#### Sonderforschungsbereich 881: Das Milchstraßensystem

Das MPIA ist beteiligt an dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereich 881 an der Universität Heidelberg. Der SFB 881 untersucht Eigenschaften unserer Heimatgalaxie, um daraus Rückschlüsse zum einen auf deren Aufbau und Entstehung, zum anderen auf die Entstehung von Galaxien allgemein zu ziehen.



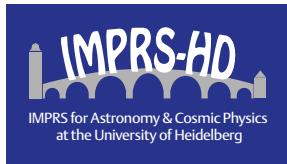
#### Heidelberg Initiative for the Origins of Life

Die Heidelberg Initiative for the Origins of Life (HIFOL) bringt Forscher aus den Bereichen Astrophysik, Geowissenschaften, makromolekulare Chemie, statistische Physik und Lebenswissenschaften der Universität Heidelberg, des Max-Planck-Instituts für Astronomie, des Max-Planck-Instituts für Kernphysik und des Heidelberger Instituts für Theoretische Studien zusammen, die gemeinsam Forschung zur Entstehung des Lebens im Universum betreiben.



### DFG Schwerpunktprogramm SPP 1573: Das interstellare Medium

Das MPIA nimmt am SPP 1573 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) teil, das der Erforschung des interstellaren Mediums gewidmet ist: der hochverdünnten Mischung aus geladenen Teilchen, Atomen, Molekülen und Staubkörnern in den Raumregionen zwischen den Sternen einer Galaxie.



### International Max Planck Research School »Astronomy and Cosmic Physics«

Das MPIA ist an der International Max Planck Research School »Astronomy and Cosmic Physics« an der Universität Heidelberg beteiligt, die deutschen und internationalen Studenten ein systematisches Doktorandenstudium in einem international konkurrenzfähigen Forschungsumfeld ermöglicht (vgl. Abschnitt IV.1).



### HAT-South

Dieses Kooperationsprojekt des MPIA mit der Princeton University, der Australian National University und der Pontificia Universidad Católica de Chile sucht mithilfe eines Netzwerks von sechs identischen Teleskopen auf der Südhalbkugel nach Exoplanetentransits. Die Teleskope befinden sich in Namibia, in Australien und in Chile.

Weitere Initiativen, an denen das MPIA aktiv beteiligt ist, sind das deutsche Interferometriezentrum für den optischen und infraroten Wellenlängenbereich FrInGe, das Netzwerk Opticon für Institute, die sich an der Entwicklung von Instrumenten und Teleskopen im Bereich des sichtbaren und Infrarotlichts engagieren, das internationale Konsortium Chemistry in Disks (CID) zur Chemie und Physik in protoplanetären Scheiben, die strategische Suche SEEDS nach Exoplaneten und ihren Scheiben am

Subaru-Teleskop und die Exoplaneten-Suchkampagne LEECH am Large Binocular Telescope.

Im Oktober 2015 hat das MPIA außerdem eine Vereinbarung mit dem Institut für Physik und Astronomie (IFA) der Universität Valparaíso (UV) in Chile getroffen, die erste Max-Planck-Tandem-Gruppe im Fachgebiet Astronomie in Chile ins Leben zu rufen: eine Forschungsgruppe am IFA, die eng mit dem MPIA assoziiert sein wird.

**Abb. IV.1.1:** Konsortien mit dem Ziel, ein spezifisches astronomisches Instrument zu bauen, gehören zu den für das MPIA wichtigsten Initiativen, an denen das Institut beteiligt ist. In das Jahr 2015 fielen Auftaktveranstaltungen für gleich zwei solcher Konsortien: Die feierliche Unterzeichnung des Vertrags zur Schaffung des Instruments METIS in Leiden

im September und das Auftakt-Treffen des Konsortiums für das Instrument MICADO in Wien im Oktober (im Bild). METIS und MICADO sind zwei der drei Instrumente für die Erstausstattung des European Extremely Large Telescope (E-ELT) der ESO in Chile.



Quelle: MPE / MICADO Consortium

## II.4 Wissenschaftliches Highlight

# Galaktischer »Raketenantrieb« erklärt ungewöhnliche Sternbewegungen in Galaxien

Eine Entdeckung der MPIA-Doktorandin Athanasia Tsatsi hat das astronomische Verständnis von Galaxienzusammenstößen verändert. Sie erklärt bislang nicht recht verstandene Sternbewegungen in den elliptischen Galaxien, die bei solchen Kollisionen entstehen: Regionen, in denen die Sterne gerade anders herum ums galaktische Zentrum umlaufen als im Rest der Galaxie. Bisherige Erklärungsversuche hatten eine spezielle relative Orientierung (»retrograd«) der kollidierenden Galaxien vorausgesetzt. Tsatsi entdeckte eine weitere Möglichkeit, solche »gegenläufigen Zentralregionen« zu erzeugen. Der Massenverlust der beteiligten Galaxien wirkt dabei ähnlich wie eine Art riesiger Raketenantrieb.

Spiralgalaxien wie unsere Milchstraße bieten einem außenstehenden Beobachter einen organisierten Tanz: alle Sterne laufen auf großen Zeitskalen in derselben Richtung um das galaktische Zentrum (unsere Sonne benötigt rund 250 Millionen Jahre, um einen Umlauf zu vollenden). Bei einer anderen Sorte von Galaxien, sogenannten elliptischen Galaxien, können die Bewegungsmuster deutlich komplexer sein. Wie der Name sagt, haben diese Galaxien die Form von Ellipsoiden (grob gesprochen: abgeflachten Kugeln).

In einer Reihe solcher Galaxien gibt es allerdings ein zweifaches Umlaufmuster: Während die Sterne in den äußeren Regionen in eine Richtung rotieren, kann die gemeinsame Umlaufrichtung der Sterne in der Zentral-

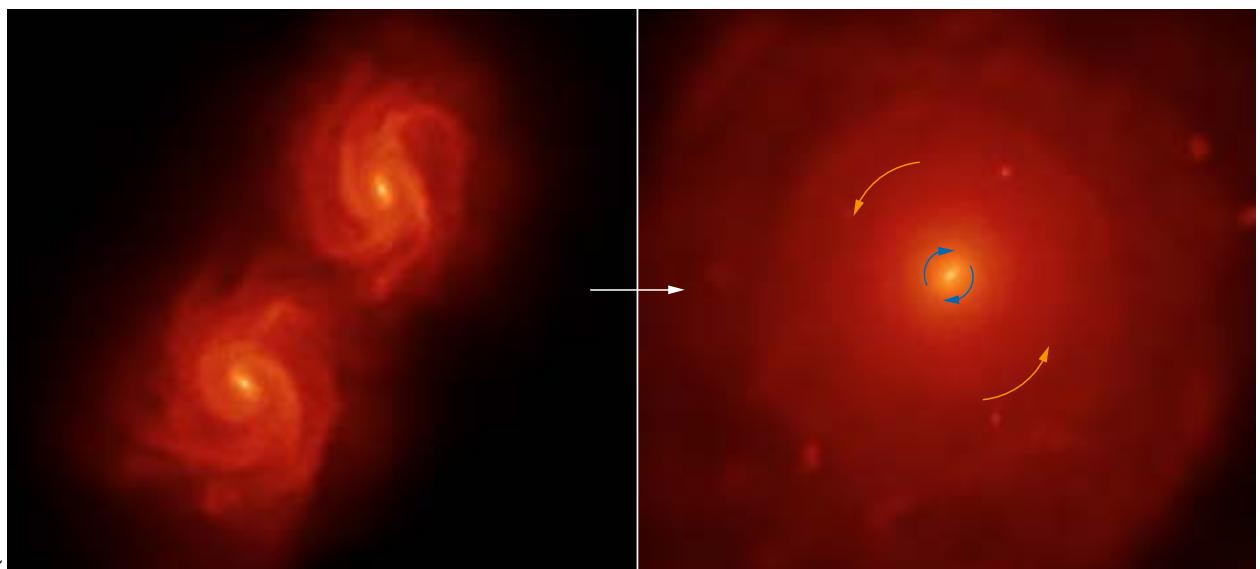
region eine ganz andere sein. Dann hat man es mit einer »gegenläufigen Zentralregion« oder, allgemeiner, mit einer »kinematisch entkoppelten Zentralregion« zu tun, deren Sternbewegungen offenbar ganz unabhängig von dem sind, was im Rest der Galaxie passiert.

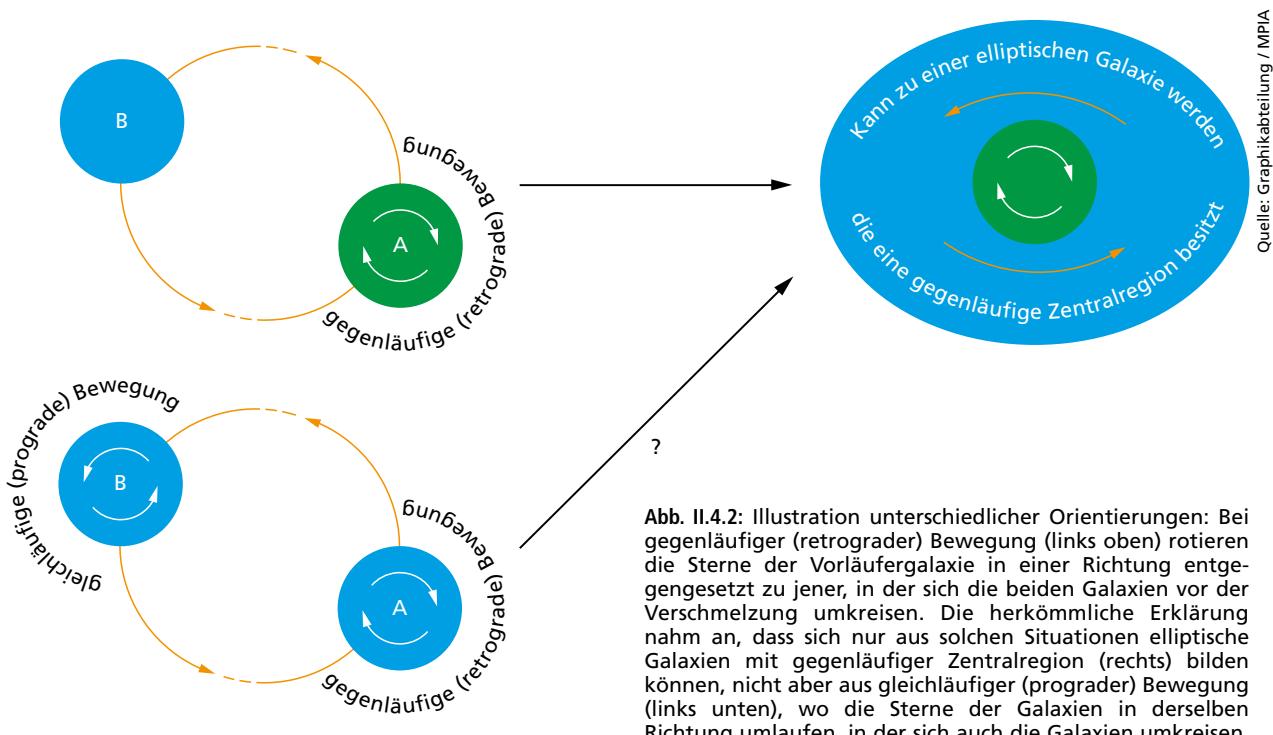
### Warum gegenläufige Zentralregionen?

Zur Erklärung solcher entkoppelten Zentralregionen verweisen Astrophysiker auf die Entstehungsgeschichte der betreffenden Galaxien. Dem heutigen Verständnis nach sind elliptische Galaxien das Ergebnis der Verschmelzung von zwei oder mehreren größeren Vorläufergalaxien (vgl. Abbildung II.4.1).

Das liefert eine eingängige Erklärungsmöglichkeit: Stellen Sie sich vor, die Zentralregion einer der Vorläufergalaxien werde durch die Schwerkraft der darin versammelten Masse besonders gut zusammengehalten. Stellen Sie sich weiterhin vor, der Umlaufsinn der Sterne in jener Vorläufergalaxie sei gerade gegenläufig zu dem Umlaufsinn, mit dem die beiden Vorläufergalaxien sich vor der Verschmelzung umkreisen (»retrograde Verschmelzung«, siehe Abbildung II.4.2).

**Abb. II.4.1:** Momentaufnahmen aus der Simulation, in der Tsatsi die Wirkung des »galaktischen Raketenantriebs« nachweisen konnte: Links Galaxien vor der Verschmelzung, rechts das Ergebnis nach der Verschmelzung.





**Abb. II.4.2:** Illustration unterschiedlicher Orientierungen: Bei gegenläufiger (retrograder) Bewegung (links oben) rotieren die Sterne der Vorläufergalaxie in einer Richtung entgegengesetzt zu jener, in der sich die beiden Galaxien vor der Verschmelzung umkreisen. Die herkömmliche Erklärung nahm an, dass sich nur aus solchen Situationen elliptische Galaxien mit gegenläufiger Zentralregion (rechts) bilden können, nicht aber aus gleichläufiger (prograder) Bewegung (links unten), wo die Sterne der Galaxien in derselben Richtung umlaufen, in der sich auch die Galaxien umkreisen.

Unter solchen Bedingungen scheint es plausibel, dass die stabile Zentralregion nach der Verschmelzung die Zentralregion der neuen elliptischen Galaxie wird, und dass die Sterne darin in genau der gleichen Richtung umlaufen wie vorher. Die umgebenden Sterne dagegen werden in der Gegenrichtung rotieren, dem Drehzinn folgend, in dem die Vorläufergalaxien vor der Verschmelzung umeinander kreisten.

Dieser Zusammenhang kann allerdings nur einen Teil der gegenläufigen Zentralregionen erklären. Insgesamt weist mehr als die Hälfte der massereichsten elliptischen Galaxien kinematisch entkoppelte Zentralregionen auf. Das ist deutlich mehr, als das geschilderte Szenario erklären kann. Schließlich würde man erwarten, dass die Galaxie mit der enger gebundenen Zentralregion nur in der Hälfte der Fälle entgegen der Umlaufrichtung des Galaxienpaars rotiert – und nicht bei allen der Verschmelzungen, die sich anschließen, dürfte sich eine elliptische Galaxie mit gegenläufiger Zentralregion ergeben.

### Überraschende Einsichten dank Simulation

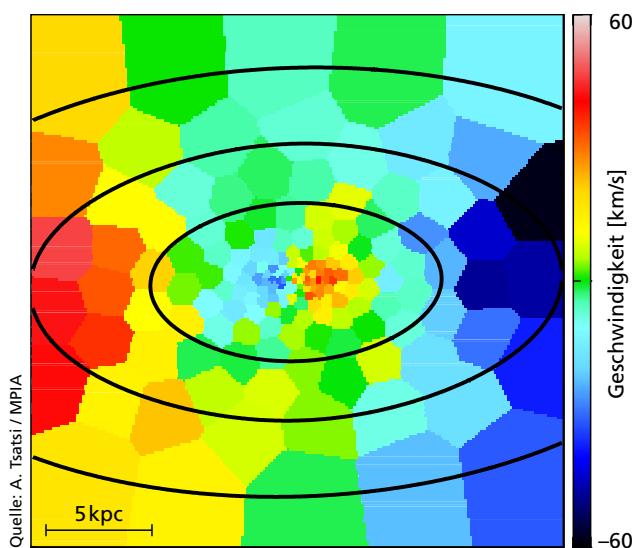
Das war die Ausgangssituation, als Athanasia Tsatsi ihre Forschung als Doktorandin am Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg begann und dazu Computersimulationen von Galaxienzusammenstößen auswerte. Tsatsi ist sowohl Mitglied der IMPRS-HD (siehe Abschnitt IV.1.) als auch Marie Curie Fellow im DAGAL European Initial Training Network, das sich mit der Struktur und Entwicklung von Galaxien beschäftigt.

Tsatsi sah sich Computersimulationen von Galaxienverschmelzungen an. Diese Simulationen zeigen die Entstehung einer elliptischen Galaxie durch die Verschmelzung zweier Spiralgalaxien, und Tsatsis Ziel war es, das Erscheinungsbild der resultierenden Galaxie für astronomische Beobachter zu rekonstruieren: Was würden solche Beobachter auf ihren Kameraaufnahmen und bei ihren spektroskopischen Messungen sehen können? Solche Brückenschläge sind der Schlüssel dazu, die Vorhersagen aus den Simulationen mit tatsächlichen Beobachtungen zu vergleichen.

Die Simulationen, die Tsatsi als Ausgangspunkt nahm, waren von Benjamin Moster während seiner Zeit als Doktorand am MPIA in der Arbeitsgruppe von Andrea Macciò erstellt worden (inzwischen ist Moster an der Universität Cambridge). Sie basieren auf dem von Volker Springel und Kollegen entwickelten kosmologischen Simulations-Code GADGET, der Galaxien als Ansammlung einer Vielzahl von Teilchen modelliert; einige dieser Teilchen stehen für die Sterne der Galaxie, andere für deren Gas und Dunkle Materie. Der GADGET-Code ist dafür gemacht, parallel auf einer Vielzahl von Prozessoren zu laufen. So werden große und doch detaillierte Simulationen möglich.

### Beobachtungen simulieren: Integalfeld-Spektroskopien

Die wichtigste Beobachtungstechnik in Tsatsis Rekonstruktionsarbeit war die sogenannte Integalfeld-Spektroskopie. Bei dieser Art von Beobachtung nehmen Astronomen



**Abb. II.4.3:** In dieser (simulierten) Aufnahme eines Integralfeld-Spektrografen stehen Farben für Bewegung in Beobachtungsrichtung: von blau (schnellste Bewegungen auf uns zu) bis rot (schnellste Bewegungen von uns weg). Der Unterschied zwischen den Bewegungen im Innen- und Außenbereich ist deutlich sichtbar. So kam Tsatsi darauf, dass bei der simulierten Verschmelzung eine gegenläufige Zentralregion entstanden war.

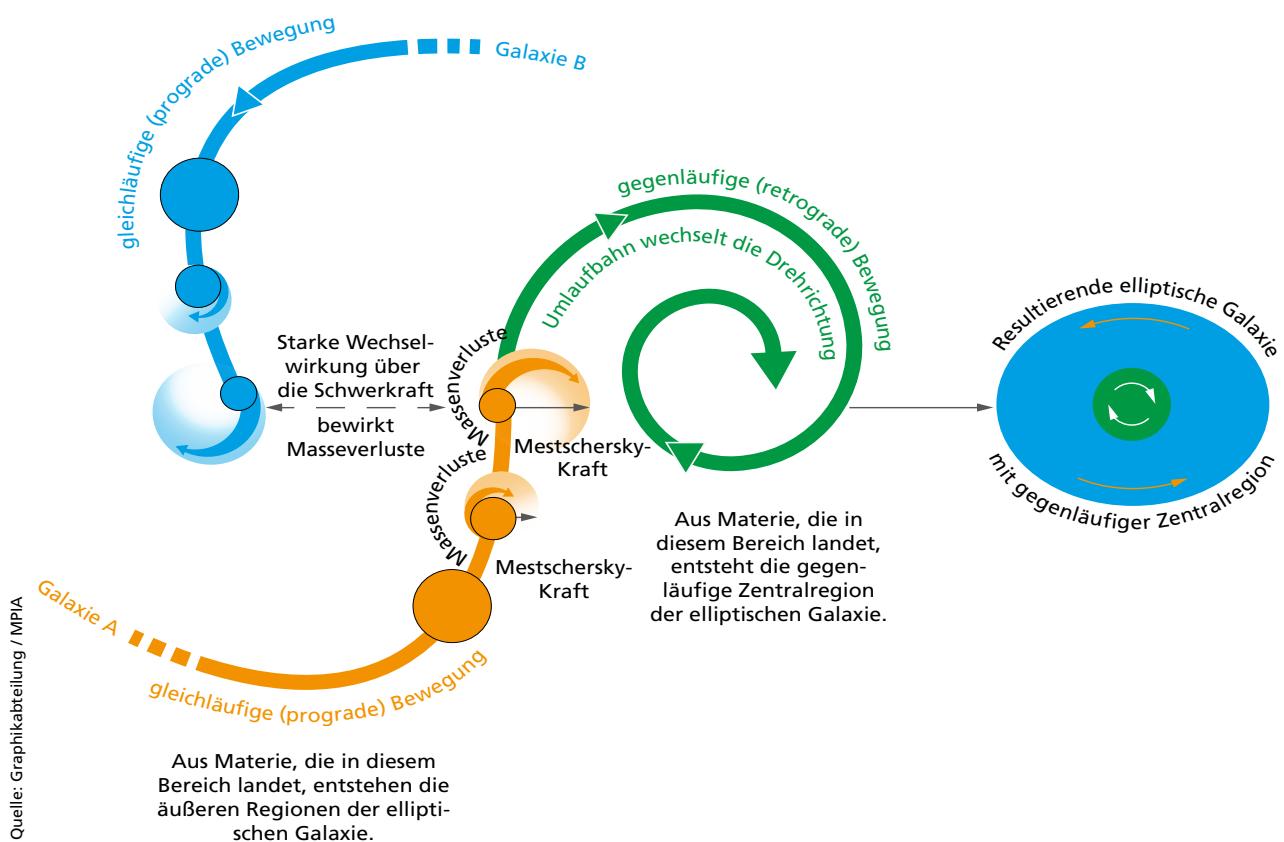
gleichzeitig Spektren einer Vielzahl verschiedener Regionen einer Galaxie auf, mit anderen Worten: Sie spalten das Licht vieler verschiedener Regionen des Bildes, das uns die Galaxie am Nachthimmel bietet, in fein aufgeteilte Regenbogenfarben auf. Bewegt sich ein Stern auf den Beobachter zu oder von ihm weg, wird sein Licht hin zu kürzeren bzw. längeren Wellenlängen verschoben (Dopplerverschiebung, konkret: Blauverschiebung bzw. Rotverschiebung).

Solche Verschiebungen lassen sich im Spektrum des Sterns nachweisen. Durch diese Art von Messungen kann die Integralfeld-Spektroskopie nachweisen, in welchen Teilen der Galaxie sich die Sterne im Mittel auf uns zu bzw. von uns weg bewegen. Auf der Grundlage solcher Beobachtungen können Astronomen die Sternbewegung in einer Galaxie rekonstruieren und daraus wiederum Rückschlüsse auf die Massenverteilung in der Galaxie ziehen.

Als Tsatsi die Integralfeld-spektroskopischen Messungen für eine ganz bestimmte der Simulationen rekonstruierte, fiel ihr ein ungewöhnlicher Umstand auf. Die von ihr rekonstruierte Karte der Sternbewegungen innerhalb der Galaxie zeigte, dass sich die Sterne in der Zentralregion anders bewegten als die anderen Sterne der Galaxie (vgl. Abbildung II.4.3). Mit anderen Worten: die betreffende Galaxie hatte einen gegenläufigen Kern.

**Abb. II.4.4:** Schematisches Diagramm des Mestschersky-Mechanismus: Wenn die Zentralregionen während der Verschmelzung an Masse verlieren, ändert die Rückstoßkraft (»galaktischer Raketenantrieb«) ihre Umlaufbahnen; dadurch

kann es sich ergeben, dass die Materie, die im Zentrum der resultierenden elliptischen Galaxie endet, eine gegenläufige Zentralregion bildet.



Allerdings handelte es sich hier um eine Verschmelzung, bei der die Vorläufergalaxien jeweils den gleichen Drehsinn hatten, mit dem sie vor der Verschmelzung umeinander liefen, nach herkömmlicher Interpretation also eine Sorte von Verschmelzung (»prograd«), bei der gar kein gegenläufiger Kern hätte entstehen dürfen (vgl. Abbildung II.4.2).

Als Tsatsi die Simulation daraufhin genauer ansah, erkannte sie, was all ihren Vorgängern entgangen war: Beim Umlauf der Zentralregionen der beiden Galaxien umeinander kommt ein Moment, in dem sich die Umlaufrichtung umkehrt. Die Umkehr findet statt, während die beiden Galaxien gerade signifikante Mengen an Masse verlieren – bei derartigen Verschmelzungen ist es üblich, dass die Galaxien aufgrund ihrer gegenseitigen Schwerkraftwirkung Sterne insbesondere aus ihren äußeren Regionen verlieren (vgl. Abbildung II.4.4).

### Ein neuer Mechanismus

Das Ergebnis der simulierten Verschmelzung passte andererseits zu dem, was aus Beobachtungen bereits über Statistik und Zeitskalen solcher gegenläufiger Zentralregionen bekannt war: Die resultierende elliptische Galaxie war mit 130 Milliarden Sonnenmassen eine der massereichenen Vertreterinnen ihrer Gattung; gerade bei massereichen elliptischen Galaxien sind gegenläufige Zentralregionen besonders häufig. Die Gegenhäufigkeit bleibt in der Simulation für rund 2 Milliarden Jahre nach der Verschmelzung nachweisbar; langfristig genug, dass man erwarten kann, bei tatsächlichen Beobachtungen vieler Galaxien Beispiele dafür zu finden. Nicht zuletzt handelt es sich in der Simulation bei den Gegenläufern vor allem um ältere Sterne, die bereits lange vor der Verschmelzung entstanden waren; auch das entspricht den tatsächlichen Beobachtungen.

Durch Literaturrecherche fand Tsatsi schließlich einen Präzedenzfall für das Phänomen, das sie an den verschmelzenden Galaxien beobachtet hatte. Was dort geschieht, hängt eng mit dem Spezialfall eines Problems zusammen, das der russische Mathematiker Iwan Wsevolodowitsch Mestschersky (manchmal geschrieben »Meshchersky«) untersucht hatte: Punktteilchen, deren Masse sich mit der Zeit verändert und die sich unter ihrem wechselseitigen Schwerkraffteinfluss bewegen. Durch die Massenänderung kommen dabei zusätzliche Kräfte ins Spiel, die auch Mestschersky-Kräfte genannt werden.

### Die Lösung: Galaktische Raketenantriebe

Das bekannteste Beispiel für solche Kräfte tritt beim Raketenantrieb auf: Die Rakete stößt aus ihrer Düse heiße Gase aus; dadurch wirkt auf die Rakete eine Kraft in Gegenrichtung und die Rakete wird beschleunigt (vgl. Abbildung II.4.4). Analog dazu lässt sich direkt verstehen, wie selbst bei Galaxienverschmelzungen mit einheitlicher Drehrichtung (prograde Verschmelzung) gegenläufige Zentralregionen entstehen können: der Massenverlust der beiden Galaxien hat dieselbe Wirkung wie ein gigantischer Raketenantrieb und kann stark genug sein, um die Umlaufrichtung der Sterne umzukehren, die sich am Ende in der Zentralregion der neu entstandenen Galaxie wiederfinden (die wiederum die Zentralregionen der ursprünglichen Galaxien in sich vereint).

Tsatsis Entdeckung betrifft zunächst einmal einen Einzelfall. Aber das genügt für den Nachweis, dass gegenrotierende Zentralregionen auf diese Weise entstehen können. Als nächstes müssen die Astronomen herausfinden, wie häufig Entstehungsprozesse dieser Art sind – indem sie Galaxienverschmelzungen mit den unterschiedlichsten Anfangsbedingungen untersuchen.

Wenn solche systematischen Tests zeigen, dass der Mestschersky-Mechanismus für die Entstehung gegenläufiger Zentralregionen häufig genug in Erscheinung tritt, könnte dies die beobachtete Häufigkeit des Phänomens erklären. Aber bereits jetzt hat die Entdeckung von Tsatsi den Blickwinkel der Astronomen auf gegenläufige Zentralregionen und galaktische Verschmelzungen verändert: Spezielle Konfigurationen der Drehsinne und der gegenseitigen Umlaufbahn verschmelzender Galaxien sind nicht die einzige Möglichkeit, Gegenhäufigkeit zu erzeugen. »Galaktische Raketenantriebe« leisten ebenso gute Dienste.

*Athanasia Tsatsi, Andrea Macciò  
(inzwischen New York University Abu Dhabi)  
und Glenn van de Ven*

*in Zusammenarbeit mit  
Benjamin Moster (Cambridge University)*

## II.5 Wissenschaftliches Highlight

# Wenn das scheinbar Unmögliche passiert: Astronomen rätseln über Entdeckung eines Quasar-Quartetts

**Mit dem Keck-Teleskop auf Hawaii haben Astronomen unter Leitung von Joseph Hennawi vom Max-Planck-Institut für Astronomie das erste Quasar-Quartett entdeckt: vier aktive Schwarze Löcher in direkter Nachbarschaft zueinander. Das Quartett befindet sich in einer der massereichsten Strukturen, die je im fernen Universum nachgewiesen wurden, und ist von einem Nebel aus kaltem Gas umgeben. Handelt es sich nicht um eine Zufallsentdeckung, Wahrscheinlichkeit eins zu zehn Millionen, müssten die Kosmologen ihre Modelle der Entwicklung der Quasare und der großräumigen kosmischen Strukturen noch einmal überdenken.**

Im Lotto zu gewinnen ist unwahrscheinlich genug. Aber wer vier Mal hintereinander im Lotto gewinnt, wird sich vermutlich fragen, ob das noch mit rechten Dingen zugeht. In genau dieser Situation befindet sich ein Team von Astronomen unter der Leitung von Joseph Hennawi vom Max-Planck-Institut für Astronomie. Die Wissenschaftler entdeckten das erste bekannte Quasar-Quartett: vier Quasare, jeder für sich genommen bereits ein äußerst seltenes Objekt, in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander. Ein ungewöhnlicher Fund, mit dem die Forscher dann auch prompt auf Platz 4 der »Top 10 Astronomy Stories of 2015« des populärwissenschaftlichen Astronomy Magazine landeten.

### Die helle Seite Schwarzer Löcher

Quasare sind eine vergleichsweise kurze Phase in der Galaxienentwicklung, angetrieben vom Einfall von Materie auf das supermassereiche Schwarze Loch im Zentrum einer Galaxie. Während dieser Phase gehört der Galaxiekern zu den hellsten Objekten im Universum überhaupt – er sendet mehr als hundert Mal mehr Licht aus als der gesamte Rest der Galaxie mit seinen immerhin bis zu hunderten von Milliarden von Sternen.

Astronomen gehen davon aus, dass supermassereiche Schwarze Löcher in den Zentren von Galaxien die Regel sind – mit Massen, die zwischen einigen Millionen und einigen Milliarden Sonnenmassen betragen können. Materie, die auf das Schwarze Loch fällt, sammelt sich typischerweise in einer schnell rotierenden Materiescheibe (Akkretionsscheibe) in unmittelbarer Umgebung des Schwarzen Lochs, bevor sie auf Nimmerwiedersehen im Schwarzen Loch verschwindet. Materie in

der rotierenden Scheibe kann Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit und Temperaturen bis zu Millionen von Grad erreichen und sendet gewaltige Mengen an Licht aus.

### Warum Quasare selten sind

Zur Blütezeit von Quasar-Aktivitäten in Galaxien war das Universum nur rund ein Fünftel so alt wie heute. Heutzutage finden wir zwar im Zentrum aller massereichen Galaxien supermassereiche Schwarze Löcher. Diese sind allerdings mit nur wenigen Ausnahmen inaktiv, sprich: es fließen derzeit keine nennenswerten Mengen an Gas in diese Löcher. Bis diese Schwarzen Löcher ihre heutige Masse erreicht haben, muss freilich eine entsprechend große Menge an Materie hineingefallen sein.

Laut derzeitigigen Wachstumsmodellen fand ein beträchtlicher Anteil des Massenzuwachses während der Quasar-Phase der Galaxie statt. Die physikalischen Prozesse, aus denen sich ergibt, unter welchen Bedingungen ein supermassereiches Schwarzes Loch zum Quasar wird, sind noch nicht ausreichend verstanden. Eine wichtige Rolle dürfte die Logistik spielen: um eine Quasar-Episode zu zünden, muss eine große Menge von Gas in die Kernregionen der Galaxie gelangen, hinreichend nahe an das Schwarze Loch, um dessen Anziehungskraft zu spüren.

Alle supermassereichen Schwarzen Löcher in massereichen Galaxien sollten in einem bestimmten Entwicklungsstadium zu Quasaren geworden sein. Allerdings hält die Quasar-Aktivität nur rund 10 Millionen Jahre lang an. Verglichen mit den zehn Milliarden Jahren, die typische Galaxien alt sind, ist das ein sehr kleiner Zeitraum. Beobachten wir einen Quasar, dann erwischen wir damit eine Galaxie in einem zeitlich sehr begrenzten Abschnitt ihres Lebens. Das erklärt, warum man bei Himmelsbeobachtungen nur sehr selten auf diese Art von Objekt trifft.

Weil Quasare so selten sind, liegen die bekannten Exemplare weit voneinander entfernt, mit typischen Abständen von einigen hunderten Millionen von Lichtjahren. Selbst der Fall, zwei Quasare in unmittelbarer Nachbarschaft zu finden, ist bereits sehr selten: Unter den mehr als 500 000 Quasaren, die Astronomen bislang identifiziert haben, finden sich nur rund 100 solcher Doppelquasare. Entsprechend groß war die Überraschung, als ein Team aus US-amerikanischen

und Schweizer Astronomen 2007 die Entdeckung des ersten Tripel-Quasars bekanntgab – drei Quasare in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander.

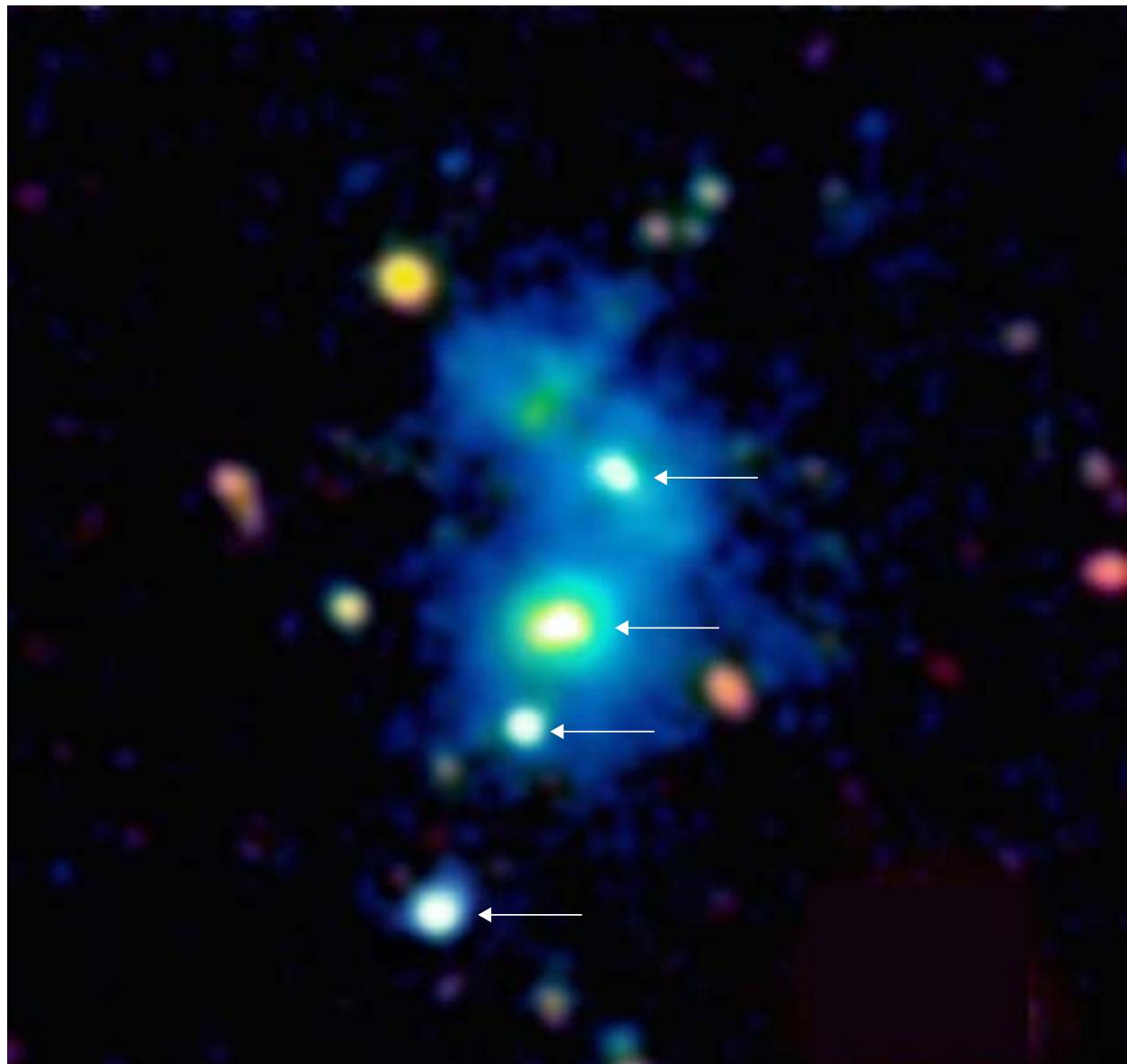
Die Entdeckung des Vierfach-Quasars durch Hennawi und seine Kollegen verschärft die Situation noch einmal deutlich. Auf Basis des heutigen Verständnisses von Quasarhäufigkeiten und der großräumigen Verteilung von Materie im Universum haben die Forscher die Wahrscheinlichkeit, einen Vierfachquasar zu finden, auf eins zu zehn Millionen geschätzt. Wie kam es trotz der geringen Wahrscheinlichkeit zu dieser Entdeckung?

### Gezielte Nebelsuche

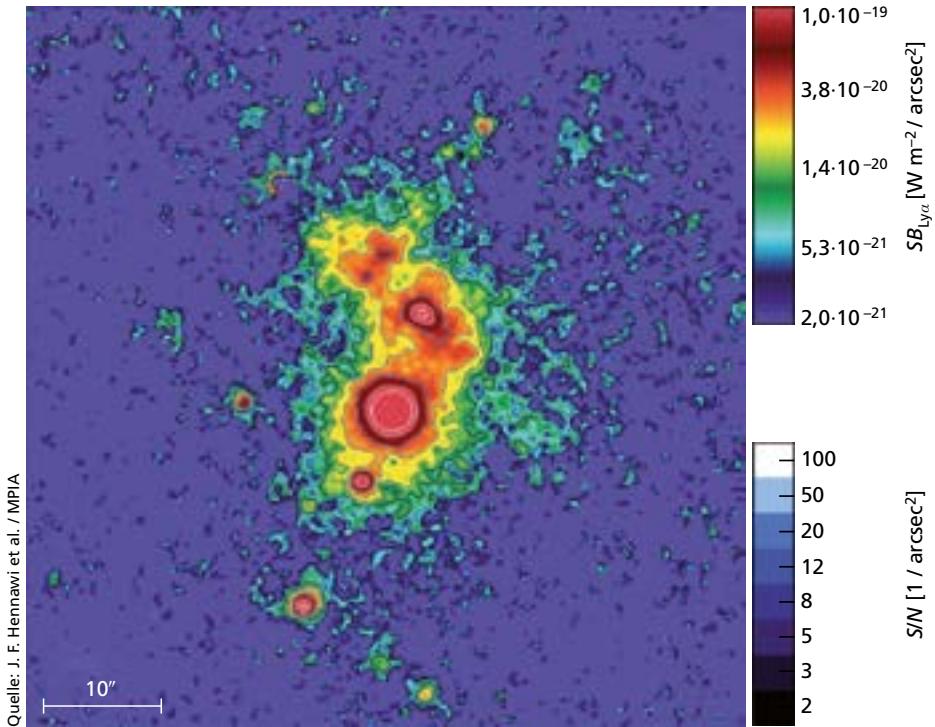
Einige Hinweise gibt die Art und Weise, wie das ungewöhnliche Quasar-Quartett entdeckt wurde. Hennawi und seine Kollegen waren auf der Suche nach so genannten Lyman- $\alpha$ -Nebeln (gesprochen »Lyman-Alph-Nebel«). Ist ein Quasar von einem großen Reservoir aus kühlem Wasserstoffgas umgeben, dann kann seine intensive Strahlung wie eine Art kosmischer Scheinwerfer wirken, das umgebende Gas anleuchten und so seine Struktur offenbaren.

**Abb. II.5.1:** Bild der Raumregion, in der sich das seltene Quasar-Quartett befindet. Die Positionen der vier Quasare sind durch Pfeile angezeigt. Der Nebel, in den die Quasare eingebettet sind, ist als bläuliches durchscheinendes Gebilde zu sehen. Er hat eine Ausdehnung von rund einer Million Lichtjahren.

Quasar und Nebel sind so weit von uns entfernt, dass ihr Licht fast 10 Milliarden Jahre benötigt hat, um Teleskope auf der Erde zu erreichen. Das Falschfarbenbild basiert auf Beobachtungen mit dem 10-Meter-Keck-Teleskop auf dem Gipfel des Mauna Kea in Hawaii.



Quelle: F. Arigoni-Battaia & J. F. Hennawi / MPIA



**Abb. II.5.2:** Schmalband-Aufnahme des Himmels in der Nachbarschaft von SDSSJ0841+3921, aufgenommen durch ein maßgefertigtes Filter, das nur Lyman- $\alpha$ -Licht mit der für das System spezifischen Rotverschiebung durchlässt. Der Farbton jedes Pixels zeigt die Flächenhelligkeit an (siehe

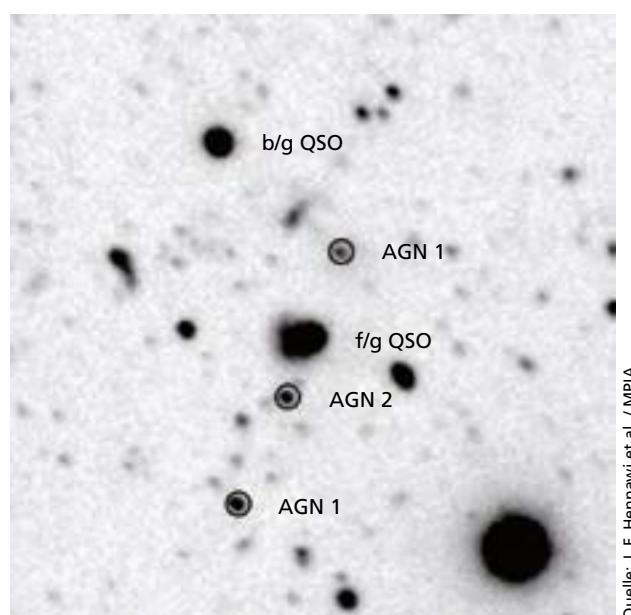
Farbschlüssel oben), die Helligkeit das Verhältnis Signal zu Rauschen pro Quadrat-Bogensekunde (als Maß für die Wahrscheinlichkeit, dass es sich bei dem Licht tatsächlich um Licht einer Quelle, nicht des Himmelshintergrundes oder um Störeinflüsse handelt; Helligkeitsschlüssel unten).

Unter dem starken Licht des Quasars sendet das Wasserstoffgas dann auch selbst Licht aus, analog dazu, wie das Gas einer Leuchtstoffröhre zum eigenen Leuchten angeregt wird (Fluoreszenz). Im Falle von Leuchtstoffröhren erfolgt die Anregung durch elektrischen Strom, während es bei Lyman- $\alpha$ -Nebeln die intensive Strahlung des Quasars ist, die dem Gas Energie zuführt (vgl. Abschnitt II.4 im MPIA-Jahresbericht 2014).

Um neue Lyman- $\alpha$ -Nebel zu finden, hatten die Astronomen zunächst die Spektren von 29 vielversprechenden Quasaren begutachtet und darin nach Spuren von diffuser, großräumiger Strahlung Ausschau gehalten, wie sie zum Leuchten angeregtes Gas aussendet. Einer der Quasare, der die Katalognummer SDSSJ0841+3921 trägt, zeigte in der Tat vielversprechende Anzeichen solcher Spuren.

Dieser Quasar wurde anschließend mit der Spektrograf-Kamera-Kombination LRIS am 10-Meter-Keck-Teleskop auf Mauna Kea, Hawaii, genauer untersucht.

Dazu wurde das Objekt mit Keck/LRIS im November 2012 drei Stunden lang beobachtet. Dabei kam ein maßgeschneidertes engbandiges Filter zum Einsatz, das nur das charakteristische Licht des kühlen Wasserstoffgases durchlässt (Lyman- $\alpha$ -Strahlung unter Berücksichtigung der kosmologischen Rotverschiebung dieses speziellen Systems).



**Abb. II.5.3:** Breitband-Aufnahme der Himmelsregion rund um SDSSJ0841+3921 im sichtbaren Licht (V-Band). Deutlich zu sehen sind der Vordergrund-Quasar (f/g QSO) und die drei aktiven Galaxienkerne, die das Quasar-Quartett vervollständigen (bezeichnet als AGN 1,2,3). Die Anordnung der Galaxienkerne folgt in etwa der Ausrichtung des Lyman- $\alpha$ -Nebels. Ebenfalls zu sehen ist der Hintergrundquasar (b/g QSO), der sich allerdings in einem deutlich anderen Bereich des Raums befindet als der Vierfach-Quasar.

## Ungewöhnliches Objekt in ungewöhnlicher Umgebung

Diese Beobachtungen zeigten, dass die Astronomen einen der größten und hellsten Lyman- $\alpha$ -Nebel gefunden hatten, der bis dahin bekannt war. Der Nebel ist soweit von uns entfernt, dass sein Licht fast 10,5 Milliarden Jahre benötigt hat, um uns zu erreichen (kosmologische Rotverschiebung  $z = 2,0412$ ). Der Nebel hat einen Durchmesser von rund einer Million Lichtjahren (310 kpc, entsprechend einer Winkelgröße von 37 Bogensekunden).

Bei der Untersuchung der Keck-Bilder stellten die Astronomen fest, dass sie es nicht mit einem einzigen Quasar zu tun hatten, sondern mit gleich vier Quasaren, sämtlich eingebettet in dieselbe riesige Wolke aus Wasserstoffgas. Eine Untersuchung der Spektren der vier Quasare bestätigte, dass es sich in der Tat um vier unterschiedliche Quasare handelte (und damit insbesondere nicht um eine sogenannte Gravitationslinse, bei der die Ablenkung von Licht durch die Gravitation einer großen Masse Mehrfachbilder ein und desselben Himmelsobjekts erzeugen kann).

Das merkwürdige Zusammentreffen, den ersten Vierfach-Quasar in einem besonders riesigen Nebel zu finden, wird sogar noch merkwürdiger: Das Objekt SDSSJ0841+3921 scheint in einer Region des fernen Kosmos zu liegen, in der sich eine ungewöhnlich große Menge an Materie befindet. Das zeigt sich insbesondere daran, dass sich in dem betreffenden Gebiet mehrere hundert Mal mehr Galaxien befinden als in einer durchschnittlichen Region derselben Größe.

Da Licht dieser kosmischen Großversammlung mehr als 10 Milliarden Jahren auf Reisen war, ehe es uns erreichte, zeigen uns die Bilder diese Region, wie sie vor mehr als 10 Milliarden Jahren aussah, weniger als 4 Milliarden Jahre nach dem Urknall. Angesichts der weit überdurchschnittlichen Anzahl von Galaxien in dem betreffenden Raumgebiet scheint sicher, dass es sich bei dem, was wir sehen, um Vorläufer eines besonders massereichen Galaxienhaufens im heutigen Universum handeln muss – astronomisch ausgedrückt: um einen Protohaufen.

## Zufallsfund oder physikalische Erklärung?

Bei ihren Versuchen, ihren unwahrscheinlichen Zufallsfund zu verstehen, versuchen die Astronomen, alle diese ungewöhnlichen Eigenschaften miteinzubeziehen. Sie vermuten, dass es physikalische Prozesse gibt, die

die Bildung von Quasaren unter bestimmten kosmischen Umweltbedingungen stark begünstigen. Zahlreiche theoretische Modelle sagen vorher, dass Quasar-Aktivität ausgelöst werden sollte, wenn Galaxien zusammenstoßen und miteinander verschmelzen; solche gewaltsamen Wechselwirkungen, so die Argumentation, könnten höchst effektiv Gas in das zentrale Schwarze Loch umlenken.

Derartige Zusammenstöße sollten in einem dichten Protohaufen voller Galaxien deutlich wahrscheinlicher sein als anderswo – analog dazu, dass es auf einem überfüllten Marktplatz ungleich wahrscheinlicher ist, von einem anderen Menschen angerempelt zu werden, als auf einem menschenleeren Feld. Allein schon die große Anzahl der Galaxien im Protohaufen könnte eine Rolle spielen, sorgt sie doch dafür, dass die Raumregion viele massereiche Galaxien mit supermassereichen Schwarzen Löchern enthält, von denen jede zu einem Quasar werden kann. Höchstwahrscheinlich ist auch der Lyman- $\alpha$ -Nebel selbst ein wichtiger Puzzlestein. Solch ein hell fluoreszierender Nebel setzt voraus, dass es in der betreffenden Region gewaltige Mengen an dichtem, kühlen Gas gibt.

Supermassereiche Schwarze Löcher werden aber nur dann zu Quasaren, wenn hinreichend viel Gas auf das Schwarze Loch fällt, und dafür wiederum könnte eine Umgebung, die zumindest auf großen Größenskalen reich an dem nötigen Gas ist, günstige Bedingungen bieten.

Andererseits würde man nach dem heutigen Verständnis von Strukturbildung im Universum nicht erwarten, dass ein Protohaufen als Lyman- $\alpha$ -Nebel in Erscheinung tritt. Die heutigen Modelle, gestützt durch Supercomputer-Simulationen, sagen vorher, dass Protohaufen mit extrem dünnen, heißen Gas gefüllt sein sollten, mit Temperaturen von rund 10 Millionen Grad. Das Gas in Lyman- $\alpha$ -Nebeln ist im Vergleich dazu tausend Mal dichter und tausend Mal kühler. Damit dürfte die Entdeckung des ersten Quasar-Quartetts wichtige Revisionen an unserer heutigen Vorstellung von der Entstehung von Quasaren und der massereichsten Strukturen im Universum erfordern.

*Joseph F. Hennawi und Fabrizio Arrigoni-Battaia*

*in Zusammenarbeit mit*

*J. Xavier Prochaska*

*(University of California at Santa Cruz und Lick Observatories),  
Sebastiano Cantalupo (University of California at Santa Cruz,  
Lick Observatories und ETH Zürich)*

## II.6 Wissenschaftliches Highlight

# Ungewöhnliche, bewegte Strukturen in der Staubscheibe eines Sterns

Mithilfe des Instruments SPHERE und des Weltraumteleskops Hubble hat ein Team von Astronomen, dem auch Forscher vom Max-Planck-Institut für Astronomie angehören, ungewöhnliche, bewegte Strukturen in der Staubscheibe um den nahen Stern AU Microscopii ausgemacht. Es handelt sich um die erste Beobachtung solcher zeitlich veränderlicher Strukturen überhaupt, und zum jetzigen Zeitpunkt ist unklar, worum es sich im einzelnen handelt und wie die Strukturen entstanden sind. Sie könnten mit Eruptionen des Sterns AU Mic und/oder mit (bislang nicht nachgewiesenen) Planeten in der Staubscheibe zusammenhängen.

Der Stern AU Mic (»AU Microscopii«) im südlichen Sternbild Mikroskop, weniger als 33 Lichtjahre von der Erde entfernt, ist von einer großen Staubscheibe umgeben, die irdische Beobachter fast genau von der Seite se-

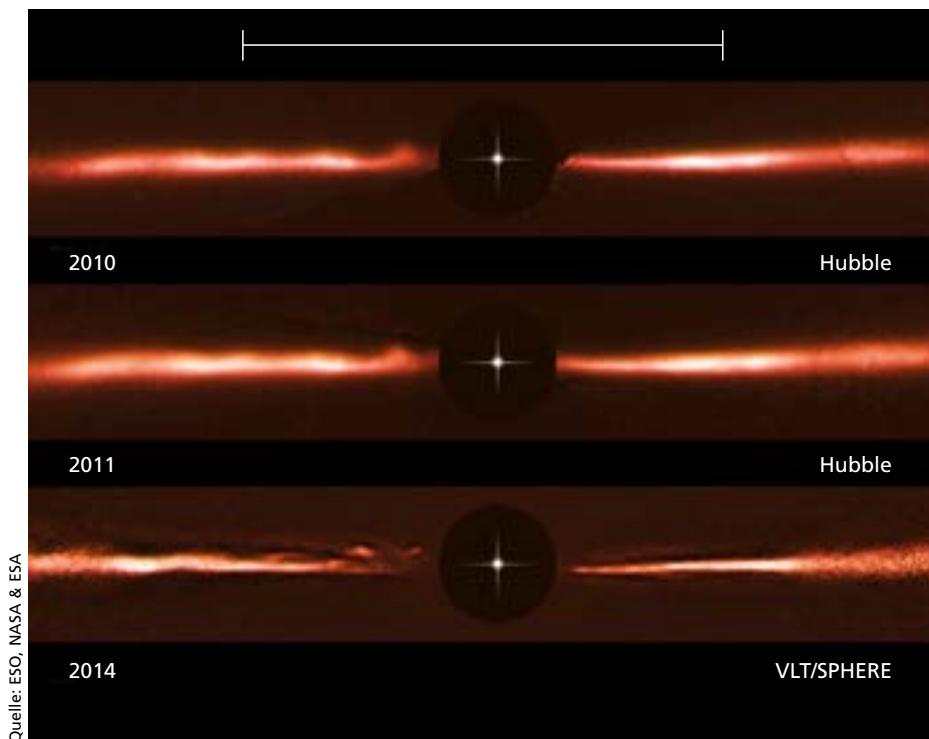
hen. Diese Trümmerscheibe ist ein Überbleibsel aus der Phase der Planetenentstehung. Damals war AU Mic von einer protoplanetaren Scheibe aus Gas und Staub umgeben, aus der sich etwaige Planeten formten (bislang ist allerdings noch keiner davon nachgewiesen). In unserem eigenen Sonnensystem ist der Kuipergürtel jenseits der Neptun-Umlaufbahn, der aus tausenden kleinerer Himmelskörper besteht (inklusive Pluto) eine solche, bereits deutlich gealterte, Trümmerscheibe.

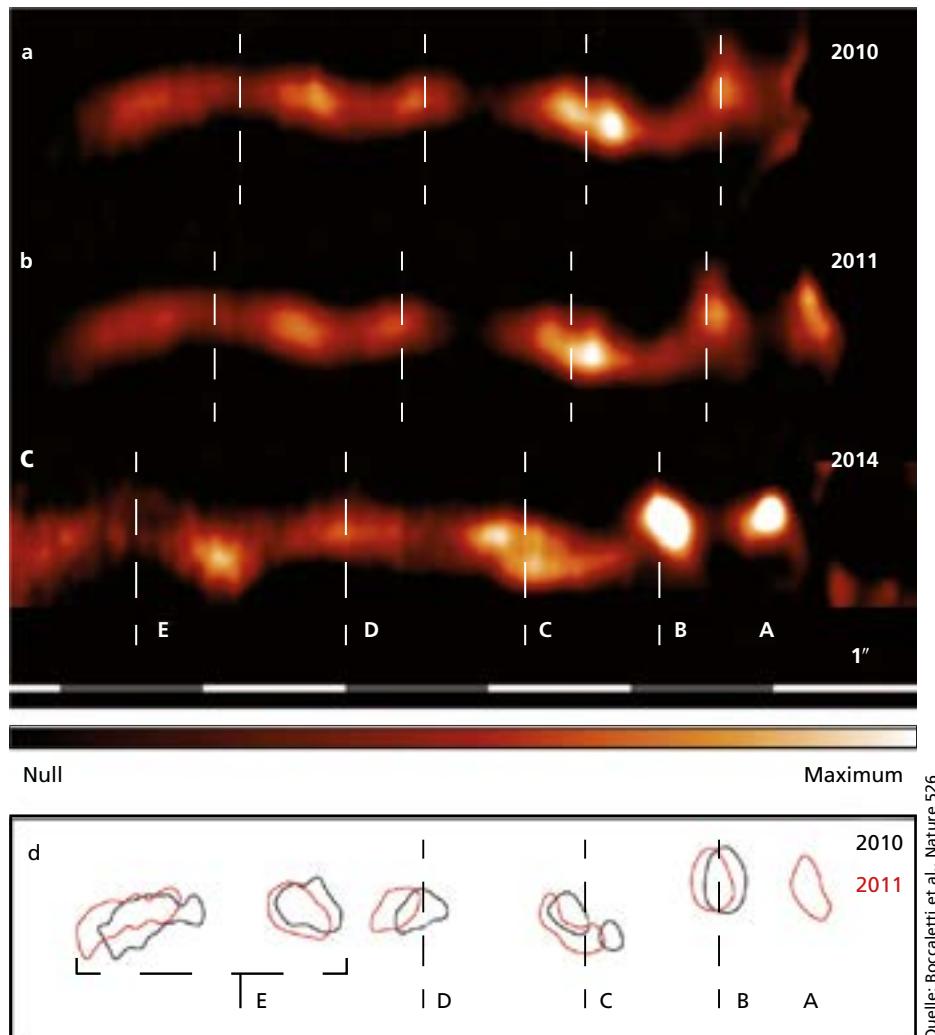
### Details und Abstände

Astronomische Beobachtungen sind vor allem deswegen eine große Herausforderung, weil die Distanzen zu den Beobachtungsobjekten extrem groß sind. Selbst auf den Bildern von Kameras, die an den größten der heutigen Teles-

**Abb. II.6.1:** Bilder der Trümmerscheibe um den Stern AU Mic von 2010 (oben; Hubble-Weltraumteleskop), 2011 (Mitte; Hubble-Weltraumteleskop) und 2014 (unten; SPHERE-Instrument), die neu entdeckte, bewegte, wellenartige Strukturen zeigen. Der schwarze Kreis in der Mitte zeigt an, wo das helle Licht des Zentralsterns künstlich abgeschattet wurde, um die Beobachtung der deutlich leuchtschwächeren Schei-

be zu ermöglichen. Das Symbol in der Kreismitte zeigt die Position des Sterns an. Die Entfernungsskala ganz oben im Bild zeigt den Durchmesser der Umlaufbahn des Planeten Neptun in unserem Sonnensystem (sechzigfacher Abstand Erde-Sonne = 60 AE). Die Helligkeit der äußeren Scheibenregionen wurde künstlich vergrößert, um dortige Strukturen sichtbar zu machen.





Quelle: Boccaletti et al., Nature 526

**Abb. II.6.2:** Um die Strukturen in der Scheibe zu identifizieren zogen die Astronomen von dem ursprünglichen Bild den diffusen Scheibenkörper ab. Anschließend zogen sie noch eine leicht unscharf gestellte Version des sich dabei ergebenden Bildes ab. Diese Technik heißt »unscharfes Maskieren« und wird bei der Bearbeitung von Fotografien verwendet,

um plötzliche Übergänge und Kanten sowie kleinste Bildbestandteile hervorzuheben. Das hier gezeigte Bild ist außerdem in senkrechter Richtung um den Faktor 2 gestreckt. Die fünf markanten Strukturen, die sich in dem Bild identifizieren lassen, sind mit A bis E bezeichnet.

kope installiert sind, lassen sich beispielsweise Sterne nicht von punktförmigen Lichtquellen unterscheiden. Typische Radien von Trümmerscheiben liegen zwischen zehn und hundert Mal dem Abstand Erde-Sonne, also bei 10 bis 100 astronomischen Einheiten (astronomical unit, AU).

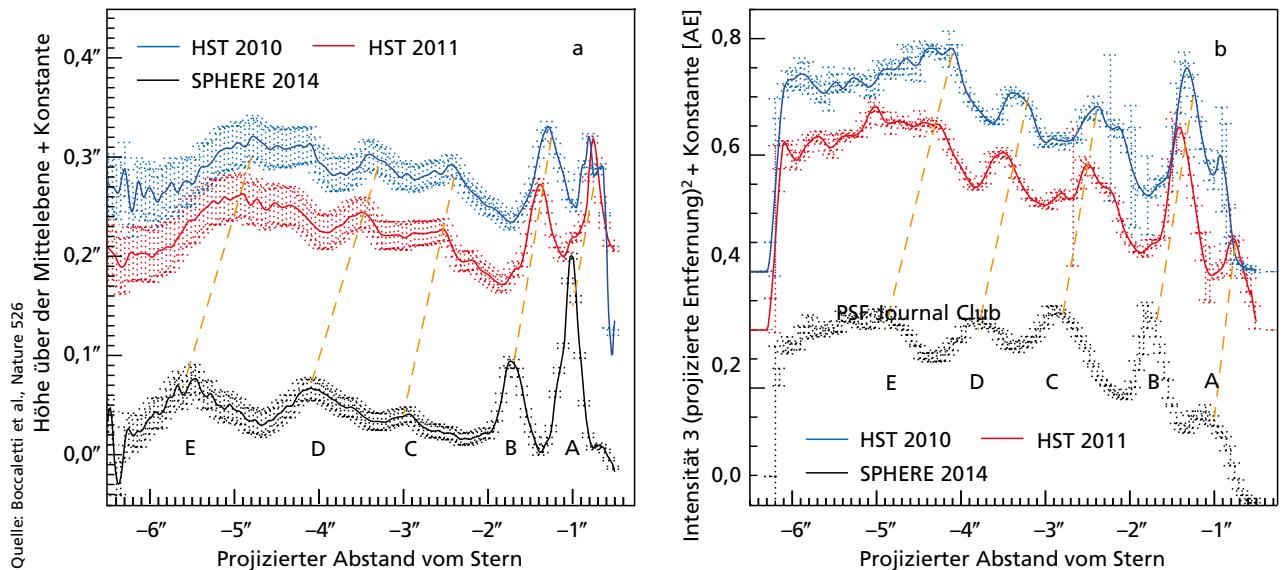
Die meisten Trümmerscheiben wurden lediglich indirekt nachgewiesen, durch die Infrarotstrahlung, die entsteht, wenn der Staub das Licht des Sterns streut. Nur einige der Scheiben sind groß genug und der Erde nahe genug, dass sie sich auf Bildern festhalten lassen. Die meisten Untersuchungen solcher Scheiben nutzen stattdessen vornehmlich die Energieverteilung (Spektrum) des von den Scheiben ausgestrahlten Lichts.

Jetzt ist es mithilfe von SPHERE, einem jüngst am Very Large Telescope der ESO installierten Instrument insbesondere zur Beobachtung von Exoplaneten und den Scheiben um Sterne, gelungen, eine solche Trümmerscheibe de-

tailscharf abzubilden. Außer den SPHERE-Daten wurden dabei noch frühere Beobachtungen mit dem Weltraumteleskop Hubble genutzt. Erstmals gelang es dabei, nicht nur Unterstrukturen der Scheibe zu zeigen, sondern auch zuverlässig nachzuweisen, wie sich diese Strukturen mit der Zeit verändern. Die Scheibe um AU Mic weist offenbar schnell bewegte, wellenartige Strukturen auf.

### Scheibenjagd mit SPHERE

Als das Instrumententeam von SPHERE nach Zielobjekten für ihre ersten Beobachtungen suchte, war AU Mic ein naheliegender Kandidat. SPHERE verfügt über ein Arsenal an Techniken, die genau für solche Beobachtungssituationen geschaffen sind: für die Beobachtungen von Exoplaneten oder Scheiben, die von ihrem Zentralstern überstrahlt werden.



**Abb. II.6.3:** Bewegte Strukturen: Drei Zeitpunkte im Vergleich (eingezzeichnet jeweils in blau, rot, grau); links ist für alle drei Zeitpunkte die vertikale Ausdehnung der Scheibe bei verschiedenen Abstandswerten vom Zentrum aufgetragen, rechts die Helligkeitsvariationen der Scheibe. Die in dieser Weise sichtbar gemachten Scheibenstrukturen lassen sich

Dazu gehören ein System »extremer adaptiver Optik«, welche die Störungen des Lichts beim Durchgang durch die Erdatmosphäre weitgehend ausgleichen kann (diese Störungen begrenzen das Auflösungsvermögen des Teleskops), eine Auswahl an sogenannten Koronographen, mit denen sich das Licht des Zentralsterns mechanisch abschatten lässt und ein Polarimeter, das es ermöglicht, reflektiertes Licht besonders gut zu beobachten (eben z.B. das Licht, das vom Staub der Scheibe gestreut wird).

SPHERE ist außerdem für die Beobachtungstechnik des differentiellen Bildvergleichs eingerichtet, mit deren Hilfe sich Bilder eines Objekts wie der Staubscheibe von Störeffekten unterscheiden lassen.

Am 10. August 2014 richteten die Forscher die Infrarotkamera IRDIS des SPHERE-Instruments auf AU Mic. Eine besonders klare und ruhige Nacht sowie tadellose Leistungen der Adaptiven Optik bescherten den Astronomen Bilder mit hohem Kontrast und exzellenter Qualität – über kürzeste räumliche Distanzen (eine halbe Bogensekunde) konnten diese Bilder Helligkeitswerte erfassen, die sich um mehr als einen Faktor 10 000 unterschieden.

Auf diese Weise gelangen detaillierte Bilder der Scheibengebiete, die zwischen 1,7 und rund 70 astronomischen Einheiten vom Zentralstern entfernt sind. Weiter innen liegende Regionen wurden ausgeblendet, um das Sternenlicht abzuschatten; die äußere Grenze ergibt sich durch das Blickfeld des Instruments. Insgesamt erstreckt sich die Scheibe bis hin zu Distanzen von mindestens 200 astronomischen Einheiten.

direkt einander zuordnen. Die farblich unterlegte Region rund um jede Kurve entspricht der Streuung ( $1\sigma$ , als Maß für die Unsicherheit jeder Kurve). Deutlich sichtbar ist, dass sich die Strukturen mit der Zeit verschieben, wie durch die gestrichelten orangen Linien angedeutet.

### Unerwartete Veränderungen

Gleich auf den ersten Blick fielen den Astronomen – darunter MPIA-Direktor Thomas Henning – detaillierte Strukturen in der Scheibe auf. Noch vor wenigen Jahren wäre ein Astronom, der behauptet hätte, 2015 würden derart detaillierte Abbildungen möglich sein, bei seinen Kollegen auf beträchtliche Skepsis gestoßen. Die Astronomen verglichen diese Strukturen dann mit Bildern, die Henning und Kollegen 2010 und 2011 mit der Spektroskop-Kamera-Kombination STIS des Weltraumteleskops Hubble aufgenommen hatten.

Auf die Astronomen wartete eine Überraschung: In der Tat war es uns möglich, eine ganze Reihe von Strukturen eindeutig sowohl in den SPHERE- als auch in den Hubble-Bildern zu identifizieren. Aber innerhalb der wenigen Jahre, die zwischen den beiden Beobachtungen vergangen waren, hatten sich diese Strukturen deutlich weiter vom Stern entfernt. Zum ersten Mal beobachteten Forscher nicht nur die Struktur oder die spektralen Eigenschaften einer solchen Trümmer scheibe – sondern konnten zusehen, wie sich die Scheibe veränderte! Rückblickend beurteilt lassen sich selbst zwischen den Hubble-Bildern von 2010 und denen von 2011 Auswirkungen dieser Änderungen identifizieren.

Eine vorläufige Auswertung der Daten, die noch durch zukünftige Beobachtungen bestätigt werden müssen, legt nahe, dass ein Teil der Materie, die dort beobachtet wurde, schnell genug fliegt, um aus der Scheibe und sogar aus dem gesamten betroffenen Sternensystem zu entkommen.

## Scheibenprozesse verstehen

Bislang ist noch nicht vollständig geklärt, wie die dynamischen Eigenschaften, die der Vergleich der SPHERE- und Hubble-Bilder offenbart hat, zustandegekommen. AU Mic ist ein roter Zwerg (Typ M1 Ve), der nur etwas mehr als halb so groß ist wie die Sonne – mit rund 12 Millionen Jahren ein recht junger Stern im Vergleich zu den knapp 5 Milliarden Jahren unserer Sonne. Wie bei solchen jungen Sternen häufig, zeigt AU Mic starke Aktivität und produziert mit einiger Häufigkeit Eruptionen, bei denen stellares Plasma mit hohen Geschwindigkeiten nach außen geschleudert wird. Eine Möglichkeit ist, dass die bewegten Strukturen in der Staubscheibe auf diese Weise zustande gekommen sind.

Eine weitere durchaus reizvolle Möglichkeit ist, dass die Veränderungen in der Scheibe Hinweise auf das Vorhandensein eines oder mehrerer Riesenplaneten in der Staubscheibe sind. Die Veränderungen würden in diesem Falle durch die Schwerkraftanziehung der Planeten während ihres Wanderns durch die Scheibe hervorgerufen. Bislang sind allerdings noch keine Planeten um AU Mic nachgewiesen – was sich in Zukunft allerdings durchaus ändern könnte.

## Zukünftige Beobachtungen

Insgesamt legt der überraschende Nachweis der Scheibendynamik von AU Mic ein ganzes Programm zusätzlicher Beobachtungen nahe: Weitere Aufnahmen sowohl mit dem Hubble-Weltraumteleskop und mit SPHERE könnten weitere Daten liefern und die zukünftige Entwicklung zeigen. Messungen mit dem Polarimeter ZIMPOL, einem der Untersysteme von SPHERE, könnten die räumliche Ausrichtung der Strukturen zeigen, die in den Bildern sichtbar sind. Beobachtungen mit dem Millimeter-/Submillimeterobservatorium ALMA könnten zeigen, wieviel Gas noch in der Scheibe vorhanden ist. Und langfristige Beobachtungen der Sternaktivität von AU Mic könnten eine etwaige Verbindung zwischen Sternaktivität und Scheibendynamik belegen oder widerlegen.

Haben die Forscher besonders großes Glück, könnte ihnen sogar der Nachweis von Protoplaneten in der Scheibe gelingen, also von kleineren Körpern, die eifrig weitere Masse ansammeln um später zu Planeten zu werden. Solch ein Nachweis könnte mit den Bildvergleichstechniken gelingen, für die SPHERE optimiert ist; besonders vielversprechend wäre dabei das typische Licht, das von Wasserstoffatomen emittiert wird ( $\text{H}\alpha$ ).



Quelle: J. Girard / ESO (djuik.com)

**Abb. II.6.4:** Das Instrument SPHERE kurz nach seiner Installation am Hauptteleskop 3 des Very Large Telescopes der ESO. Das Instrument selbst verbirgt sich in dem schwarzen Kasten in der Bildmitte.

Detaillierte Beobachtungen der Dynamik solcher Scheiben sollten direkte Vergleiche mit der Simulation solcher Objekte ermöglichen – und könnten auch Informationen über Prozesse der Planetenentstehung liefern, die in der Scheibe ihre Spuren hinterlassen haben.

Markus Janson (auch: Universität Stockholm),  
Thomas Henning, Markus Feldt, Johan Olofsson  
(auch: Universidad de Valparaíso)  
und Joshua Schlieder (auch: NASA Ames Research Center)

in Zusammenarbeit mit

Anthony Boccaletti  
(Observatoire de Paris, CNRS, France),  
Christian Thalmann (ETH Zürich),  
Glenn Schneider (University of Arizona Tucson, USA)  
und dem SPHERE GTO Team

## II.7 Wissenschaftliches Highlight

# Wie massereiche Sterne ihre Masse bekommen

**Wie erreichen Sterne Massen von mehr als dem 10-fachen der Sonnenmasse? Schon länger wird angenommen, dass Gas- und Staubscheiben rund um die jungen Sterne dabei eine wichtige Rolle spielen, Materie auf einige der hernach massereichsten Sterne zu lenken. Jetzt hat ein Team von Astronomen, zu dem auch Forscher des MPIA gehören, das bislang massereichste Beispiel für einen Stern mit stabiler Scheibe nachgewiesen.**

Die Massen von Sternen liegen zwischen rund 10% der Masse unserer Sonne und dem mehr als 100-fachen der Sonnenmasse. Entstehen all diese verschiedenen Sterne auf dieselbe Weise, unabhängig von der beachtlichen Variation ihrer Größe? Das war in den letzten Jahrzehnten eine durchaus umstrittene Forschungsfrage.

Sterne entstehen, wenn das Gas in kalten, interstellaren Wolken unter seinem eigenen Gewicht kollabiert. Dabei sind solche Wolken nie perfekt in Ruhe: ihr Gas bewegt sich, und das bedeutet im allgemeinen, dass sich auch die Wolke als Ganzes etwas um ihren Schwerpunkt drehen wird. Kollabiert die Gaswolke, dann wird die Rotation schneller, analog zu einem Eiskunstläufer, der eine Pirouette einleitet, indem er seine Arme nahe an den Körper heranzieht.

### Scheiben bestimmen den Verlauf der Sternentstehung

Die Rotation der Gaswolke kann Materie daran hindern, direkt auf den neu entstehenden Stern zu fallen – in genau der gleichen Weise wie die Bahnbewegung die Planeten im Sonnensystem davon abhält, direkt auf die Sonne zu fallen. Stattdessen ziehen die Planeten fast kreisförmig auf ihren Umlaufbahnen um die Sonne. Aber die Rotation kann auch dabei helfen, dass immer mehr und mehr Materie auf den jungen Protostern gelangt: Unter dem Einfluss der Zentrifugalkräfte aufgrund der Rotation und des Kollapses aufgrund der Schwerkraft bildet sich aus einem Teil des Gases eine dünne Scheibe, die den Stern umgibt. Über diese sogenannte Akkretionsscheibe kann zusätzliche Materie auf den Protostern fließen.

Die Scheibenmaterie ist hinreichend dicht, dass die Gasteilchen in der Scheibe miteinander wechselwirken können. Dabei tauschen sie Energie und Impuls aus, und infolgedessen wird immer ein bestimmter Anteil der Teilchen zum inneren Scheibenrand driftieren und von dort auf den Protostern im Zentrum fallen. Sobald der

Protostern in dieser Weise genügend Materie auf sich gezogen (»akkretiert«) hat, ist sein Gas hinreichend dicht und heiß, dass die Kernfusion einsetzen kann: ein neuer Stern ist geboren.

### Stabilität erreichen

Eine solche Akkretionsscheibe kann allerdings nur dann eine wichtige Rolle bei der Entwicklung des neugeborenen Sterns spielen, wenn sie hinreichend langlebig ist, mit anderen Worten: wenn sie hinreichend stabil und nicht nur ein vorübergehendes Phänomen ist. Stabile Scheiben bewegen sich in ähnlicher Weise wie die Planeten unseres Sonnensystems.

Die Bewegung ihres Gases wird vor allem durch die Gravitation bestimmt, und das Gas in den inneren Regionen der Scheibe bewegt sich dementsprechend schneller als das in den äußeren Regionen – analog zum Sonnensystem, wo sich die inneren Planeten auch schneller bewegen als die äußeren. Scheiben, die dieses charakteristische Bewegungsmuster zeigen, heißen Keplersche Scheiben. Johannes Kepler hatte für die Planeten unseres Sonnensystems erstmals den systematischen Zusammenhang zwischen Abstand von der Sonne und Umlaufzeit formuliert.

### Haben junge massereiche Sterne Scheiben?

Akkretionscheiben massearmer Sterne sind schon oft nachgewiesen worden. Die markantesten Beispiele sind sogenannte T-Tauri-Sterne, massearme Protosterne, die das sie umgebende Gas weggeblasen haben, so dass Stern und Scheibe direkt beobachtbar sind.

Bilden sich massereiche Sterne in derselben Art und Weise – bilden sie stabile Keplerscheiben, die helfen, Materie auf den Protostern zu lenken? Das ist alles andere als selbstverständlich. Massereiche Sterne sind ungleich heller als ihre massearmen Verwandten und entstehen auf deutlich kürzeren Zeitskalen. Kernfusion setzt bei ihnen bereits nach einigen hunderttausend Jahren ein, während gleichzeitig noch Materie aus der Gaswolke auf den Stern fällt. Man vergleiche das mit Sternen geringerer Masse, bei denen die Kernfusion – das Wasserstoffbrennen – erst nach einigen Millionen Jahren einsetzt.

Der frühe Beginn der Kernfusion könnte in dieser Hinsicht ein Problem darstellen. Um Sterne wie jene mit den höchsten beobachteten Massenwerten zu bilden,

muss der entstehende Stern auch nach Einsetzen der Kernfusion noch Materie auf sich ziehen. Aber Kernfusion führt zur Freisetzung beachtlicher Mengen an elektromagnetischer Strahlung, und solche Strahlung übt einen beträchtlichen Druck aus (wie es auch ein Strahlungsfluss von Materieteilchen täte – denken Sie an den Effekt des Wasserstrahls, wenn Sie Ihren Gartenschlauch auf einen Eimer oder ein anderes bewegliches Objekt richten).

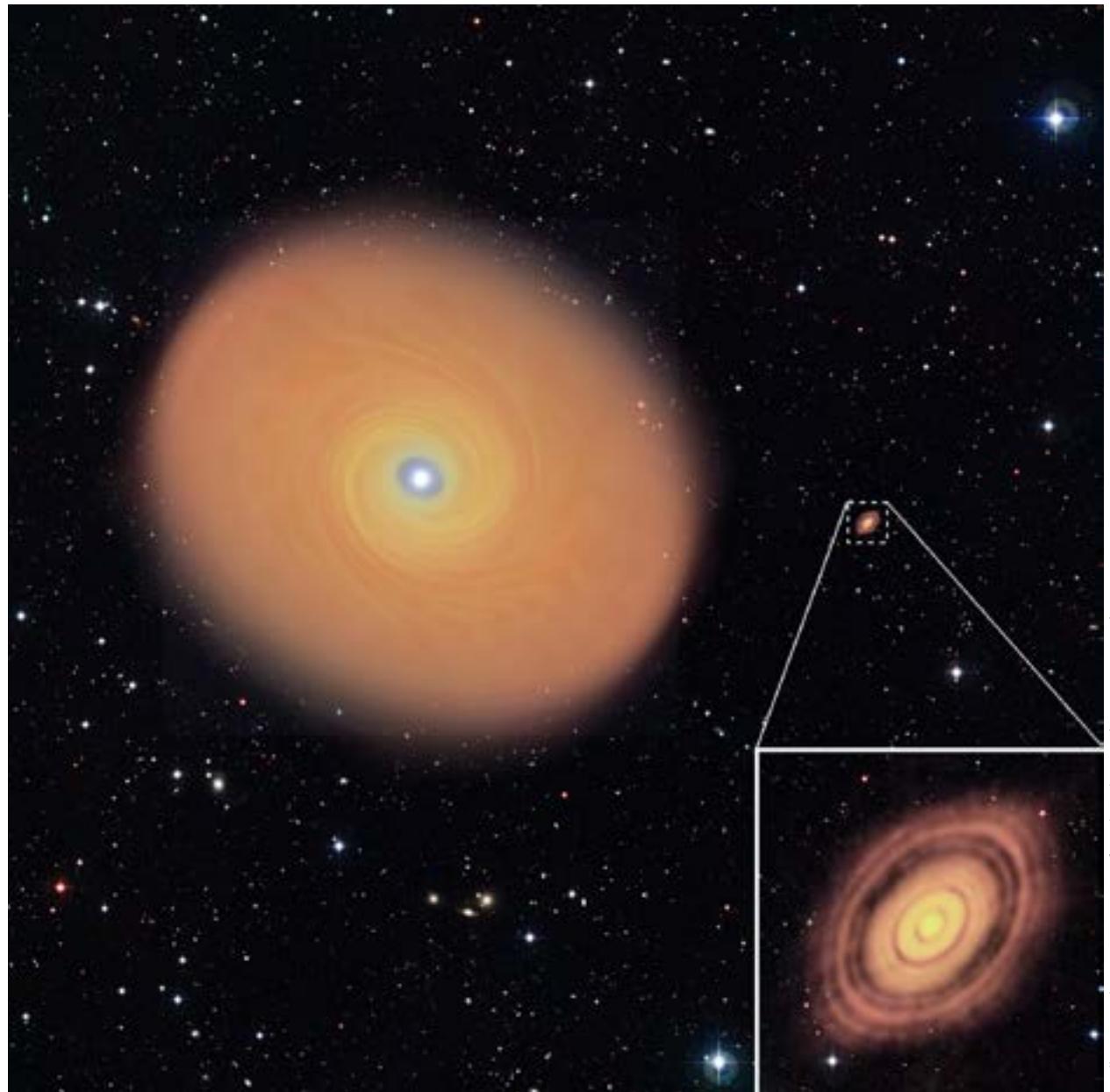
Strahlungsdruck behindert den Materiefluss auf den Stern und kann die umgebende Materie ab einer bestimmten Intensität sogar ganz aus der Umgebung ver-

treiben! Wie können Sterne mit sehr hohen Massen unter solchen ungünstigen Bedingungen überhaupt entstehen?

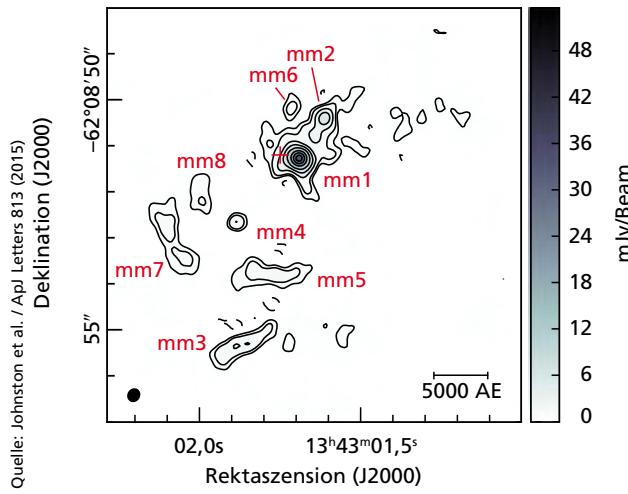
Hier könnte das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von stabilen (Kepler-)Scheiben einen wichtigen Unterschied bedeuten. Solche Scheiben können beträchtliche Materiemengen auf einen im Entstehen befindlichen Stern lenken und bieten andererseits dem Strahlungsdruck ein sehr schmales Profil und damit ungleich weniger Angriffsfläche als Gas, welches den Stern in einer Art Kugelschale umgibt.

### Wo sind die Scheiben um massereiche Sterne?

Bis zu den hier vorgestellten Ergebnissen hatten Astronomen noch keine Keplerscheiben um junge, massereiche Sterne beobachtet. Was sie beispielsweise beobachtet hat-



Quelle: K. G. Johnston / University of Leeds und ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)



**Abb. II.7.2:** Dieses Millimeterwellen-Bild, aufgenommen mit ALMA, zeigt die Region rund um AFGL 4176 bei einer Wellenlänge von 1,21 mm. Graue Schattierung und Konturen zeigen die Helligkeit an ( $\sigma = 78 \mu\text{Jy Strahl mal } -5, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 300, 400$ ; negative Werte sind ein Artefakt des Messprinzips von ALMA, das Fluss auf großen Größenskalen nicht erfassen kann). Die ausgefüllte Ellipse links unten zeigt das Auflösungsvermögen, also die Skala der kleinsten Details, welche die hier verwendete ALMA-Konfiguration erfassen kann. Die Millimeter-Quellen sind durchnummieriert; die Quelle, welche die Keplerscheibe enthält, ist mm1.

durch ähnliche magneto-hydrodynamische Effekte entstehen. Auch ausgedehntere Ausströmungen mit Längen von bis zu ein paar Lichtjahren wurden bei O-Sternen beobachtet.

Wann immer größere rotierende Strukturen wie die erwähnten Donuts nachweisbar sind, liegen die Jets senkrecht zu ihnen. Dieser Zusammenhang zwischen dem allgemeinen Drehsinn des Systems und der Orientierung von Jets bzw. Ausströmungen ist ein weiteres Indiz dafür, dass die Entstehung der Jets mit rotierenden Scheiben tief im Inneren der größeren Donut-Strukturen zusammenhängen dürften.

Insgesamt gibt es also einige indirekte Anzeichen dafür, dass in Entstehung befindliche O-Sterne von Scheiben umgeben sind. Aber indirekte Anzeichen sind das eine; ein direkter Nachweis ist ein ganz anderes Paar Schuhe.

### Eine Frage von Größenskalen, Details und Empfindlichkeit

Allerdings erweisen sich direktere Beobachtungen als sehr schwierig. Das liegt insbesondere an den Skalen, um die es geht. Für Sterne geringerer Masse sind Zeitskalen und Strahlungsintensität dergestalt, dass das umhüllende Gas von der Strahlung bei Einsetzen der Kernfusion weggetrieben wird (Photoevaporation), so dass nur ein junger Stern mit umgebender Staubscheibe übrig bleibt (T-Tauri-Stern). Für Sterne höherer Masse mit ihrer intensiveren Strahlung und starkem Sternwind (also mit Teilchenströmen, welche von der Sternoberfläche ausgehen) gibt es wenn überhaupt dann nur einen sehr kurzen Zeitraum, in dem zwar das äußere Gas bereits weggetrieben worden, die Scheibe aber noch vorhanden ist. Wer eine Scheibe um solch einen massereichen Stern beobachten möchte, wird dies daher tun müssen, während Stern und Scheibe noch tief in einer Hülle von Gas und Staub verborgen sind.

Das macht Beobachtungen bei längeren Wellenlängen notwendig, etwa im Bereich der Submillimeter-/Millimeterwellen. Solche Wellen können eine Gas- und Staubbüll fast ungestört durchqueren und darin verborgene Strukturen nachweisbar machen. Die dazu nötigen Beobachtungen erfordern allerdings nicht nur ein hohes räumliches Auflösungsvermögen – also die Möglichkeit, kleine Details abzubilden – sondern auch eine hohe Bildqualität und eine hohe Empfindlichkeit der Teleskope.

ten, waren ringförmige Gaswolken rund um massereiche Protosterne, eine Art Gas-Donuts, von denen aus beachtliche Mengen an Gas auf den Protostern flossen und ihm bis zu einer Hundertstel Sonnenmasse pro Jahr zutragen.

Obwohl auch diese Strukturen rotieren, können sie nicht stabil sein: Die Zeitdauer, innerhalb derer ihre Materie nach innen auf den Protostern fällt, ist länger als die Zeit, die der Ring benötigen würde, um sich einmal um sich selbst zu drehen. Spielen solche Übergangsstrukturen die Hauptrolle bei der Entstehung massereicher Sterne? Oder sind doch stabile Keplerscheiben im Spiel, die im Inneren der Donuts liegen?

Die Antwort ist alles andere als einfach. Lange war nicht einmal bekannt, ob der hohe Strahlungsdruck und die hohen Einfallsraten von Materie überhaupt die Bildung einer hinreichend stabilen Keplerscheibe zulassen würden. Für einige Sterne vom Typ »frühe B-Sterne«, mit Massen bis zu dem rund 18-fachen der Sonnenmasse, waren solche Scheiben ab 1997 beobachtet worden, und das mit Geschwindigkeitsprofilen (Änderung der Rotationsraten von innen nach außen), die eindeutig einer Keplerbewegung entsprachen. Für Herbig-Be-Sterne, das sind bestimmte junge Sterne mit bis zu 8 Sonnenmassen, waren solche Scheiben sogar schon deutlich länger bekannt. Aber für die massereichsten Sterne, Sterne vom Typ O mit mehr als 18 Sonnenmassen, war die Situation alles andere als offensichtlich.

### Verräterische Jets

Hinweise darauf, dass selbst O-Sterne Scheiben besitzen dürften, hatte es zwar gegeben. Bei Sternen geringerer Masse führt ein typisches Wechselspiel von Scheibe und Magnetfeldern zur Ausbildung sogenannter Jets: zwei hochenergetischen und eng fokussierten Strömen von Teilchen, die aus den innersten Regionen des Stern-Scheiben-Systems nach außen schießen, und das immer senkrecht zur Scheibenebene. Solche Jets sind auch bei O-Sternen gefunden worden, und es liegt nahe, dass sie

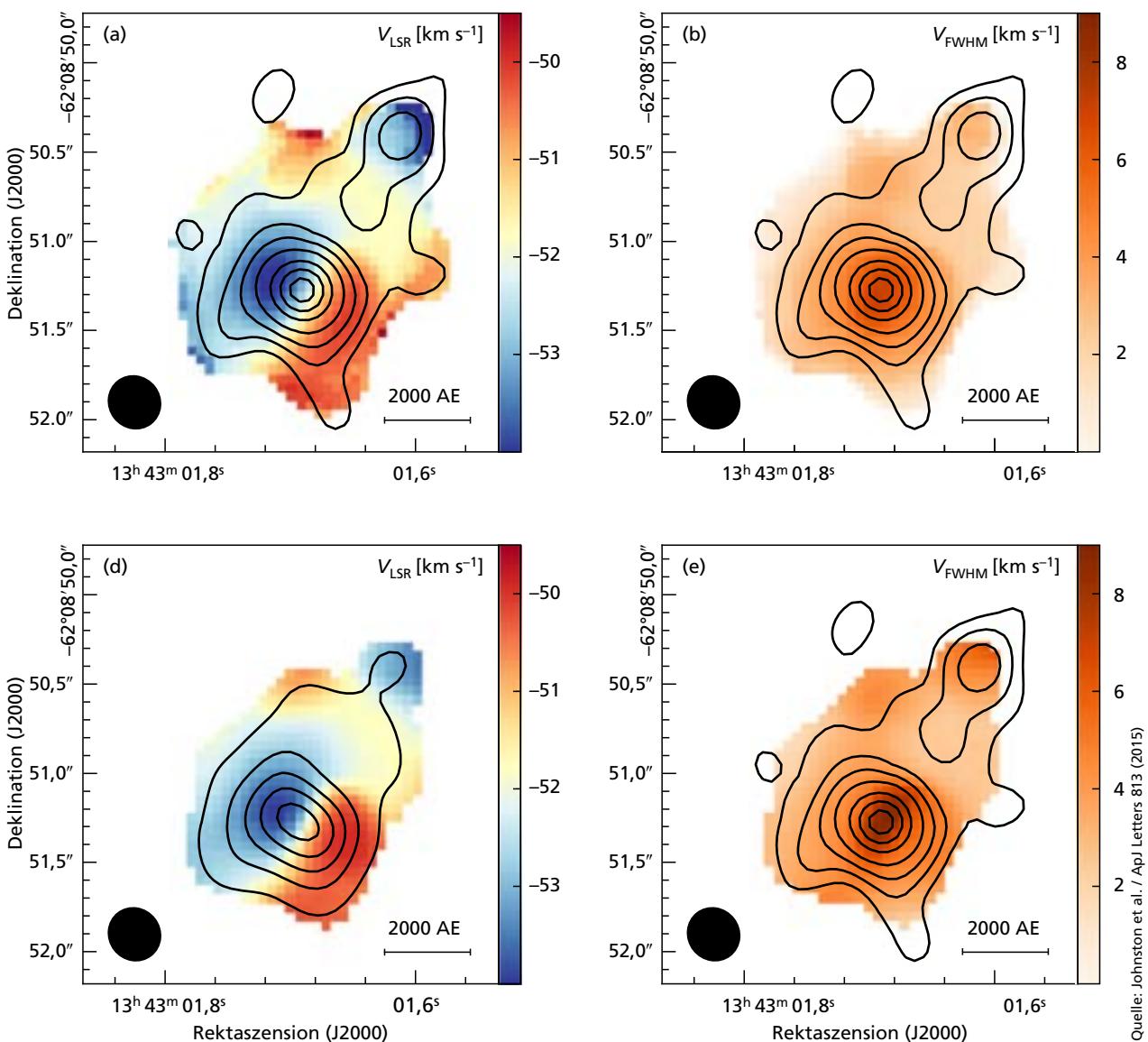
Submillimeter-/Millimeterwellen haben vergleichsweise lange Wellenlängen, bei denen das nötige Auflösungsvermögen nur mit sogenannten Interferometern erreichbar ist: mit Teleskopverbünden aus mehreren Radioteleskopen, die so zusammengeschaltet sind, dass sie in punkto Auflösung wie ein einziges, deutlich größeres Teleskop agieren. Doch selbst die Interferometer sind an den Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit, wenn es um die Beobachtung von Scheiben um massereiche Sterne geht.

**Abb. II.7.3:** Die obere Zeile zeigt ALMA-Daten für die Quelle AFGL 4176 mm1: Geschwindigkeit und Linienbreite einer charakteristischen Spektrallinie von Methylzyanid, die als Indikator für dichtes Gas bei Temperaturen zwischen 10 und 100 K ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ,  $J = 13-12$ ,  $K = 3$ ) genutzt werden kann. Die untere Zeile zeigt dieselben Größen, abgeleitet aus der Anpassung eines Modells an das Spektrum, das für jeden Bildpixel aufgenommen wurde. Die linke Spalte zeigt jeweils die mittlere Gasgeschwindigkeit an, abgeleitet mithilfe

Das änderte sich erst mit der Eröffnung des ALMA-Observatoriums im Jahre 2011, das eine bis dahin nicht mögliche Kombination von hoher Auflösung, hoher Empfindlichkeit und hoher Bildqualität zugänglich machte. Es verwundert daher nicht, dass in ALMA-Veröffentlichungen der letzten Jahre einige Kandidaten für den Nachweis solcher Scheiben präsentiert wurden (Sanchez-Monge et al. 2014, Zapata 2015).

Jetzt hat ein Astronomenteam unter der Leitung von Katharine Johnston von der Universität Leeds (und ehe-

des Dopplereffekts, wobei sich Gas in blau dargestellten Regionen im Mittel auf uns zu, in rot dargestellten Regionen von uns weg bewegt; die sichtbaren Bewegungsstrukturen entsprechen denen einer fast genau von der Seite betrachteten Scheibe. In der rechten Spalte ist jeweils dargestellt, ob sich das Gas koordiniert in eine Richtung bewegt oder ob sich unterschiedliche Gaskomponenten in unterschiedliche Richtungen bewegen (Linienbreite der Spektrallinie).



Quelle: Johnston et al. / ApJ Letters 813 (2015)



Quelle: A. Duro / ESO

**Abb. II.7.4:** Mehrere der 12-Meter-Antennen des Atacama Large Millimeter/submillimeter Array ALMA. Das vollständige ALMA-Observatorium hat 2011 den Beobachtungsbetrieb aufgenommen. Erst das hohe Auflösungsvermögen und die

hohe Empfindlichkeit von ALMA ermöglichen den hier beschriebenen Nachweis der massereichen Keplerscheibe um einen massereichen Stern.

malige Postdoktorandin des MPIA), zu dem auch die MPIA-Forscher Thomas Robitaille, Henrik Beuther, Hendrik Linz und Roy van Boekel gehören, klare Hinweise auf eine Keplerscheibe gefunden, die einen jungen O-Stern umgibt und nahelegt, dass die Physik der Sternentstehung anscheinend doch quer durch das Massenspektrum der Sterne dieselbe sein könnte.

#### Erfolg dank ALMA

Erst 2015 fand ein Astronomenteam unter der Leitung von Katharine Johnston von der Universität Leeds klare Hinweise auf eine Keplerscheibe um einen in Entstehung begriffenen Stern vom Typ O. Offenbar laufen bei der Sternentstehung in der Tat unabhängig von der Sternmasse recht ähnliche Prozesse ab.

Das Beobachtungsobjekt trägt die Katalognummer AFGL 4176 und ist ein O-Stern im südlichen Sternbild Zentaur (Centaurus), direkt neben dem Kreuz des Südens. Die Entfernung des Sterns von der Erde lässt sich auf rund 14 000 Lichtjahren abschätzen. AFGL 4176 liegt in einer extrem hellen Sternentstehungsregion, deren Objekte zusammengenommen rund 100 000 Mal so hell leuchten wie die Sonne. Als Katharine Johnston im

Jahre 2012, damals noch Postdoktorandin am MPIA, Beobachtungszeit mit ALMA für dieses Objekt beantragte, hatte sie es vor allem auf die Materie abgesehen, welche die Sterne in dieser Region umgibt.

Die Sternentstehungsregion war vorher bereits mit dem MIDI-Instrument am VLT-Interferometer des ESO-Observatoriums Paranal beobachtet worden, und ALMA-Daten würden die verfügbaren MIDI-Daten ideal ergänzen: Während MIDI die innersten Bereiche warmen Staubs nachweist, erlauben ALMA-Beobachtungen Untersuchungen des kühleren Staubs und Gases; der Vergleich sollte interessante Rückschlüsse auf die Strukturen des interstellaren Materials in der betreffenden Region zulassen. ALMA-Beobachtungen sind außerdem Mittel der Wahl, um die Bewegungen von Gas rund um einen entstehenden Stern nachzuweisen.

#### Methylzyanid zeigt dichte, kühle Regionen

Die Astronomen hatten von Anfang an gehofft, zusätzlich zum interstellaren Material auch eine Scheibenstruktur nachweisen zu können – und dann womöglich klären zu können, wie die Scheibe durch das ionisierte Gas in ihrer Nachbarschaft beeinflusst wird. Die Beob-

achtungen nutzten bestimmte Frequenzen des Lichts (Spektrallinien), die für Methylzyanid typisch sind (ein organisches Lösungsmittel, das auch Acetonitril genannt wird, chemische Formel  $\text{CH}_3\text{CN}$ ).

Licht bei diesen Frequenzen wird nur in dichten Gasregionen ausgesendet, deren Temperaturen zwischen einigen Dutzend und einigen hundert Kelvin liegen; es kann daher genutzt werden, um dichtere Strukturen im Inneren von Gaswolken nachzuweisen.

In den ALMA-Beobachtungen befand sich das meiste auf diese Weise nachgewiesene dichtere Gas am gleichen Ort wie eine auffällige Infrarotquelle, 0,3 Lichtjahre (bzw. am Himmel: vier Bogensekunden) entfernt von einer HII-Region ionisierten Gases. Bereits das war ein vielversprechender Hinweis darauf, dass es sich um eine Gasscheibe handeln dürfte, die einen Protostern (die Infrarotquelle) umkreist. Um Klarheit zu gewinnen war allerdings noch eine andere Art von Untersuchung nötig.

### Geschwindigkeitskarten für eine rotierende Scheibe

ALMA-Beobachtungen liefern in der Regel auch Spektralinformationen, also Informationen darüber, wie sich die Strahlungsenergie auf die verschiedenen Frequenzbereiche des empfangenen Lichts verteilt. Bewegt sich eine Quelle, führt dies zu systematischen Frequenzverschiebungen: aufgrund des Dopplereffekts sehen wir Licht von einer Quelle, die sich auf uns zu bewegt, bei etwas höheren Frequenzen (Blauverschiebung) und von einer Quelle, die sich von uns weg bewegt bei niedrigeren Frequenzen (Rotverschiebung).

Für das charakteristische Licht des Methylzyanids kann die Wellenlänge einer ruhenden Quelle im Labor bestimmt werden. Zeigen astronomische Beobachtungen höhere oder niedrigere Frequenzen, dann bewegt sich das Gas, welches das Licht aussendet, auf den Beobachter zu oder von ihm weg.

Mithilfe der ALMA-Beobachtungen konnten die Astronomen Geschwindigkeitskarten erstellen, auf denen mittels des Dopplereffekts für jeden Bildpixel bestimmt wurde, ob und wie schnell sich das Gas im Mittel von uns weg oder auf uns zu bewegt. Für AFGL 4176 zeigten die Karten das charakteristische Muster einer Scheibe, die wir leicht von der Seite sehen (um rund 30 Grad gekippt relativ zum Blick von oben auf die Scheibe) und bei der daher Gas in der einen Scheibenhälfte auf uns zu rotiert, in der anderen von uns weg.

### Kepler oder nicht?

Handelte es sich tatsächlich um eine Keplerscheibe, mit der für solche Scheiben typischen raschen Zunahme der Rotationsgeschwindigkeit in den inneren Scheibengebieten? Um diese Frage zu beantworten war eine ge-

nauere Analyse nötig. Johnston und ihre Kollegen berechneten Modelle für die Scheibe, bei denen sie die Scheibeneigenschaften variierten: Ihre Modelle wiesen sämtlich leicht unterschiedliche Scheibenmassen, -radien, Verteilung der Masse innerhalb der Scheibe, Blickwinkel und Gashüllen rund um die Scheibe auf.

Diese Modelle berücksichtigten die physikalischen Prozesse in und um die Scheibe: Der Spektraltyp des Sterns bestimmt, wie viel Strahlung der Stern emittiert; die Strahlung heizt die Scheibe auf und bestimmt deren Temperatur; die Form der Scheibe ergibt sich aus dem Druck (der seinerseits aus der Temperatur folgt) und der Gravitationsanziehung sowohl des Sterns als auch der verschiedenen Gebiete der Scheibe selbst.

Auf diese Weise erhielten die Forscher mehr als 10 000 einzelne Modelle (1512 Modelle mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften, jedes davon betrachtet unter 7 verschiedenen Blickwinkeln), die eine Vielzahl möglicher Situationen abdeckten: eine Scheibe, die man unter einem Winkel von 10, 20, 30, 40, 50, 60 oder 70 Grad betrachtet; ein Spektrum mehr oder weniger massereicher Scheiben, mit verschiedenen Gas Hüllen und auch sonst einer Vielfalt von Eigenschaften.

Um zu simulieren, welches Erscheinungsbild jede dieser Scheiben einem Beobachter bietet, verwendeten die Astronomen Modelle für den Strahlungstransport. Solche Modelle zeigen, wie Licht sich durch ein gegebenes Gebilde aus Gas und Staub ausbreitet, dabei absorbiert und gestreut wird, und wie es je nach Energieenge zur Aufheizung der verschiedenen Materieregionenbeiträgt (und damit auch zur Erzeugung von Wärmestrahlung). Anschließend simulierten die Astronomen, wie sich solche Scheiben konkret in ALMA-Beobachtungen zeigen würden – als simulierte ALMA-Bilder ebenso wie über simulierte Messungen der Spektrallinien mit unterschiedlichen Positionen, Breiten und Helligkeiten.

### Modelle und Beobachtungen vergleichen

Im letzten Schritt wurden die simulierten mit den tatsächlichen Beobachtungen verglichen. Dasjenige Modell, das am besten zu den Beobachtungsdaten passt – so das Argument – dürfte die wirklichen Scheibeneigenschaften wie Masse, Radius, Blickwinkel und Eigenschaften des umgebenden Gases am besten beschreiben. Dieser Schlussweise nach handelt es sich in der Tat um eine Keplerscheibe, für die sowohl der Gravitationseinfluss des Zentralsterns als auch jener der Scheibenmatrix selbst eine wichtige Rolle spielt. Die Scheibe hat einen Radius von rund 2000 AU (also dem 2000-fachen des mittleren Abstands Erde-Sonne), eine Gesamtmasse von 12 Sonnenmassen und eine Flächendichte, die als  $1/r^{1.5}$  vom Radius  $r$  abhängt.

Im weiteren Zusammenhang liefern diese Beobachtungen die bisher besten Hinweise darauf, dass O-Ster-

ne – sprich: einige der massereichsten Sterne überhaupt – sich auf gleiche Weise bilden können wie andere Sterne auch. Sie entstehen trotz der Unterschiede in Skalen und Zeitverlauf auf ähnliche Weise wie masseärmere Sterne, durch Materie, die von einer Keplerscheibe auf den wachsenden jungen Stern geleitet wird.

### Die nächsten Schritte

Die hohe Qualität der ALMA-Beobachtungen weist bereits die Richtung, in die es weitergehen dürfte: Mit direkten Vergleichen zwischen Simulationen der Sternentstehung (bei denen Gleichungen zum Einsatz kommen, welche den Einfluss von Schwerkraft, Hydrodynamik und Magnetfeldern in solchen Scheiben beschreiben) und den Beobachtungen junger, massereicher Sterne und deren Scheiben. Diskrepanzen bei solchen Vergleichen könnten zeigen, wo das derzeitige Verständnis der Entstehung massereicher Sterne noch unvollständig oder sogar fehlgeleitet ist.

Das hervorragende Auflösungsvermögen von ALMA, das es erlaubt, die innersten Regionen des neu entstehenden Sterns im Detail abzubilden, ist auch für eine weitere derzeit noch ausstehende Schlüsselbeobachtung die Entstehung massereicher Sterne betreffend nötig: 96% aller O-Sterne sind Teil von Doppel- oder sogar noch größeren

Mehrfachsternsystemen. Die vorherrschenden Modelle gehen davon aus, dass Mehrfachsterne bereits in frühen Stadien der Sternentstehung angelegt werden, so lange noch Materie auf den Protostern fällt.

Hochaufgelöste Beobachtungen der Scheiben massereicher Protosterne könnten für die Fragmentierung günstige Strukturen offenbaren – etwa Spiralarme in der Scheibe – oder sogar direkt die Fragmentierung zeigen, mittels derer Begleitersterne (oder vielleicht auch massereiche Planeten eines massereichen Sterns) entstehen. Eine direkte Beobachtung solcher Fragmentierungsprozesse wäre ein kaum zu überschätzender Schritt im Verständnis der Entstehung massereicher Sterne.

*Katharine G. Johnston (auch Universität Leeds),  
Thomas P. Robitaille, Henrik Beuther, Hendrik Linz,  
Rolf Kuiper (auch Eberhard Karls-Universität Tübingen)  
und Roy van Boekel*

*in Zusammenarbeit mit*

*Paul Boley (Staatliche Universität Ural),  
Eric Keto (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics)  
und Melvin G. Hoare (Universität Leeds)*

### III. Instrumentierung und Technik



### III.1 Überblick

## Instrumentierung für bodengebundene Astronomie

**Die Schwerpunkte der MPIA-Aktivitäten im Bereich bodengebundene Instrumentierung lagen 2015 in den Bereichen Spektroskopie, Bildgebung höchster Qualität sowie interferometrische Instrumente für die ESO-Teleskope VLT/VLTI und VISTA und für das Large Binocular Telescope (LBT), sowie Durchmusterungsinstrumente für das Calar Alto-Observatorium. Außerdem ist das MPIA am Bau von zweien der drei Instrumente beteiligt, die für die Erstausstattung des E-ELT vorgesehen sind, eines geplanten Teleskops der nächsten Generation mit 39 Meter Spiegeldurchmesser.**

### Instrumentierung für das Large Binocular Telescope

LUCI 1 und LUCI 2 sind zwei kryogen gekühlte Instrumente für den Nahinfrarotbereich, die bildgebende Kameras und Spektrografen enthalten, mit denen sich mehrere Objekte gleichzeitig untersuchen lassen. Die beiden Instrumente wurden für das Large Binocular Telescope (LBT) auf dem Mount Graham in Arizona gebaut, als Kooperationsprojekt mit der Landessternwarte Heidelberg, dem Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching, der Universität Bochum und der Fachhochschule für Technik und Design in Mannheim.

Die LUCI-Instrumente bieten ein Bildfeld der Größe  $4 \times 4$  Bogenminuten, in dem die Bildqualität nur durch die Atmosphäreneigenschaften (Seeing) begrenzt werden. Das entspricht etwas mehr als einem Sechzigstel der scheinbaren Größe des Vollmonds am Himmel und ist für astronomische Kameras an Teleskopen wie dem LBT ein ungewöhnlich großes Bildfeld.

Anfang 2010 wurden die ersten Spektren und Bilder veröffentlicht, die mit LUCI 1 aufgenommen worden waren. Besonders an diesen Instrumenten ist ihre Nutzung sogenannter Adaptiver Optik: Spiegel, die in Echtzeit verformt werden und so einen Großteil der Störungen ausgleichen können, den das Licht ferner Objekte beim Durchgang durch die Erdatmosphäre erfährt.

Mithilfe der adaptiven Sekundärspiegel des Teleskops sind über ein Bildfeld von rund einer halben mal einer halben Bogenminute beugungsbegrenzte Beobachtungen möglich, also Beobachtungen, die nur noch durch die Abbildungseigenschaften des Teleskops beschränkt werden, nicht aber durch die atmosphärischen Beobachtungsbedingungen. Nachdem LUCI 2 im Vorjahr auf volle Funktionalität der Adaptiven Optik aufgerüstet worden war, wurde das Instrument im Januar 2015 er-

folgreich im AO-Betrieb getestet. Später im Jahr wurde dieselbe Nachrüstung auch bei LUCI 1 vorgenommen. Derzeit wartet das Instrument darauf, bei Himmelsbeobachtungen getestet zu werden.

Adaptive Optik ermöglicht den Benutzern ein spektrales Auflösungsvermögen von mehreren zehntausend, mit anderen Worten: Die Wellenlängenunterschiede, die auf diese Weise nachgewiesen können, entsprechen Bruchteilen eines Zehntausendstel der beobachteten Wellenlänge. Zu den zahlreichen wissenschaftlichen Einsatzmöglichkeiten für die vielseitigen LUCI-Instrumente gehört beispielsweise die Untersuchung der Sternentstehung in nahegelegenen Galaxien.

Adaptive Optik nutzt Referenzsterne, um auf sehr kurzen Zeitskalen zu beobachten, wie die atmosphärischen Störungen astronomische Bilder verzerrten, und daraus die nötigen Korrekturen zu berechnen. Allerdings müssen solche Referenzsterne eine gewisse minimale Helligkeit besitzen – und es gibt keine Garantie, dass Astronomen innerhalb des Bildfeldes, welches ihr Beobachtungsobjekt enthält, gleichzeitig auch einen hinreichend hellen Stern finden werden! Das ist der Grund für die Entwicklung des Laser-Leitsternsystems ARGOS, das mithilfe von Laserstrahlen künstliche Referenzsterne am Nachthimmel erzeugt, die dann mit den beiden LUCI-Instrumenten angepeilt werden können. ARGOS wurde 2015 erstmals bei Beobachtungen an einer Seite des LBT eingesetzt und auf dieser Seite bis Mitte 2015 komplett in Betrieb genommen. Die andere Seite hatte im Dezember 2015 »erstes Licht« und wird in den darauffolgenden Monaten in Betrieb genommen. Das MPIA spielte in all diesen Projektphasen eine wichtige Rolle.

Das mit Abstand größte laufende Instrumentierungsprojekt am MPIA ist LINC-NIRVANA (L-N), der das nahinfrarote Licht beider Teleskopspiegel des LBT zusammenführen soll. Das Instrument wurde ab Sommer 2015 auseinandergenommen und zum Versand ans LBT verpackt, Anfang September verschickt und kam im Oktober wohlbehalten beim LBT auf dem Mount Graham an (siehe Abschnitt III.3). Es befindet sich jetzt im Integrationsbereich am LBT um im Laufe des Jahres 2016 komplett wieder zusammengebaut und justiert und im September 2016 endgültig am LBT installiert zu werden. MPIA ist im L-N-Konsortium das federführende Institut. Weitere Konsortiumsmitglieder sind die italienischen Observatorien (INAF), das Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn und die Universität Köln.

Erstes Ziel wird es sein, über ein Bildfeld von  $10,5 \times 10,5$  Bogensekunden bei nahinfraroten Wellenlängen zwischen 1 und  $2,4 \mu\text{m}$  mit multikonjugierter Adaptiver Optik korrigierte Bilder zu liefern. Ein optionaler zukünftiger Funktionsmodus soll beugungsbegrenzte Bilder mit der Auflösung eines 23-Meter-Teleskops ermöglichen. Dazu wird LINC-NIRVANA das Licht der beiden Hauptspiegel des LBT mithilfe sogenannter Fizeau-Interferometrie kombinieren.

Zuden wissenschaftlichen Zielen von LINC-NIRVANA gehören kosmologische Messungen an Supernovae ebenso wie Untersuchungen zur Entstehung von Galaxien, der Sternpopulationn und Sternentstehung in anderen Galaxien, Exoplaneten, die Multiplizität von Sternen, die Struktur von zirkumstellaren Scheiben sowie von Planeten unseres Sonnensystems und deren Atmosphären.

Als Vorbereitung für die Testinstallation von LINC-NIRVANA am LBT wurde das Testsystem Pathfinder, welches das erfolgreiche Zusammenspiel eines LINC-NIRVANA-Wellenfrontsensors mit dem adaptiven Sekundärspiegel des LBT gezeigt hatte, wieder vom Teleskop entfernt.

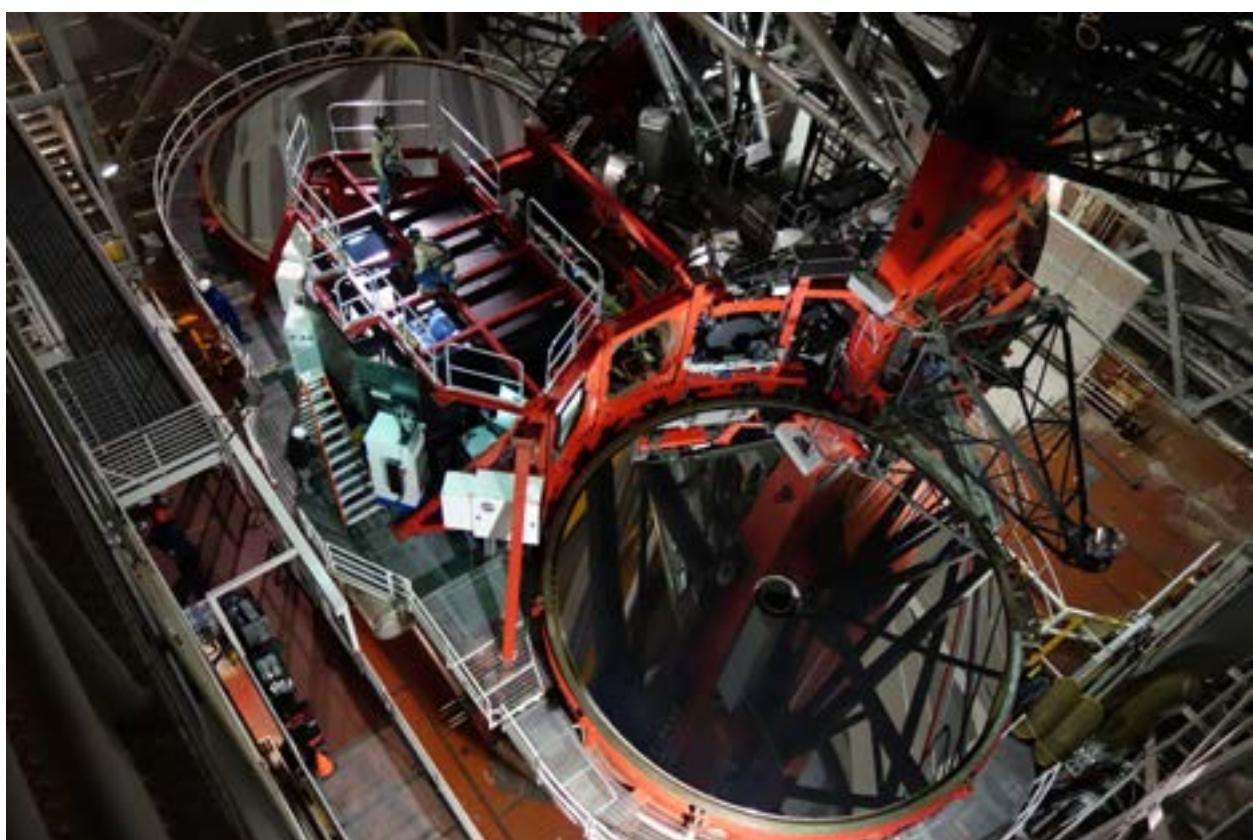
**Abb. III.1.1:** Das Large Binocular Telescope (LBT) auf dem Mount Graham in Arizona, USA. Mit seinen zwei 8,4-Meter-Spiegeln auf einer gemeinsamen Montierung ist das LBT derzeit das größte Einzelteleskop der Welt. Zusammengenommen entspricht das Lichtsammelvermögen der beiden Spiegel dem eines 12-Meter-Teleskops. Das Bild wurde während einer Testinstallation der Hauptstruktur des

### Instrumentierung für ESO-Teleskope: VLT/VLTI und VISTA

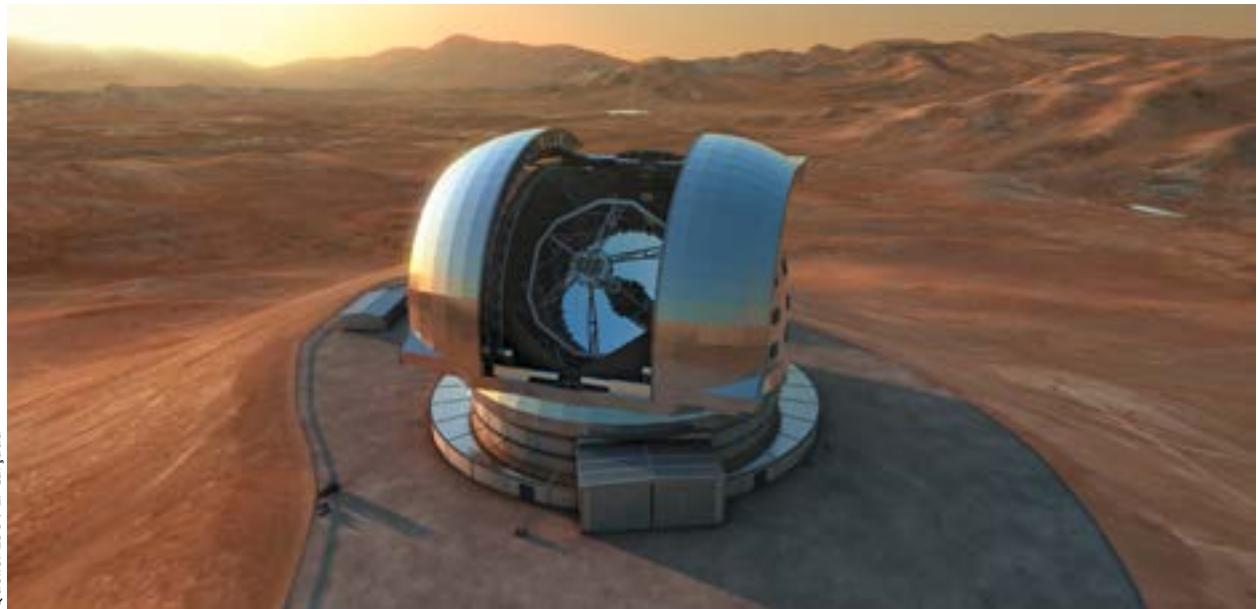
Das MPIA ist an den Instrumenten MATISSE und GRAVITY der zweiten Generation für das Very Large Telescope Interferometer (VLTI) am Paranal-Observatorium der ESO beteiligt. Beim VLTI werden mehrere der Teleskope des Very Large Telescope (VLT) miteinander kombiniert, genauer: unterschiedliche Kombinationen der 8,2-Meter-Hauptteleskope und der 1,8-Meter-Hilfsteleskope.

Das MATISSE-Konsortium besteht aus neun Instituten unter der Leitung des Observatoire de la Côte d'Azur. Matisse soll das Licht aller vier VLT-Hauptteleskope im mittleren Infrarotbereich kombinieren. So wird es möglich, Bilder mit der extrem hohen Auflösung von 10–20 Millibogensekunden zu erstellen. Wissenschaftliche Anwendungen finden derart detailschärfte Bilder bei Studien aktiver Galaxienkerne (AGN) ebenso wie bei der Erforschung der Entstehung von Planetensystemen und von massereichen Sternen sowie bei der Untersuchung der näheren Umgebung anderer Sterne. Nachdem das MPIA

LINC-NIRVANA-Instrument aufgenommen, bestehend aus der Instrumentenabdeckung (schwarze Fläche zwischen den beiden Hauptspiegeln), darunter die optische Bank und die beiden Elektronikschränke (z.B. nahe der Leiter links). Über der LINC-NIRVANA-Abdeckung hat das Observatorium eine Wartungsplattform angebracht.



Quelle: Th. Bertram (MPIA)



Quelle: ESO / L. Calçada

**Abb. III.1.2:** Künstlerische Darstellung des European Extremely Large Telescope (E-ELT) auf dem Cerro Armazones in Chile nahe dem ESO-Observatorium auf dem Paranal. Im Herbst 2015 begannen die vorläufigen Designphasen der Instrumente für die Erstausstattung des E-ELT.

seine Beiträge zu MATTSE in Form zweier Haupt-Kryostaten für Instrumente bereits 2014 zur Integration nach Nizza geliefert hatte, war das MPIA-MATTSE-Team in diesem Jahr an Vorbereitungsarbeiten für die Abnahme durch die ESO vor der Verschiffung nach Chile beteiligt. Die Abnahme soll Mitte 2016 erfolgen.

GRAVITY soll ebenfalls das Licht aller vier VLT-Hauptteleskope kombinieren, allerdings im Nahinfrarotbereich. Federführend beim GRAVITY-Konsortium ist das Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching; zum Konsortium gehören das MPIA, die Observatorien in Paris und Genoble sowie die Universitäten in Köln und Lissabon. Mithilfe eines sehr leistungsstarken Adaptiven Optik-Systems soll GRAVITY in einem 2 Bogensekunden durchmessenden Blickfeld hochpräzise astrometrische Messungen durchführen und außerdem extrem hochauflöste Bilder produzieren.

Während derjenige Teil des Instruments, der die Strahlen der verschiedenen Teleskope zusammenführt, bereits 2015 am Paranal installiert wurde (und zum Zeitpunkt der Abfassung dieses Textes bereits erste astronomische Testaufnahmen geliefert hat), werden weitere Komponenten, etwa das Metrologie-System sowie der MPIA-Hauptbeitrag, nämlich die vier Wellenfrontsenso- ren, erst 2016 installiert werden. Nach einer sehr intensiven Weiterentwicklungsphase steht das erste der Systeme diesen Februar zur Verschiffung bereit.

Zu den wissenschaftlichen Anwendungen von GRAVITY gehören die Untersuchungen von Bewegungen in unmittelbarer Nähe des supermassereichen Schwarzen Lochs im Zentrum unserer Galaxie, der Nachweis intermediärer Schwarzer Löcher ebenfalls in

unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße, die dynamische Massenbestimmung von Exoplaneten, Studien zu den Ursprüngen protostellarer Jets sowie die Abbildung von Sternen bzw. Gas in den verdeckten Regionen aktiver galaktischer Kerne (AGN), von Sternentstehungsregionen und von protoplanetaren Scheiben.

Das Instrument SPHERE ist darauf spezialisiert, jupiterähnliche Exoplaneten abzubilden. Hier ist das MPIA eines von mehreren federführenden Instituten (Co-PI) in einem Konsortium, zu dem auch das Laboratoire d'Astrophysique der Sternwarte Grenoble, das Laboratoire d'Astrophysique in Marseille, die ETH Zürich und die Universität Amsterdam gehören.

Die wichtigste Herausforderung für SPHERE wird darin liegen, den extrem großen Helligkeitsunterschied zwischen Exoplaneten und ihren Heimatsternen zu überwinden. Zu diesem Zweck nutzt das Instrument eXtreme Adaptive Optik (XAO) und Koronografie (also das mechanische Abschatten des Lichts des Sterns im Instrument selbst). SPHERE besitzt drei Untersysteme in der Brennebene, die differenzielle Bildanalyse (differential imaging) nutzen, also spezielle Vergleiche zwischen verschiedenen Bildern eines Planeten und seines Heimatsterns. Solche Vergleiche ermöglichen es, die realen Bilddaten von verschiedenen Störbeiträgen zu unterscheiden. Das erste der drei Unterinstrumente nutzt Polarimetrie im Bereich des sichtbaren Lichts, das zweite Doppelabbildungen im Nahinfrarotbereich und das dritte integrale Feldspektroskopie im infraroten J-Band. Nach wissenschaftlichem Testbetrieb im Dezember 2014 und im Februar 2015 hat SPHERE den regulären Beobachtungsbetrieb aufgenommen.

Das Projekt 4MOST, dem das MPIA 2014 beigetreten ist, ist ein Multi-Objekt-Spektrograf für das 4,1-m-Durchmusterungsteleskop VISTA am Paranal-Observatorium der ESO. 4MOST ist derzeit in der vorläufigen Designphase, die Mai 2016 mit einer Begutachtung abgeschlossen werden und dann in die eigentliche Designphase übergehen soll.

Leitendes Institut für 4MOST ist das Astrophysikalische Institut Potsdam; das MPIA ist dabei für die Steuerelektronik des Instruments verantwortlich. 4MOST soll die Ursprünge unserer Heimatgalaxie ebenso untersuchen wie deren chemische und kinematische Struktur. Außerdem soll das Instrument Beiträge zur Untersuchung der Galaxienentwicklung leisten. Dafür kommen 2400 optische Fasern auf einem Bildfeld von 4 Quadratgrad zum Einsatz, mit denen sich gleichzeitig Spektren für bis zu 2400 unterschiedliche Objekte im Bildfeld aufnehmen lassen.

### Durchmusterungsinstrumente für das Calar Alto-Observatorium und andere Standorte

Die Panoramic Near-infrared Camera (PANIC), zu deutsch etwa Panorama-Kamera für Nahinfrarotlicht, ist ein vielseitig einsetzbares Instrument mit großem Bildfeld für das 2,2-Meter-Teleskop am Calar Alto-Observatorium (CAHA) – eine gemeinsame Entwicklung mit dem Instituto de Astrofísica de Andalucía. Mit vier Hawaii2-RG-Detektoren deckt dieses Instrument ein Bildfeld von  $30' \times 30'$  ab (entsprechend der scheinbaren Größe des Vollmonds am Himmel). Das erlaubt Durchmusterungen von extragalaktischen und galaktischen Objekten ebenso wie Himmelskörpern in unserem eigenen Sonnensystem. PANIC führte im November 2014 erste Beobachtungen durch (»first light«) und nahm im April 2015 den regulären wissenschaftlichen Beobachtungsbetrieb auf.

CARMENES ist ein hochauflösender Échelle-Spektrograf für sichtbares und nahinfrarotes Licht, der derzeit von einem Konsortium deutscher und spanischer Institutionen für das 3,5-Meter-Teleskop am CAHA gebaut wird. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme beider Spektrografen in der zweiten Hälfte des Jahres 2015 hat das Instrument im Januar 2016 eine Durchmusterung von 300 Hauptreihensternen vom Typ M begonnen, um in deren habitablen Zonen Exoplaneten zu finden.

Die Suche nach Exoplaneten, genauer: nach Transits solcher Planeten, ist das Ziel des HATSouth-Projekts, in dem das MPIA mit der Universität Princeton, der Australian National University und der Pontificia Universidad Católica de Chile zusammenarbeitet. HATSouth ist ein Netzwerk von 24 robotischen Kleinteleskopen am Las Campanas-Observatorium in Chile, am Siding Spring-Observatorium in Australien und am Standort von H.E.S.S. in Namibia. MPIA ist für die Bereitstellung des Standorts und den Betrieb der Teleskope in Namibia verantwortlich.

MPIA-Wissenschaftler nutzen außerdem das ESO/MPG-2,2-Meter-Teleskop am Observatorium La Silla für spezielle Durchmusterungen.

### Das zukünftige European Extremely Large Telescope (E-ELT)

Im Jahre 2010 schloss eine ESO-Kommission unter der Leitung des MPIA die Suche nach dem Standort des zukünftigen 39-Meter-Teleskops E-ELT ab. Die Wahl fiel auf den Berg Cerro Armazones in der chilenischen Atacamawüste, in direkter Nachbarschaft zum Paranal-Observatorium der ESO.

Ende 2014 beschloss das Leitungsgremium der ESO, der ESO Council, mit dem Bau des Teleskops und der ersten Generation von Instrumenten zu beginnen. Das MPIA ist an zweien der Instrumentierungsprojekte beteiligt: METIS und MICADO. Beide Projekte haben im Herbst 2015 mit Vorstudien sowie mit der Erstellung einiger vorläufigen Instrumentendesigns begonnen.

METIS ist eine Kombination aus Kamera und Spektrograf im Bereich der thermischen/mittelinfraroten Strahlung bei Wellenlängen zwischen 3 und 19 Mikrometern. Mithilfe von Adaptiver Optik wird das Instrument beugungsbegrenzte Beobachtungen zulassen. Zu den wissenschaftlichen Zielen des Instruments gehören Untersuchungen zu den Verhältnissen im frühen Sonnensystem, der Bildung und Entwicklung protoplanetarer Scheiben, des galaktischen Zentrums, der hellen Zentralregionen nahegelegener Galaxien, aktiver Galaxienkerne bei hohen Rotverschiebungen und hoch rotverschobener Gammastrahlungs-Ausbrüche.

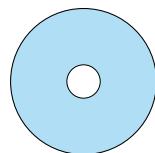
MICADO ist eine Kamera für den Nahinfrarotbereich. Mithilfe ihrer multikonjugierten Adaptiven Optik soll das Instrument eine sechs- bis siebenmal bessere Detailschärfe liefern als das James Webb Space Telescope (JWST), der designierte Nachfolger des Hubble-Weltraumteleskops. Das Instrument wird eine Empfindlichkeit von bis zu 29 Magnituden haben – im sichtbaren Licht entspräche das Sternen, die mehr als eine Milliarde Mal schwächer sind als die schwächsten noch mit dem bloßen Auge sichtbaren Sterne. Das Instrument erreicht diese Empfindlichkeit in den nahinfraroten Wellenlängenbändern I bis K.

Zu den wissenschaftlichen Zielen für MICADO gehören junge stellare Objekte (young stellar objects, YSO) in unserer eigenen Galaxie sowie die Sternentstehung in Galaxien bei hohen Rotverschiebungen. Die erreichbare hohe astrometrische Präzision wird Studien der Sternumlaufbahnen um das Schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße ebenso zugute kommen wie der Bestimmung der Eigenbewegungen der Kugelsternhaufen, der Struktur der Sternpopulationen und der Verteilung des interstellaren Staubs in Galaxien mit Rotverschiebungen  $z < 1$ .

Martin Kürster  
für die Technischen Abteilungen des MPIA

## Teleskopspiegel im Vergleich

Die Abbildungen zeigen Form, Struktur und Größe der Hauptspiegel ausgewählter Teleskope, die von MPIA-Wissenschaftlern genutzt werden oder für die das MPIA Beiträge zur Instrumentierung leistet, beziehungsweise geleistet hat.



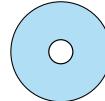
**Herschel-Weltraumteleskop**  
3,5 m



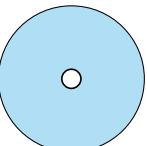
**Infrared Space Observatory**  
Hauptspiegel 0,6 m



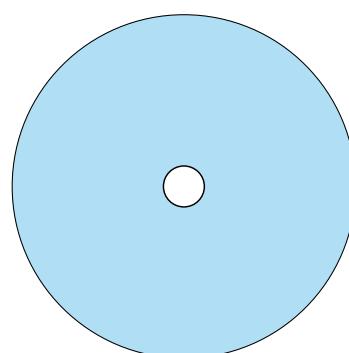
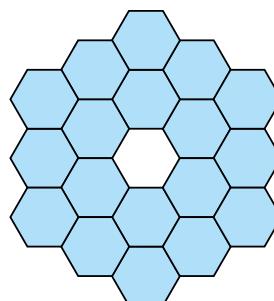
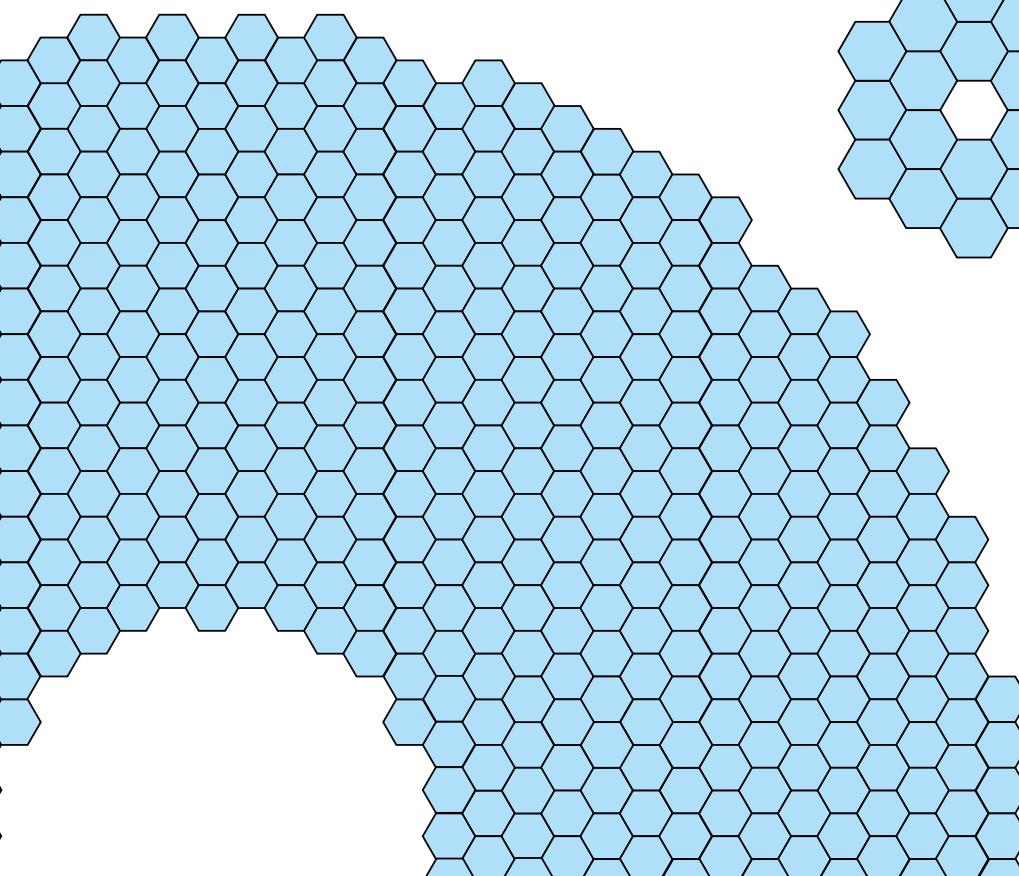
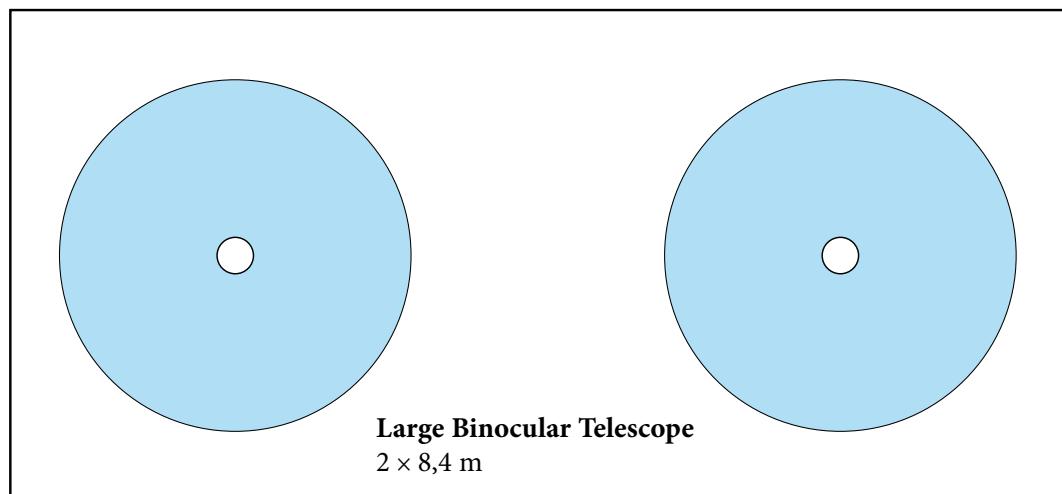
**Spitzer-Weltraumteleskop**  
Hauptspiegel 0,85 m



**Hubble-Weltraumteleskop**  
2,4 m



**Calar Alto Observatory**  
3,5 m



**Very Large Telescope**  
 $4 \times 8,2$  m

### III.2 Überblick

## Instrumentierung für Weltraumteleskope

### James Webb Space Telescope (JWST)

Das James Webb Space Telescope (JWST), ein Weltraumteleskop für Wellenlängen vom sichtbaren Licht bis in den mittleren Infrarotbereich, soll im Herbst 2018 als Nachfolger des Hubble-Weltraumteleskops ins All starten. Mit seinem kalten 6,5-Meter-Hauptspiegel und vier wissenschaftlichen Instrumenten wird JWST auf ein Jahrzehnt nach seinem Start hinaus das wichtigste Infrarotspektrometer im Weltraum sein.

Das MPIA ist das wichtigste deutsche Institut, das an der Entwicklung von Instrumenten für das JWST beteiligt ist. Als Mitglied eines europäischen Konsortiums ist das MPIA für die Entwicklung der gekühlten betriebenen (kryogenen) Radmechanismen verantwortlich, mit denen die optischen Komponenten des Mittel-Infrarotinstruments MIRI im Strahlengang positioniert werden. Außerdem leitet das MPIA die Elektronikentwicklung für dieses Instrument.

**Abb. III.2.1:** Gruppenfoto von Mitgliedern des JWST-Teams mit dem fertiggestellten Instrumentenmodul des JWST (Integrated Science Instrument Module). Gerade wurde der Nahinfrarot-Spektrograph NIRSpec als letztes der vier Instrumente eingebaut. Die anderen Instrumente sind MIRI

MIRI besteht aus einer hochauflösenden Kamera und einem Spektrometer mit mittlerer Auflösung und wird bei Wellenlängen zwischen 5 und 28 Mikrometern arbeiten. Das MPIA hat außerdem Schlüsselkomponenten wie tieftemperaturtaugliche Motoren und hochpräzise Positionssensoren für den nahinfraroten Multi-Objekt-Spektrographen NIRSPEC geliefert, das zweite von zwei JWST-Instrumenten, die vornehmlich in Europa entwickelt worden sind.

Seit der Auslieferung des Instruments an das Goddard Space Flight Center der NASA in den USA im Mai 2012 wurde MIRI in die integrierte Instrumentenplattform des Teleskops eingebaut und wird seither einer Reihe anspruchsvoller Tests unterzogen. Im Jahre 2015 wurde die dritte komplett gekühlte Testkampagne CV3 für alle vier wissenschaftlichen Instrumente des JWST erfolgreich abgeschlossen. Für diese Kampagne wurden MIRI und die anderen Instrumente des Wis-

im mittleren Infrarotbereich, an dem das MPIA ebenfalls beteiligt ist, sowie eine Nahinfrarot-Kamera und eine Kamera-Spektroskop-Kombination im Nahinfrarotbereich. Auch einer der Sensoren zur genauen Ausrichtung des Teleskops ist bereits installiert.



Quelle: NASA



**Abb. III.2.2:** Nahaufnahme der Installation des achtzehnten und letzten Spiegelsegments des Hauptspiegels des James

Webb Space Telescope. Die schwarzen Abdeckungen schützen die reflektierende Goldschicht der Spiegelsegmente.

senschaftlichen Instrumentenmoduls (Integrated Science Instrument Module, Abbildung III.2.1) im Vakuum Temperaturen von weniger als  $-230^{\circ}\text{C}$  ausgesetzt, um die Umweltbedingungen zu simulieren, unter denen die Instrumente im Weltraum werden operieren müssen.

In das NIRSPEC-Instrument wurden außerdem diejenigen Detektoren und das System von Mikroblenden (micro-shutter array) eingebaut, welche das Instrument dann bei seinem eigentlichen Einsatz nach dem Start nutzen soll. Die Mikroblenden ermöglichen es NIRSPEC, mehrere Objekte gleichzeitig zu spektroskopieren. Alle am MPIA entwickelten Radmechanismen funktionierten fehlerfrei und zuverlässig. Das JWST-Team am MPIA hat von Heidelberg aus und vor Ort maßgeblich zur Vorbereitung, Durchführung und Auswertung dieser Tests beigetragen. Es beschäftigt sich außerdem intensiv mit der Entwicklung der zukünftigen Software-Pipeline zur Aufbereitung der Beobachtungsdaten des MIRI-Instruments.

Auch die anderen Komponenten des JWST konnten 2015 große Fortschritte verzeichnen. So wurden bis Februar 2016 alle 18 Segmente des Hauptspiegels des Teleskops montiert (siehe Abbildung III.2.2). Dazu wurden die Spiegel in justierbaren optischen Segmenten auf der Installationsebene des Hauptspiegels installiert, die aus leichtgewichtigem Karbonfaser-Kompositmaterial besteht. Dass die Einzelspiegel im Weltraum justiert werden können, ist entscheidend dafür, dass sie anschließend phasenrichtig wie ein einziger monolithischer Spiegel zusammenwirken können. Der Sekundärspiegel muss ebenfalls justierbar sein.

Auch die ersten Membranen für das tennisplatzgroße Sonnensegel des JWST wurden 2015 geliefert. Die Herstellung der verbleibenden Schichten des Sonnensegels und der Einbau in die Teleskopstruktur wird 2016 fortgesetzt.

In der Woche vom 12. – 16. Oktober fand am ESTEC-Zentrum der Europäischen Weltraumagentur in den Niederlanden eine internationale Konferenz statt, die den Forschungszielen gewidmet war, die sich mit dem JWST erreichen lassen. Insgesamt 200 Forscher, darunter zahlreiche MPIA-Wissenschaftler, nahmen mit Vorträgen, mit Postern oder schlicht als Zuhörer und Mitdiskutanten teil. Entsprechend der Vielfalt der JWST-Themen reichten die Inhalte von der Untersuchung von Planeten und Planetensystemen (einschließlich unseres Sonnensystems) bis hin zur Bildgebung fernster Objekte und spektroskopischen Durchmusterungen, die bis zur Reionisierungs-Epoche und dem Zeitalter der Entstehung der ersten Galaxien reichen sollen.

### Herschel und SPICA

Europas Weltraumobservatorium Herschel für Beobachtungen im ferninfraroten und Submillimeterlicht startete 2009 in den Weltraum und lieferte bis zum April 2013 Beobachtungsdaten. Im Jahre 2015 befand sich das Teleskop offiziell in der letzten Missionsphase, der Phase der nachträglichen und nachhaltigen Datenauswertung. Während dieser Phase sollen die reichhaltigen Datensätze, die Herschel während der vier Jahre seiner Beobachtungszeit geliefert hat, bestmöglich aufbereitet und in Archiven online zur Verfügung gestellt werden. Der



Abb. III.2.3: Konzeptstudie für das Ferninfrarot-Weltraumteleskop SPICA.

Schwerpunkt der jüngeren Arbeit lag dabei auf der Vorbereitung der Datenanalyse und -kalibration, die nötig ist, um sämtliche Herschel-Daten in das Herschel Legacy Archive zu überführen, das den Standards virtueller Observatorien entspricht und effiziente Forschung mit Archivdaten ermöglichen soll. Es ist unwahrscheinlich, dass die Astronomen in der näheren Zukunft bessere Daten als diese zur Verfügung haben werden – dementsprechend hoch ist die Motivation, aus den vorhandenen Daten so viel an Informationen herauszuholen wie möglich.

Das MPIA war einer der vier Hauptpartner bei der Entwicklung des PACS-Instruments, mit dem Herschel Bilder und Spektren im Wellenlängenbereich von 60 bis 120 Mikrometern mit bis dahin nicht erreichter Empfindlichkeit und räumlicher Auflösung gewinnen konnte. (Die Leitung der Entwicklung oblag dem Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching.) Das MPIA war dafür verantwortlich, den Fokalebenen-Chopper für PACS zu liefern (ein Gerät, welches ständige Vergleiche des Beobachtungsobjekts mit dem Himmelshintergrund erlaubt) sowie die Spektrometerkameras und ihre auf  $-270^{\circ}\text{C}$  gekühlte Ausleseelektronik zu vermessen (ein entscheidender Schritt, um die von PACS gelieferten Daten zu verstehen).

Das Institut koordinierte außerdem eine Vielzahl von Aufgaben bei der Kalibration des Instruments und war dafür verantwortlich, den Plan für die entscheidenden Funktionstests des Instruments und die für die Kalibration maßgebliche Dokumentation zu erstellen. Insbesondere fiel die detaillierte Missionsplanung für die Tage der Funktionstest-Phase des PACS-Instruments mithilfe maßgeschneideter Software in die alleinige Zuständigkeit

des MPIA-Teams. Auch die Beobachtungs-Datenbanken wurden vom MPIA-Team an das Herschel Science Center am ESAC in Villafranca (Spanien) und an das Mission Operations Center bei der ESOC in Darmstadt gesendet. Das Team erstellte außerdem einen passenden Kalibrationsplan für den Routinebetrieb von Herschel und entwickelte anhand von Labormessungen eine Methode, die Ge:Ga-Detektorfelder des Spektrometers nach ihrer Reise in den Weltraum optimal in Betrieb zu nehmen.

Als möglicher Nachfolger für Herschel ist das Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics im Gespräch (SPICA, wörtlich etwa das »Infrarot-Weltraumteleskop für Kosmologie und Astrophysik«). Das Teleskop (Abb. III.2.3) ist einer der Kandidaten für Missionen im Cosmic Vision-Wissenschaftsprogramm der ESA. SPICA soll einen kalten Spiegel mit rund 3 Meter Durchmesser erhalten und wäre damit insbesondere bei spektroskopischen Messungen rund zwei Größenordnungen empfindlicher als Herschel. Dem derzeitigen Planungsstand nach soll die Entwicklung von SPICA unter Leitung der japanischen Raumfahrtagentur JAXA erfolgen. Als Startdatum wird das Jahr 2029 anvisiert. Europa hat angeboten, sich mit dem Ferninfrarot-Instrument SAFARI, dem Teleskopspiegel und Unterstützung für das Bodensegment zu beteiligen. MPIA trägt zum SAFARI-Instrument bei (der leitende Wissenschaftler [PI] ist P. Roelfsema, SRON), und zwar insbesondere zu den Tests der kryogenen Detektoren und dem Entwurf des Filterradmechanismus.

## Euclid

Die Fragen nach der Natur der Dunklen Materie und der Dunklen Energie sind zwei Schlüsselfragen der moder-

nen Kosmologie. Dunkle Materie zeigt dabei keinerlei Wechselwirkung mit Licht oder anderen Formen elektromagnetischer Strahlung, beeinflusst aber durch ihre Schwerkraft Aufbau und Entwicklung von Galaxien und Galaxienhaufen sowie die kosmische Expansion. Dunkle Energie wurde eingeführt, um die überraschende Entdeckung zu erklären, dass sich die kosmische Expansion mit der Zeit nicht verlangsamt sondern beschleunigt – ein Umstand, der erst 1999 nachgewiesen wurde und seinen Entdeckern den Physik-Nobelpreis 2011 einbrachte.

Die ESA-Mission Euclid (Abbildung III.2.4) soll sich dieser offenen Fragen annehmen, indem sie die Geometrie des »dunklen Universums« kartiert. Der Start des Weltraumteleskops ist für 2020 vorgesehen; einmal im Weltraum soll Euclid mithilfe extrem wirklichkeitstreuer Abbildungen und Spektroskopie im sichtbaren und nahinfraroten Wellenlängenbereich in 15 000 Quadratgrad des Himmels extragalaktische Objekte kartieren. Aus diesen Daten lassen sich die Evolution der kosmischen Expansion und die (zeitabhängige!) Verteilung der Dunklen Materie von einem Zeitpunkt vor 10 Milliarden Jahren (Rotverschiebung  $z = 2$ ) erschließen.

Euclid wird zwei wissenschaftliche Instrumente tragen. Das erste davon ist VIS, eine Kamera, mit der sich im Bereich des sichtbaren Lichts die Strukturen von Galaxien sehr genau abbilden lassen. VIS soll eine dreidimensionale Karte des sogenannten schwachen Gravitationslinseneffekts quer durch das Universum erstellen – die Häufung winziger, zufällig verteilter Effekte der Lichtablenkung durch die im Universum enthaltenen Massen. Diese Karte lässt Rückschlüsse auf die Massenverteilung im Universum auf großen Skalen zu.

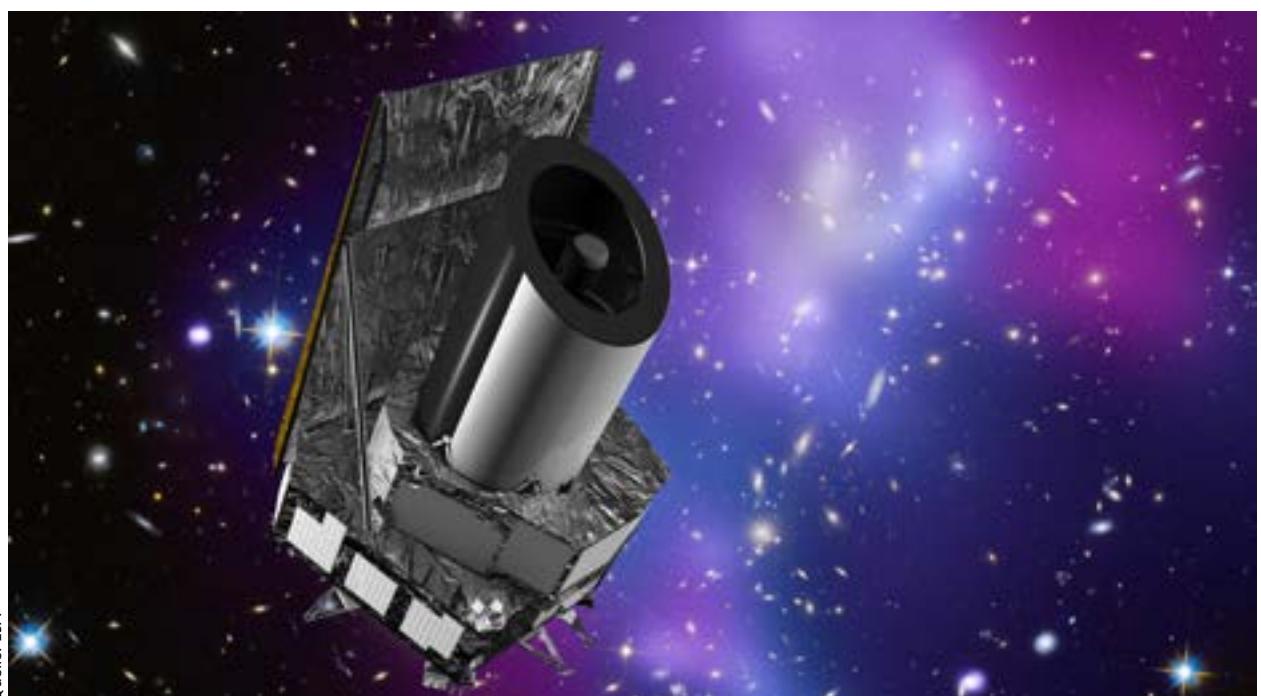
Das zweite Instrument ist NISP, eine Abkürzung für Near-infrared Spectrometer and Photometer, zu-

deutsch »nahinfrarotes Spektrometer und Photometer«. Die Entwicklung von NISP wird vom Laboratoire d’Astrophysique de Marseille (LAM) geleitet. NISP soll die spektroskopische Entfernungsbestimmung zu 50 Millionen Galaxien ermöglichen, von denen damit festgestellt werden kann, wie sie im Raum verteilt sind, und insbesondere, welche klumpigen Strukturen diese Galaxien auf größten Skalen bilden.

Das MPIA trägt zum einen auf organisatorischer Ebene zu Euclid bei: die hiesige Euclid-Gruppe hat die Oberaufsicht über die Kalibrationsstrategien und ist außerdem an Planung und Konstruktion des NISP-Instruments beteiligt. Sie hat außerdem die Oberaufsicht über die Leistungskontrollen für die Hardware von Euclid. Dazu gehören Simulationen der Leistungsfähigkeit der Instrumente sowie detaillierte Modellierung der Detektoren während der Konstruktion des Instruments. Zusätzlich trägt das MPIA mit finanzieller Förderung durch die deutsche Raumfahrtagentur DLR Hardwarekomponenten bei: die Nahinfrarotfilter und die Lichtquelle für die Kalibration des Instruments NISP.

Im Jahre 2015 hat sich die Euclid-Gruppe am MPIA der noch offenen Fragen angenommen, die durch den Preliminary Design Review im Vorjahr aufgeworfen wurden waren – in Vorbereitung des für Anfang 2016 ange setzten Critical Design Review als nächster Stufe. Dazu gehörte auch das Einwerben ausreichender Mittel für die verbleibenden Entwicklungs- und Konstruktionsphasen. Sobald alle Komponenten und das Instrument als Ganzes diese Prüfung bestanden haben, werden die für das fertige Teleskop vorgesehenen Komponenten hergestellt. So-

**Abb. III.2.4:** Aktuelles Design des Euclid-Satelliten. Der Hauptspiegel hat einen Durchmesser von 110 cm.





**Abb. III.2.5:** Modell der Kalibrationsquelle von Euclid für strukturelle und thermische Tests, ausgeliefert an das Laboratoire d’Astrophysique de Marseille (LAM) im Dezember 2015. Am LAM wird dieses Modell in ein größeres Euclid-Modell integriert.

wohl die fertigen Filter als auch die fertige Kalibrationsquelle sollen dann Anfang 2017 an LAM geliefert werden.

Ebenfalls im Verlauf des Jahres entwickelte ein Industriepartner das detaillierte Design der Filter für Euclid. Testbeschichtungen zeigten mit einer komplexen Kombination aus 200 Interferenzschichten exzellente Eigenschaften, welche die vorformulierten Anforderungen voll und ganz erfüllen. Als Vorbereitung für die Herstellung der Filtersubstrate in Frankreich wurde außerdem geeignetes Spezialglas bestellt. Die Endversionen der Filter sollen 2016 und 2017 hergestellt und getestet werden.

Die Kalibrationsquelle von NISP spielt trotz ihres Leichtgewichts von 600 Gramm die entscheidende Rolle für die Kalibration der NISP-Detektoren während des Flugs. Unser neuartiges Konzept nutzt Leuchtdioden (LEDs) statt der herkömmlichen Tungsten-Leuchtdrähte. Das erlaubt es, die Lichtaussendung über die Zeit hinweg

stabiler zu halten als es bisher möglich war, und ermöglicht eine Auswahl von fünf verschiedenen Wellenlängen zwischen 900 und 2000 Nanometern. Damit kann die Quelle nicht nur genutzt werden, um die relative Empfindlichkeit der einzelnen Detektorpixel zu kalibrieren, sondern auch, um festzustellen, wie das Instrument als Ganzes auf Lichteinfall unterschiedlicher Intensität und Wellenlänge reagiert. Das ist wichtig, da Infrarotdetektoren eine vom Bandpass-Filter abhängige Empfindlichkeit besitzen und Input und Output zudem deutlich nichtlinear voneinander abhängen. Ohne einen Test des Instruments als Ganzes wäre die Fähigkeit zu genauer Fotometrie deutlich eingeschränkt.

Der neue Ansatz des MPIA macht es erforderlich, LEDs überhaupt erst einmal für den Einsatz im Welt Raum zu qualifizieren. Dazu werden die LEDs unter anderem auf Tiefsttemperaturen heruntergekühlt und sowohl Vakuumbedingungen als auch einer starken Strahlungsbela stung ausgesetzt. Der durchaus komplexe Qualifikationsprozess hat 2014 begonnen und wird sich bis ins Jahr 2017 ziehen. Das Design der Kalibrationsquelle wurde 2015 abgeschlossen; ein Modell, das bereits alle mechanischen Komponenten enthält und zum Testen der Struktur- und der thermischen Eigenschaften gedacht ist, wurde bereits fertiggestellt und an LAM ausgeliefert (Abbildung III.2.5).

Insgesamt machen die MPIA-Beiträge zu Euclid gute Fortschritte hin auf das endgültige Design von NISP bis Ende 2016 und die Fertigstellung des Instruments im Jahre 2018. Dann verlagert sich der Schwerpunkt der Beteiligung des MPIA auf Beiträge zur Computer-Infrastruktur des Bodensegments und nach Missionsstart auf die Auswertung des riesigen und in mehrreli Hinsicht beispiellosen Datensatzes, den Euclid liefern soll.

Insbesondere plant das MPIA eine Reihe von Analysen, die jenseits der hauptsächlichen wissenschaftlichen Ziele der Mission liegen. Die Beobachtungsdaten sollen insgesamt mehr als ein Drittel der Himmelskugel abdecken. Sie werden zum einen hochaufgelöste Bilder (0,1 Bogensekunden) im sichtbaren Licht umfassen, zum anderen im Infraroten einen tiefen Blick ins Weltall erlauben ( $S/N = 5$  für Punktquellen der Helligkeit 24 mag). Die wissenschaftlichen Fragestellungen, die sich mit ihrer Hilfe angehen lassen, sind vielfältig und reichen von der Charakterisierung der Evolution von Galaxien bis zur Entdeckung und Untersuchung von Exoplaneten.

*Oliver Krause für die Gruppe  
Infrarot-Weltraumastronomie  
und  
Knud Jahnke für die Euclid-Gruppe*

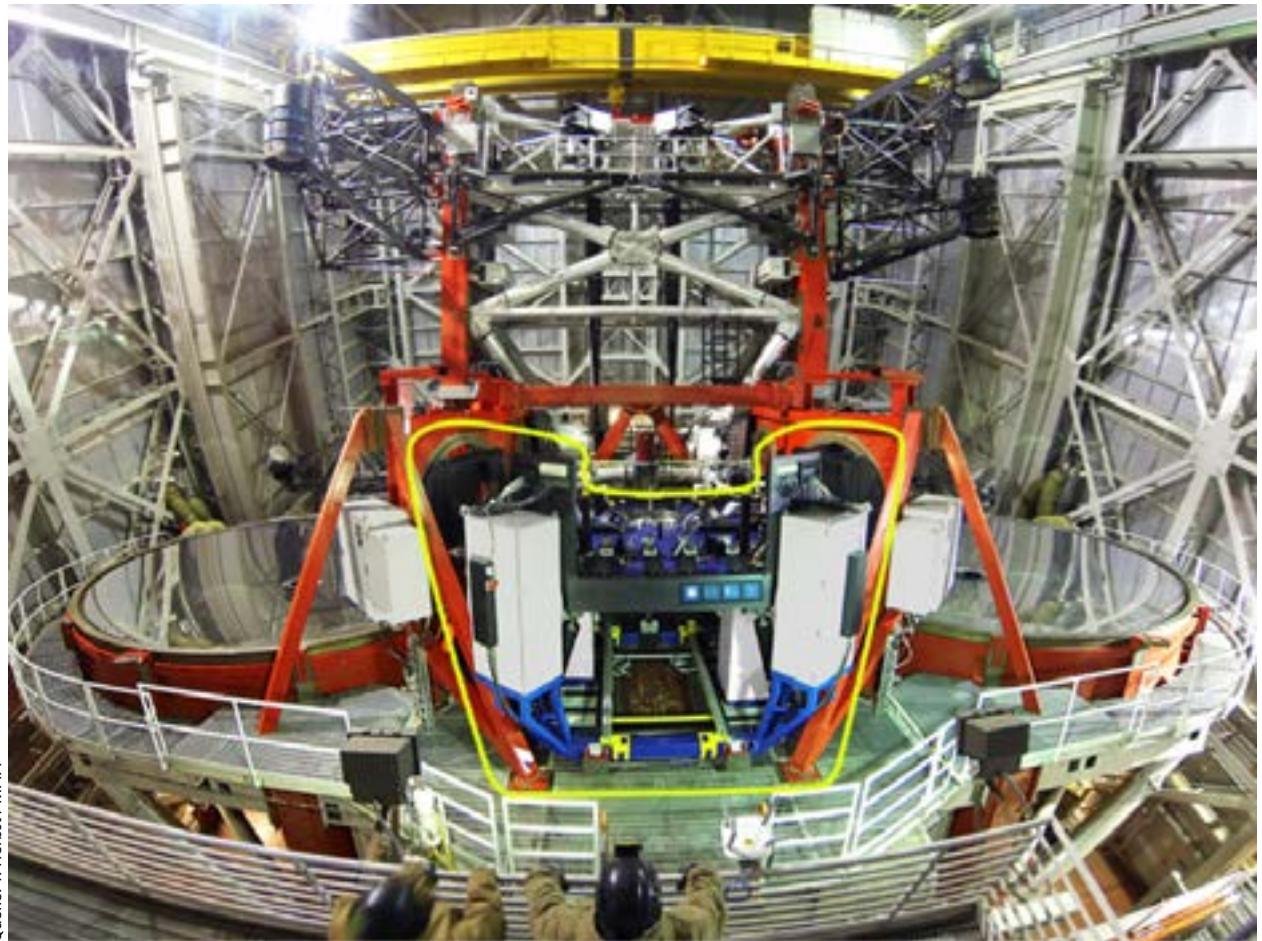
### III.3 Instrumentierung und Technik

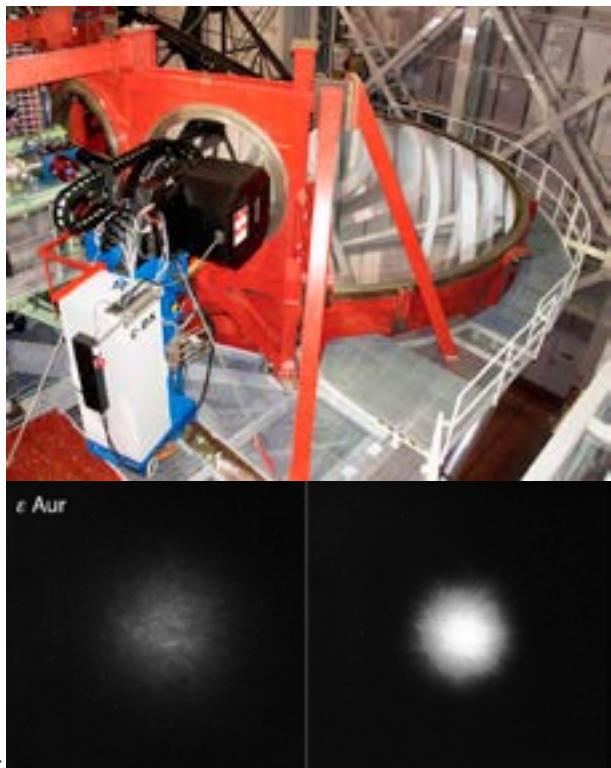
## LINC-NIRVANA: Vom Königstuhl ans Large Binocular Telescope

LINC-NIRVANA (LN) ist eine innovative hochauflösende astronomische Kamera für das Large Binocular Telescope (LBT) am Mount Graham-Observatorium in Arizona. LN verwendet Multikonjugierte Adaptive Optik (Multi-Conjugate Adaptive Optics, MCAO), um ein beugungslimitiertes Blickfeld mit einem Durchmesser von zwei Bogenminuten zu liefern. Tatsächlich enthält das Instrument zwei solcher MCAO-Systeme: eines für jeden der beiden 8,4-Meter-Spiegel des LBT. Das Instrument empfängt Licht von beiden Hauptspiegeln und ist sowohl für konventionelle Bildgebung ausgelegt als auch für Interferometrie: Im derzeit noch nicht implementierten interferometrischen Modus würde das Instrument das Licht beider LBT-Spiegel so kombinieren, dass das Auflösungsvermögen eines einzigen Teleskops mit 23 Meter Spiegeldurchmesser erreicht würde.

Im Verlauf des Jahres 2015 konnte das LINC-NIRVANA-Team die letzten Labortests am MPIA durchführen. Im Mai 2015 fand die erfolgreiche Abnahme Preliminary Acceptance Europe statt. Über den Sommer wurde das Instrument verpackt und verschifft, und im November wurde LINC-NIRVANA erstmals für Vorab-Tests am Teleskop installiert (Abbildung III.3.1).

**Abb. III.3.1:** LINC-NIRVANA (gelb umrandet) auf der hinteren Instrumentenplattform des Large Binocular Telescope in Arizona im November 2015. Aus Sicherheitsgründen waren die empfindlichen optischen Komponenten bei diesem Test noch nicht montiert. Zum Größenvergleich: Die Hauptspiegel des LBT haben jeweils 8,4 Meter Durchmesser.





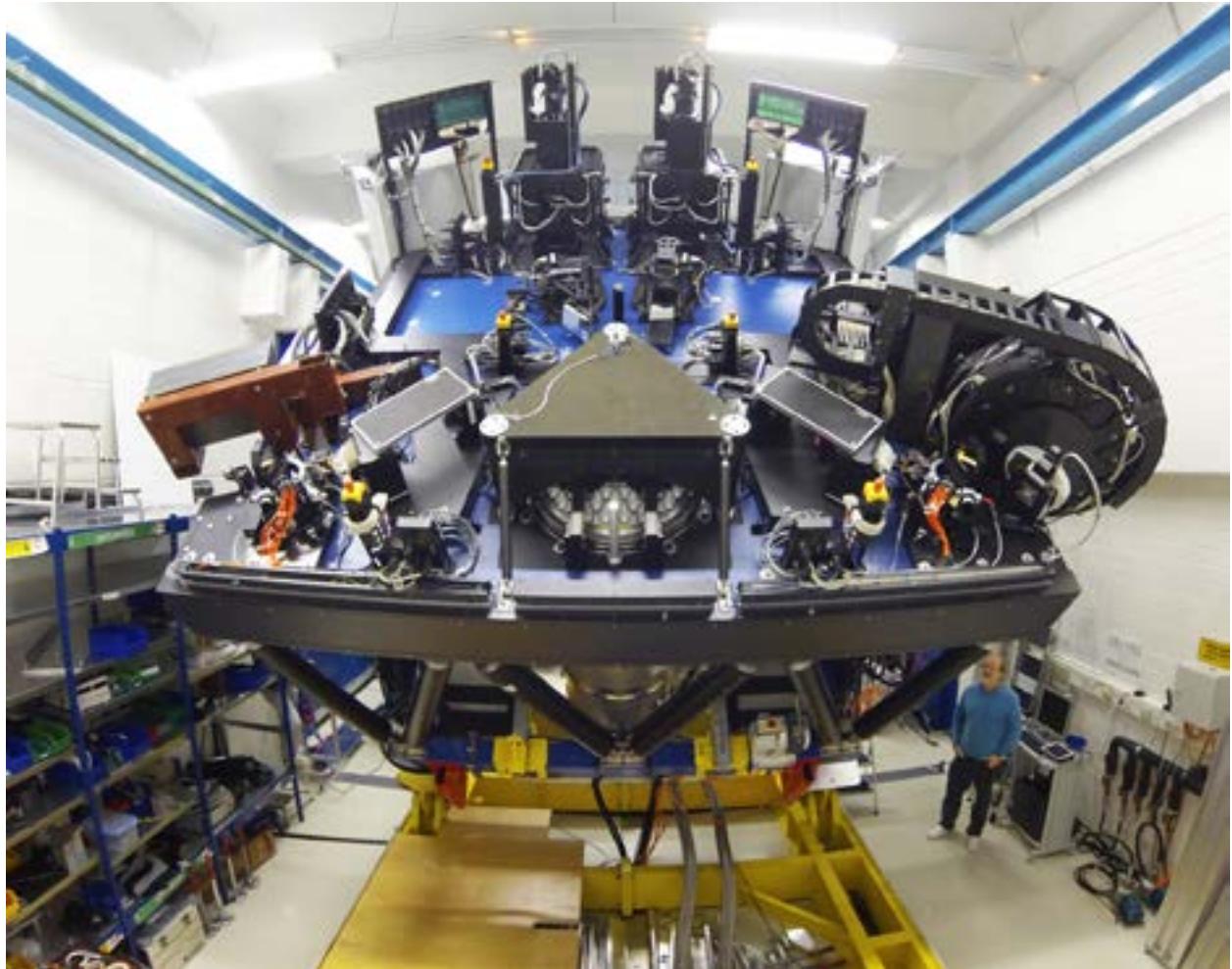
Quelle: T. Herbst / MPIA

### Schärfere Augen für scharfsinnigere Einsichten

LINC-NIRVANA stellt einen wichtigen Fortschritt dar auf dem Weg zu immer detailreichereren Abbildungen des Universums – mit der höchsten räumlichen Auflösung, die unsere Teleskope liefern können. Der begrenzende Faktor für herkömmliche Beobachtungen sind atmosphärische Turbulenzen, denen das Licht himmlischer Objekte beim Durchqueren der Erdatmosphäre ausgesetzt ist. Solche Turbulenzen verringern die Bildqualität eines Teleskops um einen Faktor von zwanzig oder mehr. Ohne Korrekturen für diesen Effekt könnten selbst die größten heutigen Teleskope keine schärferen Bilder liefern als das 20-cm-Teleskop eines Amateurastronomen.

Erst die Entwicklung sogenannter Adaptiver Optik (AO) Ende des 20. Jahrhunderts ermöglichte es den Astronomen, diese Begrenzung zu umgehen. Ein typisches

**Abb. III.3.2:** Links: Das Pathfinder-Experiment hatte bereits im November 2013 den Adaptive-Optik-Regelkreis vor Ort am LBT demonstrieren und testen können. Die Bilder darunter zeigen das erste mit Pathfinder aufgenommene Bild eines Sterns. Unten: Tests der komplett ausgestatteten optischen Bank von LINC-NIRVANA auf dem Kipptisch in der Integrationshalle des MPIA. Rechts unten zum Vergleich ein Mensch.



Quelle: T. Herbst / MPIA

AO-System benutzt Messungen an einem einzigen hellen Stern oder, alternativ, an einem hoch in die Atmosphäre projizierten Laser-Lichtfleck, um Informationen über atmosphärische Verzerrungen zu erlangen. Mithilfe dieser Informationen korrigiert ein flexibler Spiegel in Echtzeit das vom Teleskop aufgefangene Licht. Richtig eingesetzt kann AO beeindruckend scharfe Bilder liefern, deren Detailreichtum einzig und allein durch die Beugung am Teleskop begrenzt ist – eine grundlegende physikalische Grenze, die vom Durchmesser des Teleskops abhängt.

Herkömmliche Adaptive Optik erlaubt diese Art von Korrektur leider nur bei winzigen Himmelsausschnitten. Typische Bildfelder sind dabei unter den besten Umständen nur wenige Bogensekunden groß. Multikonjugierte Adaptive Optik dagegen ermöglicht es mithilfe gleich mehrerer Referenzsterne, das korrigierte Bildfeld beachtlich auszuweiten. Das MCAO-System von LINC-NIRVANA beispielsweise soll ein komplett korrigiertes Bildfeld mit 2 Bogenminuten Durchmesser liefern – mehr als hundert Mal so groß wie bei bisherigen Sys-

temen! Hinzu kommt, dass MCAO-Bilder gleichförmig gute Qualität über die gesamte Fokalebene bieten – ganz im Gegensatz zu AO mit einem einzigen Referenzstern, bei dem sich die Bildqualität mit zunehmendem Abstand des Zielobjekts vom Referenzstern zunehmend verschlechtert.

Diese Fortschritte ermöglichen eine Reihe spannender wissenschaftlicher Projekte, die ohne MCAO nicht möglich wären. Entsprechend hat das LN-Team ein vielfältiges Programm für die ersten wissenschaftlichen Beobachtungen mit dem Instrument entwickelt. Eines der Projekte wird die hohe Bildqualität bei großem Bildfeld nutzen, um in Kugelsternhaufen nach mittelschweren Schwarzen Löchern zu suchen. Ein anderes Projekt wird mit nie dagewesener Genauigkeit eine stellare Volkszählung in nahegelegenen, massereichen Sternentstehungsregionen durchführen. Solche Beobachtungen sollten zeigen, ob Sternentstehung (und, letztlich, auch Planetenentstehung) überall in unserer Heimatgalaxie in der gleichen Weise stattfindet.

**Abb. III.3.3:** Die optische Bank von LINC-NIRVANA beginnt ihre Reise zum LBT. Oben links: Verladen der maßgeschneiderten Transportkiste auf einen besonderen Tieflader, mit dessen Hilfe die Kisten sicher unter den zu passierenden Brücken hindurchkommen. Oben rechts: Nächtliche Reise vom Königstuhl zum Neckar. Unten links: Verladen der optischen Bank auf das Binnenschiff. Unten rechts: Die Venture mit ihrer einzigen großen Ladung passiert auf dem Weg zur Nordsee die Altstadt von Heidelberg.



### Letzte Tests im Labor

LINC-NIRVANA ist ein großes und komplexes Instrument aus mehreren Untersystemen mit hunderten von optischen Komponenten und acht hochwertigen Detektoren (sechs für sichtbares Licht, zwei im Infraroten), ver-



Quelle: D. Anders, T. Bertram, T. Herbst / MPIA





Quelle: MPIA

**Abb. III.3.4:** Ankunft von LINC-NIRVANA am LBT. Links: Für die 42 Kilometer lange Reise vom Basecamp bis zum Berggipfel benötigten die Lastwagen nur einen einzigen Tag. Rechts: Transportkiste und vier der neun Container in der unteren Halle des LBT-Teleskopgebäudes. Aus Platzgründen verblieben die anderen fünf Container zunächst im Basecamp.

bunden mit fast 1000 einzelnen elektrischen Kabeln. Diese Hardware zu einem funktionierenden Gesamtsystem zusammenzusetzen war eine beträchtliche Herausforderung, die das LN-Team in hierarchischer Weise angegangen ist: indem die individuellen Komponenten und Subsysteme vor dem Einbau ins Instrument zunächst einzeln im Labor überprüft wurden.

Letzter Schritt dieses hierarchischen Prozesses waren Tests des Gesamtsystems, die Anfang 2015 in der Integrationshalle des MPIA stattfanden. Dazu gehörte insbesondere der Funktionstest für den zweiten der zwei Adaptiven-Optik-Regelkreise von LN mithilfe von künstlich unter Laborbedingungen erzeugter Turbulenzen. (Der erste Regelkreis war bereits 2013 im Rahmen des Pathfinder-Experiments am Teleskop selbst bei wirklichen Beobachtungen getestet worden).

Eine besondere Herausforderung bei einem Instrument dieser Art im Vergleich zu einem stationären optischen Aufbau im Labor ist der Umstand, dass das Instrument direkt am Teleskop installiert wird – und deswegen auch mehr oder weniger gekippt wird, wenn das Teleskop Himmelsobjekte anpeilt. Die gesamte Optik und Optomechanik muss daher sowohl in horizontaler Ausrichtung als auch in einem um fast 90 Grad gekippten Zustand einwandfrei funktionieren. Dazu wurden die unterschiedlichen Orientierungen mithilfe einer Kippbühne simuliert, auf der LINC-NIRVANA in der MPIA-Integrationshalle installiert war. Bei entsprechenden Kipptests konnte das LN-Team nachweisen, dass ihr Instrument in jeglicher Orientierung zuverlässig und genau funktioniert (Abbildung III.3.2 rechts). Nach Ende der letzten Tests wurde das Instrument dann im Mai 2015 im Rahmen der Preliminary Acceptance Europe abgenommen und war damit zur Auslieferung nach Arizona bereit.

### Die Reise nach Arizona

Der Transport eines derart großen, empfindlichen Instruments zu einem Observatorium auf einem abgelegenen Berggipfel bringt Herausforderungen ganz eigener Art mit sich. Alleine das Auseinanderbauen des Instruments und die sachgerechte Verpackung der Einzelteile kostete das Team ganze zwei Monate. Für eine Reihe von Tests und Operationen – insbesondere für den Einbau der Hauptstruktur von LN in ein geeignetes Tragegerüst – waren die MPIA-Hallen nicht groß genug, und es musste ein fahrbarer Kran auf dem MPIA-Parkplatz zum Einsatz kommen.

Am Ende standen neun gut gefüllte Standard-Container sowie eine maßgeschneiderte große Kiste für die optische Bank zur Verschiffung bereit, mit einem Gesamtgewicht von mehr als 35 Tonnen. Die Container reisten per LKW nach Bremerhaven, um von dort aus mit einem herkömmlichen Containerschiff in See zu stechen. Die optische Bank erforderte aufwändige Maßnahmen: Nachdem sie – wiederum mithilfe eines fahrbaren Krans – in ihrer Transportkiste verstaut worden war, trat sie mitten in der Nacht als Sondertransport mit Polizeieskorte die Reise zu einem nahegelegenen Binnenhafen an, wo bereits das unter holländischer Flagge fahrende Binnenschiff Venture seine für diese Fahrt einzige Fracht erwartete (Abbildung III.3.3).

Einige Tage später kam auch die optische Bank in Bremerhaven an und wurde dort auf ein Auto-Transportschiff verladen, das sich durch den Panamakanal nach Port Huaneme in Kalifornien aufmachte. Anschließend brachten mehrere große Lastwagen sowohl die Container als auch die optische Bank zum Basecamp des Mount Graham-Observatoriums, wo die Observatoriumsmitarbeiter die Verantwortung für den letzten Teil des Weges zum LBT übernahmen. Nach mehr als einem Jahr Planung und Vorbereitung – und rund acht Wochen eigentlicher Transportzeit – waren im November 2015 alle Teile von LINC-NIRVANA sicher auf dem Gipfel des Mount Graham angekommen (Abbildung III.4).

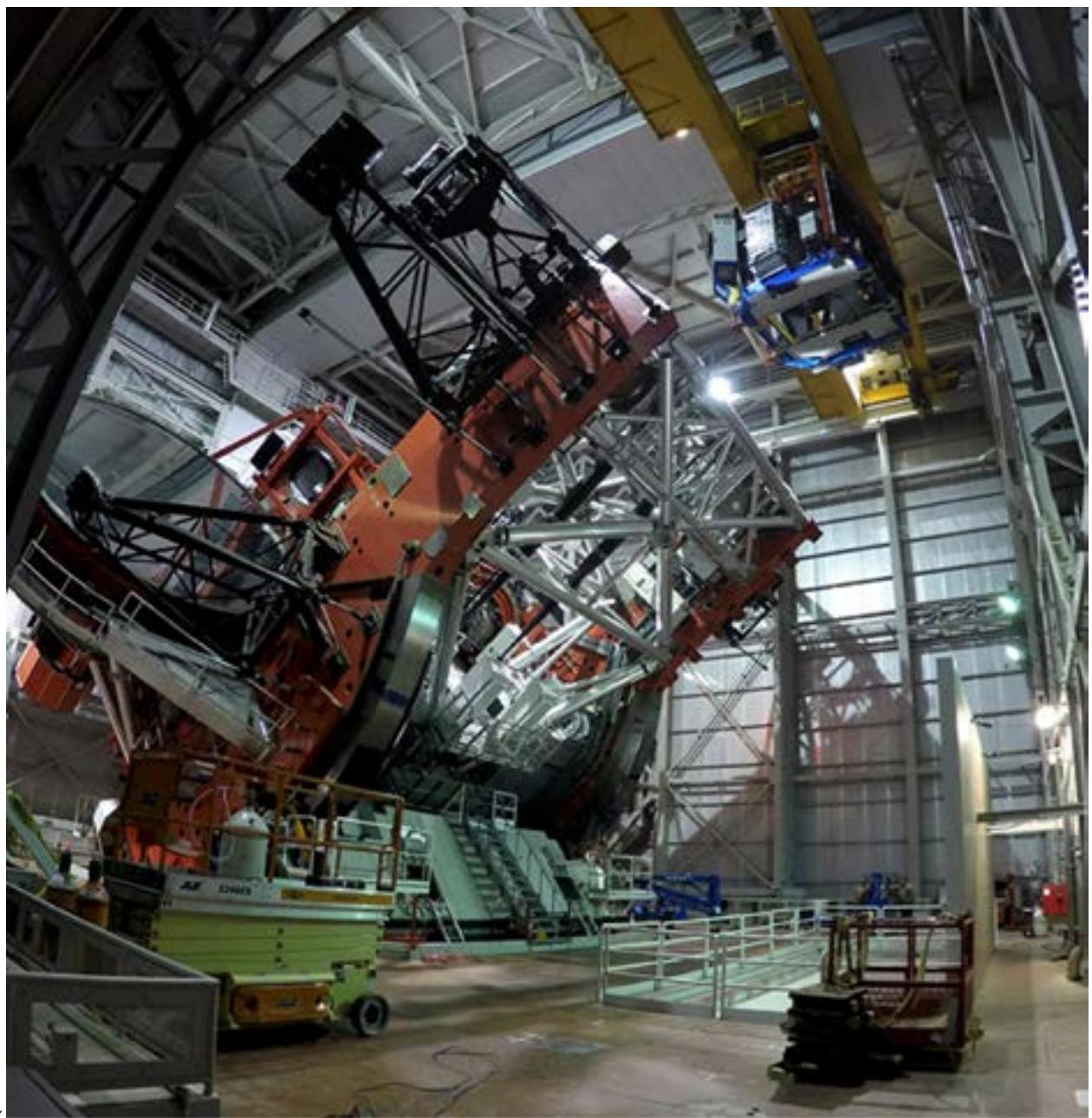
### Montage und Tests am Teleskop

Mitglieder des LN-Teams waren bei Ankunft des Transports direkt vor Ort, um die Ladung zu inspizieren und den langen Prozess des Zusammenbaus des Instruments sowie der damit zusammenhängenden Test zu beginnen. (Die Größe von LINC-NIRVANA machte einen Transport auf dem Seeweg unvermeidbar, und dies wiederum erzwang die Demontage der empfindlichen optischen Komponenten für den Transport).

**Abb. III.3.5:** LINC-NIRVANA (oben rechts) hängt nach seiner engen Passage durch die Bodenluke (unten rechts, mit einem Geländer eingefasst) hoch über dem Teleskop. Das Teleskop muss gekippt werden, um LINC-NIRVANA ohne Kollisionen auf die andere Teleskoseite zu überführen.

Noch im November 2015 wurde ein Testeinbau des Instruments direkt am Teleskop vorgenommen. Selbst ohne die empfindliche Optik wiegen LINC-NIRVANA und sein Transportgerüst zusammen mehr als zehn Tonnen. Der Spielraum zwischen dem Instrument und der Luke im Boden der Beobachtungsplattform, durch die das Instrument zum Teleskop gelangt, beträgt nicht mehr als einen Zentimeter. Durch diese Luke muss das Instrument bugsiert werden, während es am Kran mehr als 25 Meter über dem Boden hängt – das erfordert von den Beteiligten nicht nur starke Arme, sondern ebenso starke Nerven.

Hat es diesen Flaschenhals überwunden, muss LINC-NIRVANA zusammen mit dem LBT einen genau geplanten »Tanz« aufführen, in dessen Verlauf LN gehoben und



wieder abgesenkt wird, während das Teleskop in koordinierter Weise gekippt wird. Nur so lassen sich Kollisionen zwischen dem Instrument und dem Teleskop vermeiden. Diese gesamte Reise dauerte einen Tag, war bis ins Detail vorgeplant und lief gänzlich ohne Probleme ab (Abbildung III.3.5).

Derzeit, im Februar 2016, hat das LN-Team bereits zwei nachfolgende Montageschritte unternommen, um optische Subsysteme auf der optischen Bank zu installieren und zu kalibrieren. Diese Arbeit findet in den vor Ort verfügbaren LBT-Laborhallen statt, um den regulären Beobachtungsbetrieb am Teleskop nicht einzuschränken.

---

### LINC-NIRVANA: Himmelsbeobachtungen und wie es weitergeht

In den kommenden Monaten werden sieben weitere Montage- und Testprozesse ablaufen, bis das Instrument dann gegen Ende des Sommers bereit für die endgültige Installation sein wird. Dann wird das LN-Team die nervenaufreibende Kran-Reise ans Teleskop wiederholen – diesmal mit einem komplett installierten Instrument. Kurz darauf wird das Instrument seine ersten Testaufnahmen liefern (*first light*), gefolgt von einer Kommissionierungsphase und ersten wissenschaftlichen

Beobachtungen. Und während noch die beträchtlichen Anstrengungen laufen, um LINC-NIRVANA für seine ersten Beobachtungen einzurichten, machen sich das LN-Team – und die weitere Gemeinschaft der LBT-Nutzer – bereits Gedanken darüber, wie man die Leistungen des Instruments noch weiter verbessern kann.

Das LINC-NIRVANA-Projekt weist außerdem eine Dekade oder mehr in die Zukunft, in die Ära der Großteleskope der nächsten Generation, der Extremely Large Telescopes (ELTs). Während die Wissenschaftsgeschichte nahelegt, dass die heutigen Großteleskope einschließlich des LBT auch nach dem Generationswechsel wichtige Beiträge zur Erweiterung unseres wissenschaftlichen Verständnisses liefern dürften, kommt LINC-NIRVANA in dieser Hinsicht eine besondere Rolle zu: Alle aktuell geplanten Großteleskope der nächsten Generation nutzen, wenn auch in unterschiedlichem Umfang, Multikonjugierte Adaptive Optik. Doch bis es soweit ist, wird es weltweit nur zwei MCAO-Systeme geben, anhand derer sich entsprechende Erfahrungen gewinnen lassen, und nur eines davon wird für MPIA-Astronomen (allgemeiner für deutsche bzw. europäische Astronomen) direkt zugänglich sein: LINC-NIRVANA.

*Tom Herbst  
für das LINC-NIRVANA Team*

### III.4 Instrumentierung am MPIA

## Übersicht aktueller Projekte

Astronomische Instrumente sind oft spezialisiert und für bestimmte Einsatzbereiche besonders geeignet. Diese Übersicht zeigt die aktuellen **Instrumentierungsprojekte des Instituts**. Fast alle davon sind astronomi-

sche Kameras oder aber Spektrografen, welche das Licht in seine Teifarben zerlegen. Die einzige Ausnahme ist ARGOS, der Kameras/Spektrografen unterstützt, indem er künstliche Lasersterne an den Himmel projiziert.



### LUCI 1 + 2

**LBT NIR spectroscopic Utility with Camera and Integral-Field Unit**

Teleskop	Large Binocular Telescope, Mt. Graham, Arizona
Wellenlängen	Nahinfrarot, 0,85 – 2,5 µm
Beobachtungsziele	Galaxienhaufen und Sternhaufen
Auflösung	30 – 90 mas (wellenlängenabhängig mit AO)
Besonderheiten	kann gleichzeitig mehrere Objekte beobachten
Beiträge MPIA	Elektronik, Software, Detektoren, Kryo, Integration
Status	Aufrüstung vollständig, Tests 2016 abgeschlossen



### ARGOS

**Advanced Rayleigh guided Ground layer adaptive Optics System**

Teleskop	Large Binocular Telescope, Mt. Graham, Arizona
Wellenlängen	-
Beobachtungsziele	-
Auflösung	-
Besonderheiten	Erzeugt mit Lasern einen künstlichen Stern für das AO-System
Beiträge MPIA	Tests, Steuerungssoftware, Kalibration
Status	Inbetriebnahme eine Seite 2015, zweite Seite 2016



### LINC-NIRVANA

**LBT INterferometric Camera – Near-InfraRed Visual Adaptive interferometer for Astronomy**

Teleskop	Large Binocular Telescope, Mt. Graham, Arizona
Wellenlängen	Nahinfrarotlicht, 1,1 – 2,4 µm
Beobachtungsziele	Sternhaufen, Schwarze Löcher, protoplanetare Scheiben
Auflösung	30–90 mas (wellenlängenabhängig); Interferometrie: 10–30 mas
Besonderheiten	Adaptive Optik für ein besonders großes Blickfeld
Beiträge MPIA	PI-Institut, Projektleitung, Optik, Elektronik, Software
Status	Auslieferung Herbst 2015, Installation abgeschlossen 2016



## SPHERE

**Spectroscopic and Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch**

Teleskop	Very Large Telescope, Paranal, Chile
Wellenlängen	Nahinfrarot, 0,5 – 2,32 µm je nach Einsatzmodus
Beobachtungsziele	Bilder von Exoplaneten und ihren Entstehungsgebieten
Auflösung	14 – 58 mas je nach Wellenlänge und Einsatzmodus
Besonderheiten	Koronograph (Stern ausblenden), eXtreme Adaptive Optik
Beiträge MPIA	Co-PI-Institut, Software für Datenreduktion
Status	Regelbetrieb seit 2015



## MATISSE

**Multi AperTure mid-Infrared SpectroScopic Experiment**

Teleskop	Very Large Telescope, Paranal, Chile
Wellenlängen	Mittlerer Infrarotbereich (3 – 25 µm = L-, M-, N-Bänder)
Beobachtungsziele	Aktive Galaxien, protoplanetare Scheiben, heiße/ältere Sterne
Auflösung	3 – 26 mas je nach Wellenlänge und beteiligten Teleskopen
Besonderheiten	Bildrekonstruktion aus interferometrischen Daten
Beiträge MPIA	Integration Kryostat mit Optik/Detektoren, Elektronik, Tests
Status	Beginn Aufbau am VLT Mai 2017



## GRAVITY

Teleskop	Very Large Telescope, Paranal, Chile
Wellenlängen	Nahinfrarot, 2,2 µm
Beobachtungsziele	Schwarzes Loch Milchstraße, Planeten, Braune Zwerge, Disks/Jets
Auflösung	4 mas bei der Erstellung von Bildern
Besonderheiten	Hochpräzise Astrometrie bis hinunter zu 10 mas
Beiträge MPIA	vier Wellenfrontsensoren (Adaptive-Optik-Systeme)
Status	Vier AO-Einheiten derzeit am MPIA im Bau

Jede Kamera und jeder Spektrograf arbeitet in einem charakteristischen **Wellenlängenbereich** des elektromagnetischen Spektrums. Für die MPIA-Forscher ist dabei zum einen das sichtbare Licht besonders interessant, das wir mit eigenen Augen wahrnehmen können, zum anderen das Infrarotlicht: Im Nahinfraroten (direkt hinter der Grenze des sichtbaren Bereichs) kann man durch kosmische Staubwolken einfach hindurchsehen; im mittleren Infrarotbereich senden z.B. protoplanetare Scheiben Licht aus und im Ferninfraroten sieht man die kühlssten oder aber entferntesten Objekte unseres Universums.

Astronomische Objekte sind extrem weit entfernt. Umso wichtiger ist das **Auflösungsvermögen**, also die Fähigkeit, winzige Details unterscheiden zu können. Es wird als Winkel angegeben – eine Kamera mit Auflösung 0,1 Bogensekunden kann Objekte, die 0,1 Bogensekunden am Himmel voneinander entfernt sind, gerade noch getrennt abbilden. Eine Bogensekunde ist dabei das 1/3600te eines Winkelgrads. Eine Millibogensekunde (abgekürzt mas) ist eine tausendstel Bogensekunde.



## 4MOST

4-metre Multi-Object Spectroscopic Telescope

Teleskop	VISTA-Teleskop, Paranal, Chile
Wellenlängen	420 – 900 nm
Beobachtungsziele	Milchstraße und Galaxien, kosmische Strukturen
Auflösung	Spektrale Auflösung 5000 – 20000 (keine Bilder)
Besonderheiten	2400 Fasern auf einem Bildfeld von 4 Quadratgrad
Beiträge MPIA	Kontrollelektronik
Status	Vorläufige Designphase



## PANIC

PAnoramic Near-infrared Camera

Teleskop	2,2-Meter-Teleskop, Calar Alto
Wellenlängen	Nahinfrarot, 0,9 – 2,15 μm
Beobachtungsziele	GRBs, Abstände, Sternentstehung, Braune Zwerge, Kartierung
Auflösung	Begrenzt durch das lokale Seeing (Atmosphäreneigenschaften)
Besonderheiten	Großes Blickfeld von der Größe des Vollmonds
Beiträge MPIA	PI-Institut, Kryomechanik, Detektoren, optische Komponenten
Status	Regelbetrieb seit April 2015



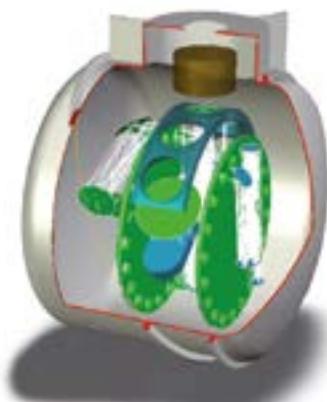
## CARMENES

Calar Alto High-Resolution Search for M Dwarfs with Exoearths with Near-infrared and Optical Échelle Spectrographs

Teleskop	3,5-Meter-Teleskop, Calar Alto
Wellenlängen	Nahinfrarot und sichtbares Licht, 0,5 – 1,7 μm
Beobachtungsziele	Planeten (auch erdähnliche) um 300 M-Zwergsterne
Auflösung	Spektrales Auflösungsvermögen von 82 000 (keine Bilder)
Besonderheiten	Zwei präzise Spektrografen zur Radialgeschwindigkeitsmessung
Beiträge MPIA	NIR-Detektor, Kryostat, Elektronik, Software, Integrationshalle
Status	Inbetriebnahme komplett, erste Durchmusterung ab 1/2016

Jedes Instrument hat **Besonderheiten** in punkto Fähigkeiten oder Eigenschaften. Das kann ein besonders großes Bildfeld sein, dass es ermöglicht, ausgedehnte Objekte auf ein und derselben Aufnahme zu erfassen, oder adaptive Optik, um die Störeinflüsse der Atmosphäre auszugleichen. Oder aber besondere Abbildungsarten (Polarimetrie), oder die Möglichkeit, Teile des Bildes auszublenden (Koronografie). Oder aber Interferometrie, also das Zusammenschalten mehrerer Teleskope, die so dieselbe Detailschärfe erreichen wie ein deutlich größeres Einzelteleskop.

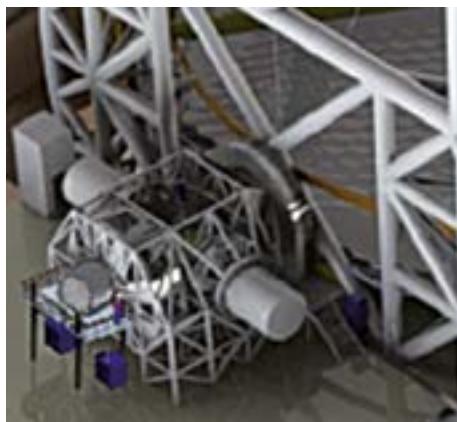
Instrumente werden so geplant, dass sie für bestimmte **Beobachtungsziele** besonders geeignet sind. Für die MPIA-Forscher sind dies Beobachtungen im Rahmen unserer Forschungsbereiche Planeten- und Sternentstehung, Galaxien und Kosmologie. Typische Ziele sind daher Sternentstehungsregionen, die hinter Staubwolken verborgen sind und daher nur im Infraroten beobachtet werden, oder auch fernste Galaxien, deren Licht durch die kosmische Expansion ebenfalls ins Infrarote verschoben worden ist.



## MICADO

Multi-AO Imaging Camera for Deep Observations

Teleskop	European Extremely Large Telescope
Wellenlängen	Nahinfrarot, 1,1 – 2,5 µm
Beobachtungsziele	Sternbewegungen in Galaxien, Zwerggalaxien, erste Supernovae
Auflösung	6 – 13 Millibogensekunden je nach Wellenlänge
Besonderheiten	Hohe Empfindlichkeit, präzise Astrometrie
Beiträge MPIA	Kaltes Filterrad, Kalibration für die Astrometrie
Status	Beginn technische und Optimierungsstudien 9/2015



## METIS

Mid-infrared E-ELT Imager and Spectrograph

Teleskop	European Extremely Large Telescope
Wellenlängen	Mittleres Infrarot (3 – 19 µm = L/M-, N- und Q-Band)
Beobachtungsziele	Scheiben, Exoplaneten, Schwarze Löcher, Galaxien bei hohem z
Auflösung	16 – 74 mas je nach Wellenlänge
Besonderheiten	Koronografie und Polarimetrie möglich
Beiträge MPIA	Imager und Beiträge zur Adaptiven Optik
Status	Begin vorläufige Designphase 10/2015



## EUCLID

Teleskop	Euclid bezeichnet das Weltraumteleskop als Ganzes
Wellenlängen	Sichtbares Licht 0,5 – 0,9 µm, Infrarotlicht 0,965 – 2,0 µm
Beobachtungsziele	kosmische Struktur, Beschleunigung der Expansion
Auflösung	86 – 344 Millibogensekunden je nach Wellenlänge
Besonderheiten	Galaxienmorphologie, photometrische IR-Rotverschiebung
Beiträge MPIA	Teile der IR-Kalibrationseinheit, organisatorische Unterstützung
Status	Vorläufiges Design abgeschlossen 2015

Für jedes Instrument geben wir seinen **aktuellen Status** an. Die Entwicklung und Konstruktion astronomischer Instrumente durchläuft verschiedene Phasen, angefangen von intensiver Planung und etwaiigen vorbereitenden Technologietests. Gegen Ende der Konstruktionsphase findet je nach Komplexität des Instruments noch eine Integration statt, bei der verschiedene Komponenten, nicht selten von unterschied-

lichen Instituten beigetragen, zusammengefügt werden. Anschließend folgt das Kommissionieren, also die Installation am Teleskop selbst, mit dem Meilenstein des »ersten Lichts« (first light) bei Aufnehmen der ersten Bilder und Spektren. Nach wissenschaftlichen Testbeobachtungen kann das Instrument dann in den regulären Beobachtungsbetrieb übergehen.

### III.5 Highlight

## Technische Abteilungen

Beobachtende Astronomie stellt Anforderungen an Teleskope und Instrumente, die sich regelmäßig an der Grenze des technisch Machbaren bewegen. Die an Teleskopen eingesetzten Messinstrumente sind daher fast immer Neuentwicklungen mit enger Beteiligung der Forscher selbst. Entwicklung und Bau solcher Messinstrumente – von hochempfindlichen CCD-Kameras und Helligkeitsmessern bis hin zu Spektrografen – zählen seit jeher zum Tätigkeitsfeld der Wissenschaftler, Ingenieure, Techniker und Elektroniker am Max-Planck-Institut für Astronomie. Die Technischen Bereiche des MPIA umfassen die Konstruktionsabteilung, Feinwerktechnik, Elektronik-, Software- und Instrumentierungsabteilung. Mit ihren leistungsfähigen Werkstätten und Entwicklungsbüros ermöglichen uns diese Abteilungen die Entwicklung und den Bau modernster astronomischer Beobachtungsinstrumente. Sie kommen am Calar-Alto-Observatorium, den Großteleskopen der Europäischen Südsternwarte (ESO), am Large

Binocular Telescope (LBT) und auf Weltraum-Observatorien der Europäischen Weltraum Agentur (ESA) zum Einsatz.

### Bauliche Erweiterung der feinmechanischen Werkstatt

In der feinmechanischen Werkstatt werden vielfältige Präzisionskomponenten für die astronomische Forschung entwickelt und hergestellt, welche im Handel nicht zu erwerben sind. Die Werkstatt befindet sich in einer anhaltenden Modernisierungsphase, die sie für die Aufgaben der zukünftigen Generation von astronomischen Instrumentierungsprojekten ausrüstet, insbesondere für die Projekte für das E-ELT.

**Abb. III.5.1:** Architektenkizze für die Erweiterung der feinmechanischen Werkstatt.





Quelle: M. Possel / MPIA

**Abb. III.5.2:** Die neue CNC-Maschine ist vorläufig in einer der Montagehallen des MPIA aufgestellt und wird später in den Anbau verbracht.

Zunächst konnte im Vorjahr eine Reihe der bis zu 40 Jahre alten Werkstattmaschinen durch leistungsfähigere, moderne Maschinen ersetzt werden. Die neuen Maschinen werden zum einen den gestiegenen wissenschaftlichen Anforderungen gerecht, zum anderen höheren Sicherheitsstandards. Mit dem Anstieg der Größe astronomischer Teleskope wachsen auch die Dimensionen der eingesetzten Instrumente, so dass es nötig wird, immer größere Werkstücke in der Werkstatt zu bearbeiten. Aufgrund dessen wächst letztlich auch die Größe der benötigten Maschinen.

Zur Zeit sind neben mehreren konventionellen Maschinen fünf CNC-Maschinen im Einsatz (CNC = computerized numerical control), also rechnergesteuerte Maschinen. Die neuen Maschinen sind nicht nur von größerer Bauart, sondern sie benötigen laut Aufstellplan zudem einen höheren Sicherheitsabstand zur nächsten Maschine.

Im Zuge einer ebenfalls schon im Vorjahr begonnenen Renovierung und Modernisierung der Werkstatt wurde im Spätherbst eine bauliche Erweiterung begonnen, die der Werkstatt eine größere Stellfläche für ihre Maschinen bieten wird. Über ein neues, großes Rolltor wird das Ein- und Ausbringen großer Gerätschaften möglich werden. Diese bauliche Erweiterung soll im Sommer 2016 abgeschlossen sein.



## IV. Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit



#### IV.1 Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit

## Universitäre Lehre und Doktorandenförderung

Das MPIA nimmt seine Verantwortung, den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern, auf mehreren Ebenen sehr ernst. Unser Engagement beginnt bereits im Grundstudium: Sowohl die Direktoren als auch die Forschungsgruppenleiter sind an der Universität Heidelberg in der Lehre aktiv. In diesem Jahr zählten dazu sowohl die Vorlesungen über Galaxienentstehung (A. Macciò) oder Statistik und Datenanalyse (C. Bailer-Jones) wie auch Übungsgruppen für die Vorlesungen in Experimentalphysik sowie zahlreiche Tutorien, Seminare und Fortgeschrittenenvorlesungen im Bereich der Astronomie.

Bachelor- und Masterstudenten der Universität Heidelberg und anderer Universitäten können am MPIA ihre Abschlussarbeiten anfertigen. Zusätzlich gibt es für Studenten die Möglichkeit, im Rahmen des MPIA-Sommerpraktikums (Koordination: B. Goldmann) Erfahrungen mit eigener Forschung zu sammeln.

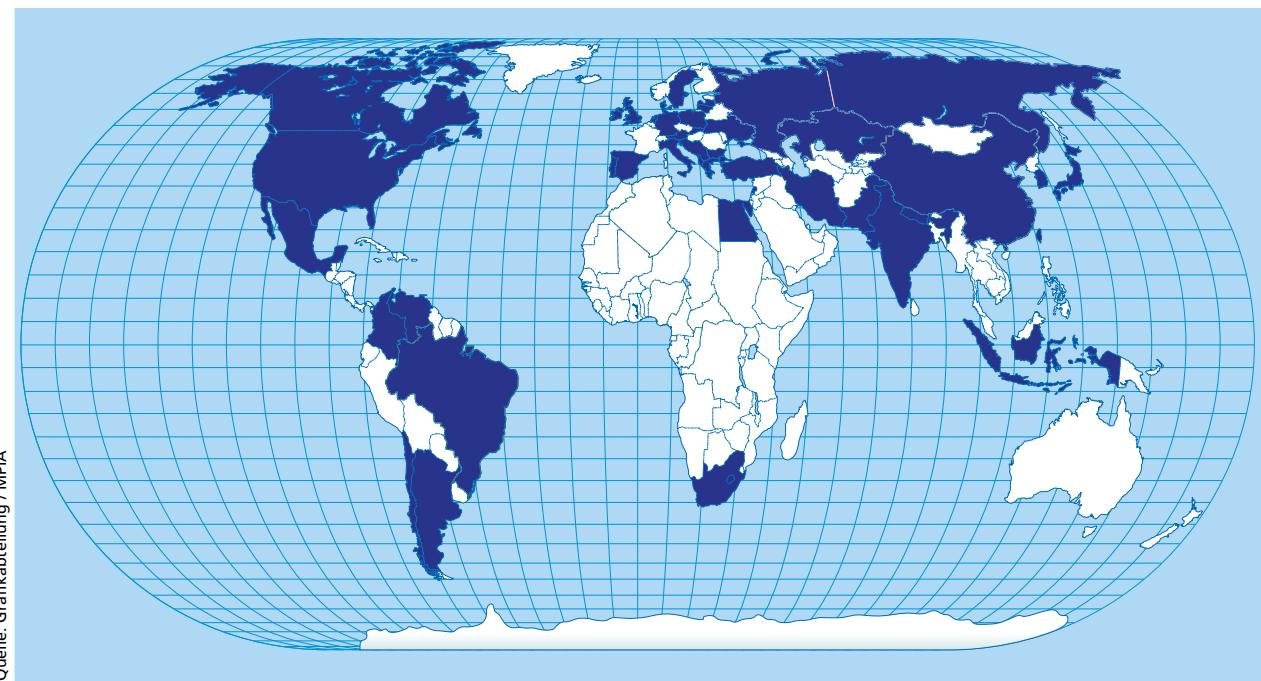
Ein Schwerpunkt unserer Nachwuchsförderung liegt bei der Doktorandenausbildung. Ganz allgemein sind die International Max Planck Research Schools (IMPRS) seit langen Jahren fester Bestandteil der Doktorandenförderung in der Max-Planck-Gesellschaft. MPIA beteiligt sich an der 2004 gegründeten International Max Planck Research School for Astronomy & Physics at the University of Heidelberg (IMPRS-HD), der in diesem

Jahr rund 90 Doktoranden angehören. Koordinator der IMPRS ist Christian Fendt vom MPIA.

Im September 2015 konnte die IMPRS-HD ihr zehnjähriges Jubiläum feiern: Im Jahre 2005 hatte sie die ersten Studenten aufgenommen. Insgesamt haben der IMPRS-HD bis heute 285 Doktoranden angehört, und in jedem Jahr kommen im Durchschnitt 25 neue Teilnehmer dazu. Rund 150 der Studenten haben das Programm abgeschlossen und fertig promoviert.

Mitte Juni wurde die IMPRS-HD evaluiert. Solche Evaluationen finden alle sechs Jahre statt und werden von einer externen Gutachtergruppe durchgeführt; am Ergebnis entscheidet sich, ob die IMPRS fortgesetzt wird oder nicht. Zur Evaluation gehörte eine Präsentation des Programms der IMPRS durch ihre Sprecher Hans-Walter Rix (für die teilnehmenden Max-Planck-Institute) und Stefan Wagner (für die teilnehmenden Universitätsinstitute) sowie durch den koordinierenden Wissenschaftler der IMPRS, Christian Fendt. Die IMPRS-Studenten konnten in einer gemeinsamen Postersitzung ihre Ergebnisse präsentieren und wurden von den Gutachtern in lebhafte Diskussionen verwickelt.

**Abb. IV.1.1:** Herkunftsländer der (jetzigen und ehemaligen) IMPRS-HD-Studenten.



Am Nachmittag ging es mit geschlossenen Sitzungen weiter, in denen die Gutachtergruppe getrennt Studierende und Betreuer befragte. Der Bericht der Gutachter über die IMPRS-HD fiel äußerst positiv aus. Besonders hervorgehoben wurden die gute internationale Sichtbarkeit der IMPRS, der wissenschaftliche Rang der teilnehmenden Institutionen sowie die starke Identifikation der IMPRS-Studenten mit ihrer Schule. Infolge der positiven Bewertung wurde die IMPRS-HD für weitere sechs Jahre verlängert: von 2017 bis 2022.

Die IMPRS-HD ist international ausgerichtet: Unter den 193 Studierenden, die sich 2015 auf 20 freie IMPRS-Plätze beworben haben, waren nur 18 aus Deutschland, hingegen 58 aus anderen europäischen Ländern, 24 aus Nord- und Südamerika, 68 aus Asien und Australien, 20 aus dem Nahen Osten und 5 aus Afrika. Am Ende nahm die IMPRS 36 neue Mitglieder auf – ein Rekord; dass diese Zahl so hoch ausfiel, ist insbesondere der erfolgreichen Zusammenarbeit mit dem Sonderforschungsbereich 881 »Das Milchstraßen-System« zu verdanken.

Eine Weltkarte mit den Herkunftsländern aller 250 aktuellen und früheren IMPRS-HD-Studenten seit Gründung der Doktorandenschule im Jahre 2004 zeigt Abbildung IV.1.1.

Das IMPRS-Programm bietet nicht nur einen zentralen Bewerbungs- und Zulassungsbetrieb, in dem Kandidaten mit für sie geeigneten Betreuern zusammengebracht werden, sondern auch regelmäßige Treffen des persönlichen Betreuerteams jedes IMPRS-Studenten, in denen Fortgang und Richtung der Arbeit diskutiert werden. Zum Programm gehören auch Pflicht-Lehrveranstaltungen, die sicherstellen sollen, dass IMPRS-Doktoranden bei ihrem Abschluss umfangreiche vertiefte Kenntnisse in Astronomie besitzen.



Quelle: C. Fendt / MPA

**Abb. IV.1.3:** Rechnen von Übungsaufgaben bei der IMPRS-Sommerschule 2015.

Die IMPRS-Fellows treffen sich bei wöchentlichen Seminaren, um ihre Arbeit und ihre Ideen zu diskutieren. Noch deutlich intensiverer Austausch ist beim jährlichen Retreat möglich. Gesellige Veranstaltungen runden das Programm ab.

Ein weiteres Angebot der IMPRS-HD ist die jährliche Internationale Sommerschule. Im Jahre 2015 trug sie den Titel »Dynamics of the Interstellar Medium and Star Formation«. Die wissenschaftliche Leitung hatten Ralf Klessen und Simon Glover (ITA); zu den Vortragenden gehörten Mordecai-Mark Mac Low (American Museum of Natural History), Peter Schilke (Universität zu Köln), Alexander Tielens (Universität Leiden) und Stefanie Walch (Universität zu Köln). Die Sommerschule verzeichnete 80 internationale Teilnehmer, einschließlich 20 lokaler IMPRS-Studenten.

**Abb. IV.1.2:** Gruppenbild der IMPRS-Sommerschule 2015, »Dynamics of the Interstellar Medium and Star Formation«.

*Christian Fendt*



Quelle: C. Fendt / MPA

## IV.2 Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit

### Wissenschaftliche Öffentlichkeitsarbeit

Astronomie besitzt eine beachtliche Faszinationswirkung, und die wissenschaftlichen und technischen Mitarbeiter des Max-Planck-Instituts für Astronomie sehen es als ihre Verantwortung an, ihre Forschung auch in die Öffentlichkeit, in die Schulen und in die Medien zu tragen.

#### Tag der Offenen Tür

Nirgends wurde das öffentliche Interesse an unserer Forschung in diesem Jahr deutlicher als bei unserem Tag der Offenen Tür am 21. Juni, der 3700 interessierte Besucher auf den Königsthül zog. So gut wie alle Institutsmitarbeiter trugen dazu bei, den Besuchern ein reichhaltiges Programm zu bieten: An 44 über das Gelände verteilten Stationen konnten die Besucher z.B. mit Infrarotstrahlung experimentieren, die Weltraummissionen Euclid und Gaia näher kennenlernen, eigene Erfahrung mit Spektroskopie sammeln oder sich über deren astronomische Anwendungen informieren.

MPIA-Hauptgebäude und Haus der Astronomie waren den Besuchern ebenso zugänglich wie die Werkstätten des MPIA, in denen Komponenten für Präzisionsinstrumente für astronomische Observatorien entstehen. Direkt vor Ort in der Montagehalle hatten die Besucher außerdem die einmalige Gelegenheit, das Instrument LINC-NIRVANA zu bestaunen, bevor es in den darauf-

folgenden Tagen für seine Verschiffung ans Large Binocular Telescope bereitgemacht wurde (siehe auch Abschnitt III.3).

In einem abwechslungsreichen Vortragsprogramm informierten MPIA-Wissenschaftler über ihre Forschung und die dahinter stehende Technik. Im Haus der Astronomie wurden ein Planetariumsprogramm sowie Workshops für Kinder angeboten.

Beteiligt waren außer dem MPIA und dem Haus der Astronomie das Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg, das Max-Planck-Institut für Kernphysik, die Forscherstation (Klaus-Tschira-Kompetenzzentrum für frühe naturwissenschaftliche Bildung) und einige weitere Kooperationspartner.

#### Forschung in der Öffentlichkeit

Im Rahmen klassischer PR-Arbeit tragen wir die Forschung des Instituts in die Medien und so in die Öffentlichkeit. Zu jedem der in Kapitel II dieses Jahresberichts abgedruckten wissenschaftlichen Highlights wurde auch eine Pressemitteilung erstellt, die dann zum einen über unseren Journalisten-Verteiler, zum anderen über

**Abb. IV.2.1:** Andrang auf dem MPIA-Campus beim Tag der Offenen Tür am 21. Juni 2015.



Quelle: A. M. Quetz / MPIA



Quelle: M. Pössel / MPIA

den Informationsdienst Wissenschaft (idw) verschickt wurde. Auch darüber hinaus beantworten MPIA-Wissenschaftler Presseanfragen zu aktuellen Themen.

Obschon der Tag der Offenen Tür zweifellos die spektakulärste Möglichkeit für die Öffentlichkeit ist, unser Institut zu besuchen, ist er keineswegs die einzige: In Zusammenarbeit mit dem Haus der Astronomie und der Landessternwarte finden regelmäßig Führungen statt (Organisation auf MPIA-Seite: A. Quetz), die von den MPIA Outreach Fellows durchgeführt werden: Doktorandinnen und Doktoranden, die sich besonders im Bereich Öffentlichkeitsarbeit engagieren und damit gleichzeitig wichtige Erfahrungen für diesen Aspekt ihrer wissenschaftlichen Karriere sammeln.

Aber auch diejenigen, deren Weg nicht auf den Königsthül führt, haben durchaus eine Chance, von unseren Wissenschaftlern etwas über ihre Arbeit zu hören. Das gilt zum einen im Rahmen eines der allgemein verständlichen Vorträge, zu denen MPIA-Forscher an unterschiedliche Orte in Deutschland (und teilweise auch darüber hinaus) reisen. Zum anderen tragen wir unsere Arbeit auch über verschiedene Medien nach außen: über Artikel in Sterne und Weltraum oder anderen einschlägigen Magazinen ebenso wie über YouTube, wo wir auf dem in diesem Jahr neu angelegten Kanal des MPIA kurze Videotrailer zum einen über das MPIA, zum anderen über das Haus der Astronomie einstellten.

### Praktika und Girls' Day

Das MPIA bietet eine Reihe von Angeboten an, die sich direkt an Schülerinnen und Schüler wenden. So nehmen wir regelmäßig am bundesweiten Girls' Day teil: einem Praktikumstag für Schülerinnen zwischen

**Abb. IV.2.2:** Besucher am Tag der Offenen Tür lauschen einer Erklärung zum James Webb-Weltraumteleskop, an dessen Konstruktion das Institut beteiligt ist.

13 und 18 Jahren (Organisation: S. Scheithauer, M. Ebert, M. Pössel, C. Liefke).

Ziel des Girls' Day ist es, Schülerinnen Berufe nahezubringen, in denen Frauen unterrepräsentiert sind. Zum diesjährigen Girls' Day am 23. April konnten 24 Teilnehmerinnen verschiedene Facetten entweder der astronomischen Instrumentierung in den technischen Abteilungen des MPIA oder aber der beobachtenden Astronomie im Haus der Astronomie (in Zusammenarbeit mit dem Las Cumbres Observatory Global Telescope Network [LCOGT]) kennenlernen. Parallel dazu fand am Haus der Astronomie ein Boys' Day statt, bei dem die teilnehmenden Jungen Einblicke erhielten, wie man Kindern im Kindergarten- oder Grundschulalter die Grundlagen der Astronomie nahebringt.

Ganz allgemein ist die Zusammenarbeit des MPIA mit dem Haus der Astronomie (HdA) als Zentrum für astronomische Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit, das sich auf unserem Campus befindet, sehr eng. Das HdA wird von der Max-Planck-Gesellschaft betrieben, welche die Leitung wiederum an das MPIA delegiert hat; der Leiter des Hauses der Astronomie (M. Pössel) ist in Personalunion auch Leiter der Öffentlichkeitsarbeit des MPIA. Nähere Informationen zur Tätigkeit des Hauses der Astronomie finden Sie im nachfolgenden Abschnitt IV.3.

Eine weitere MPIA-Tradition ist das Schülerpraktikum Astronomie (Organisation: K. Meisenheimer) für Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 10 und 11. In Zusammenarbeit mit der Landessternwarte und dem Astronomischen Rechen-Institut (die beide zum Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg ge-

Quelle: M. Pössel / MPIA



**Abb. IV.2.3:** Einfache Demonstrationsexperimente zur Spektroskopie als astronomischem Hauptwerkzeug am Tag der Offenen Tür.

hören) bieten wir dieses Praktikum seit 2002 an. Beim diesjährigen Schülerpraktikum vom 19. bis 23. Oktober konnten sich elf Teilnehmer sowohl Grundkonzepte wie auch praktische Methoden der Astronomie aneig-

**Abb. IV.2.4:** Astronomische Beobachtungen per Internet mithilfe von fernsteuerbaren Teleskopen: Girls' Day am 23. April 2015.

nen. Zum Programm gehören dabei Vorträge zu astronomischen Themen wie Schwarze Löcher oder Teleskope ebenso wie praktische Übungen (beispielsweise: Wie funktioniert eine CCD-Kamera) sowie eine Studienberatung »Wie wird man Astronom?«

*Markus Pössel, Klaus Jäger, Axel M. Quetz,  
Silvia Scheithauer, Monica Ebert  
und Klaus Meisenheimer*

Quelle: M. Pössel / MPIA



## IV.3 Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit

### Haus der Astronomie

**Das Haus der Astronomie (HdA) ist das Zentrum für astronomische Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit auf dem MPIA-Campus. Ziel des Hauses der Astronomie ist es, die Faszination der Astronomie in die breite Öffentlichkeit und in die Schulen zu tragen sowie den Austausch der Astronomen untereinander und mit den Kollegen angrenzender Wissenschaftsbereiche zu fördern.**

Das Haus der Astronomie ist eine ungewöhnliche Institution im Grenzbereich zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit. Sein markantes galaxienförmiges Gebäude berherbergt ein Team von Astronomen und Astronomiedidaktikern, die insbesondere Materialien und Werkzeuge entwickeln, die für die astronomische Öffentlichkeitsarbeit oder in Schulen und Kindergärten eingesetzt werden können. Im Jahre 2015 besuchten 11 000 Menschen das Haus der Astronomie – von Besuchern unserer allgemeinverständlichen Vorträge oder von Führungen bis hin

Abb. IV.3.1: Das Haus der Astronomie im Herbst 2015.

zu Schüler- oder Kindergartengruppen, Studierenden, Lehrer/innen oder Kindergartenleiter/innen, die zu Workshops oder Fortbildungen kamen, sowie Astronom/innen und Ingenieur/innen, die das Haus der Astronomie für Konferenzen oder Besprechungen nutzten.

#### Astronomie für die Öffentlichkeit

Unsere Aktivitäten für die allgemeine Öffentlichkeit umfassen PR, online verfügbare Materialien und die Organisation öffentlicher Veranstaltungen. Als deutscher Knoten des ESO Science Outreach Network (ESON) unterstützen wir außerdem die Europäische Südsternwarte (ESO) bei ihrer deutschsprachigen Öffentlichkeitsarbeit.

An öffentlichen Veranstaltungen im Haus der Astronomie bieten wir eine monatliche Vortragsreihe »Faszination Astronomie«, in deren Rahmen in diesem Jahr 18 Vorträge stattfanden (inklusive Wiederholungen) sowie »Astronomie am Sonntagvormittag« mit vier Vorträgen.



Quelle: M. Pössel / HdA



Abb. IV.3.2: Ankündigungsposter für Vorträge im Haus der Astronomie, erstellt von der MPIA-Graphikabteilung.





Quelle: M. Pössel / HdA

Unsere Sonntagsreihe fand diesmal anlässlich des internationalen Jahrs des Lichts zum Thema »Licht aus dem Kosmos« statt.

Unsere Reihe »HdA-Highlights« bot in diesem Jahr eine Präsentation astronomischer Zeitrafferaufnahmen von Bernd Pröschold, einen Sondervortrag aus Anlass des 25-jährigen Jubiläums des Weltraumteleskops Hubble von Kai Noeske (vor seiner Zeit am MPIA/HdA am Space Telescope Science Institute tätig) sowie einen Vortrag zu Finsternissen und Venustransit des Astrofotografen Stefan Seip.

Ein neues Format probierten wir am 21. Oktober aus: »Zurück in die Zukunft!« hieß die Devise, mit einem wissenschaftlichen Vortrag zum Thema Physik der Zeitreisen, gefolgt von den Filmen der gleichnamigen Trilogie von Robert Zemeckis.

Am 20. März ergab sich die Gelegenheit, tagsüber von Deutschland aus eine partielle Sonnenfinsternis zu beobachten. Zusammen mit 150 interessierten Gästen und mit Hilfe von diversen Kleinteleskopen verfolgten wir das Schauspiel vom HdA-Vorplatz aus.

Für tiefergehend interessierte Menschen, insbesondere Studierende an der Universität Heidelberg, bot Markus Pössel (mit Björn Malte Schäfer) im Wintersemester eine Vorlesung »Vom Schwarzen Loch bis zum Urknall – Einsteins Relativitätstheorie in der Astrophysik für Nicht-Physiker« an, die auch Teil der interdisziplinären Marsilius-Studien an der Universität war.

Wie in den vorangehenden Jahren war die größte externe Veranstaltung, an der wir beteiligt waren, die »Explore Science« vom 8. bis 12. Juli. Mehr als 50 000 Besucher fanden zu diesen naturwissenschaftlichen Erlebnistagen der Klaus Tschira Stiftung ihren Weg in den Luisenpark in Mannheim.

Auch in diesem Jahr hielten HdA-Mitarbeiter mehr als ein Dutzend öffentlicher Vorträge an verschiedenen Orten in Deutschland.

**Abb. IV.3.3:** Kleinteleskope vor dem Haus der Astronomie: Besucher aus Anlass der partiellen Sonnenfinsternis am 20. März 2015.

### Wissenschaftsaustausch

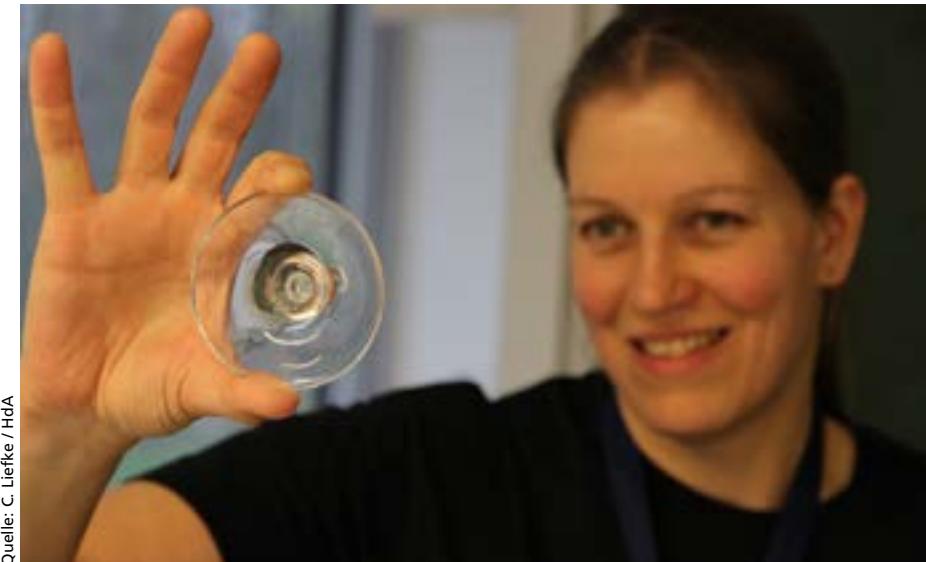
Das Haus der Astronomie wird regelmäßig für wissenschaftliche Konferenzen und Treffen genutzt. Mit dem zentralen Hörsaal und zwei Workshopräumen ist es bestens für wissenschaftliche Veranstaltungen mit bis zu rund 90 Teilnehmern geeignet.

Zur diesjährigen MPIA-Sommerkonferenz 2015 mit dem Titel »A 3D View of Galaxy Evolution: From Statistics to Physics« fanden Anfang Juli rund 80 Wissenschaftler aus aller Welt den Weg ins HdA. Weitere Konferenzen waren die »Frontiers of Spectroscopy in the Local Group and Beyond« im April und der »Far-Infrared Fine Structure Lines Workshop« im Juni. Zusätzlich zu den hier genannten fanden 30 kleinere wissenschaftliche und organisatorische Treffen statt.

Insgesamt diente das Haus der Astronomie in diesem Jahr rund 1160 Wissenschaftlern und Ingenieuren als Ort für Vorträge, Workshops und Diskussionen.

### Astronomie für Schule und Kindergarten

Unser Flaggschiff im Bildungsbereich ist das Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« (WIS) gemeinsam mit der populärwissenschaftlichen Zeitschrift Sterne und Weltraum (Verlagsgruppe Spektrum der Wissenschaft). Die Leitung von WIS-Astronomie hat HdA-Mitarbeiter Olaf Fischer, der mit seinem Team von (überwiegend externen) Autoren in diesem Jahr 15 Beiträge erstellte, mit denen sich neueste astronomische Forschung direkt ins Klassenzimmer bringen lässt. WIS-Astronomie wurde



gefördert von der Reiff-Stiftung zur Förderung der Amateur- und Schulastronomie.

Weitere Materialien für weiterführende Schulen entwickelte Cecilia Scorza im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 881 »Das Milchstraßensystem«, für welchen das HdA der wichtigste Partner bei der Öffentlichkeitsarbeit ist. Übersetzungen dieser Materialien ins Englische und Spanische wurden von unseren Kooperationspartnern in der Andenregion (Venezuela, Kolumbien, Ecuador, Peru, Bolivien und Chile) und in Südafrika genutzt.

Unsere erfolgreichste Entwicklung ist nach wie vor die Grundschulbox Astronomie, im englischen Sprachraum »Universe in a Box« (entwickelt von Cecilia Scorza mit Beiträgen von Natalie Fischer). Mittlerweile ist diese Box, mit deren Hilfe Kindergarten- und Grundschulkinder das Weltall erkunden können, in mehr als 70 Ländern im Einsatz – und in diesem Jahr sogar preisgekrönt: Universe in a Box erhielt den Scientix Resource Award in der Kategorie »Best STEM Teaching Material Addressed to Teachers« der EU-Initiative Scientix. Der Preis wurde im Rahmen eines Netzwerktreffens im Juni in Brüssel übergeben.

Im Rahmen der Scientix-Initiative wird das Handbuch zu Universe in a Box jetzt in alle 24 EU-Sprachen übersetzt. Interessierte Schulen und Kindergärten können die Grundschulbox direkt vom Haus der Astronomie ausleihen.

In der Zwischenzeit hat auch die Entwicklungsarbeit für ein weiteres EU-Projekt im Rahmen des Forschungsprogramms Horizon 2020 begonnen, an dem das HdA als Partner beteiligt ist: Im Rahmen des Projekts EU Space Awareness (EUSPACE-AWE) entwickeln wir Materialien zu den Themen Weltraumforschung, Geschichte der Navigation und Erdbeobachtungen / Klimawandel.

Im Jahre 2015 besuchten 2500 Schul- und Kindergartenkinder das Haus der Astronomie für insgesamt 128 Workshops für verschiedene Altersgruppen. Die Workshops schließen üblicherweise Hands-On-Aktivi-

**Abb. IV.3.4:** Gravitationslinse, simuliert durch den Fuß eines Weinglases: Fortbildung zu 100 Jahren Allgemeiner Relativitätstheorie im Haus der Astronomie im November 2015.

täten ein, nutzen unser digitales Planetarium und dienen uns häufig dazu, neu entwickelte Materialien in der Praxis zu testen. In diesem Jahr haben wir neue Workshopkonzepte in Zusammenarbeit mit der Jungen Uni Heidelberg sowie für die diesjährige Explore Science und den Tag der Offenen Tür entwickelt.

Zu den externen Veranstaltungen für Schüler gehörte dieses Jahr einmal mehr ein Kurs bei der JuniorAkademie Baden-Württemberg in Adelsheim (C. Liefke).

#### Angebote für Multiplikatoren im Bildungsbereich

Lehrer/innen und Erzieher/innen spielen für die wissenschaftliche Öffentlichkeitsarbeit eine Schlüsselrolle. Sie für die Wissenschaft zu begeistern und sie dabei zu unterstützen, diese Begeisterung an die von ihnen betreuten Kinder und Jugendlichen weiterzugeben, dürfte eine der effektivsten Strategien für die Öffentlichkeitsarbeit darstellen.

Im Bereich Studium fanden in diesem Jahr für Lehramtsstudenten Physik an der Universität Heidelberg zwei Seminare (C. Liefke) sowie unser jährlicher Blockkurs »Astronomie für Lehramtsstudierende« (O. Fischer, C. Liefke, M. Pössel, C. Scorza) statt, außerdem ein Workshop zur praktischen Astronomie im Rahmen der Studierendentage (C. Liefke). Natalie Fischer hielt die Vorlesung »Grundlagen der Astronomie für die Schule« an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg.

An Lehrerfortbildungen fand im Haus der Astronomie auch in diesem Jahr unsere bundesweite Fortbildung »Per Anhalter durch die Galaxis« (Organisation: O. Fischer) im November statt, die von der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung finanziert wurde. Ebenfalls im November führten wir in Zusammenarbeit mit dem Regierungspräsidium

Karlsruhe aus Anlass des 100. Jubiläums der Veröffentlichung der Allgemeinen Relativitätstheorie eine eintägige Fortbildung »Astronomie auf Einsteins Spuren: Relativistische Astrophysik in der Schule« durch (M. Pössel).

Im Bereich Grundschule/Kindergarten fanden 14 Fortbildungsveranstaltungen und eine Vielzahl von Beratungsgesprächen statt. Wichtiger neuer Schritt ist die Entwicklung einer speziell auf Grundschullehrkräfte zugeschnittenen Fortbildung in Kooperation mit der Forscherstation.

An externen Lehrerfortbildungen waren wir in Baden-Württemberg und Thüringen beteiligt. Die diesjährige mobile Lehrerfortbildung der Reiff-Stiftung zur Förderung der Amateur- und Schulastronomie fand in Niedersachsen (Göttingen, St. Andreasberg, Hildesheim, Hannover, Burgwedel, Hittfeld und Osnabrück) und Bremen statt (O. Fischer mit B. Nissel).

Auch der »Teleskopführerschein« ging in eine weitere Runde – im Februar in Ebern (Bayern) und im November einmal mehr in Adelsheim (O. Fischer / C. Liefke). Dieser Kurs qualifiziert Lehrer außerdem, am Teleskopleihprogramm des HdA teilzunehmen.

Unsere binationale deutsch-italienische Sommerschule, finanziert von der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, wurde dieses Jahr zum Thema Gravitationswellenastronomie in Jena weitergeführt.

Mitglieder des von Natalie Fischer koordinierten UNAWE-Netzwerks erfuhren Unterstützung durch die Bereitstellung von Material für Lehrerfortbildungen.

### Forschungsprojekte mit Schülern

Schüler und Schülerinnen haben am Haus der Astronomie verschiedene Möglichkeiten, eigene Erfahrungen mit wissenschaftlicher Forschung zu sammeln. Im Rahmen der IASC-Pan-STARRS-Asteroidensuche suchen Schüler in den Daten der Pan-STARRS-Durchmusterung nach Asteroiden. Die Chance, dabei im Asteroidengürtel bis dahin unbekannte Asteroiden zu entdecken, verleiht dieser Aktivität einen ganz besonderen Reiz. Carolin Liefke hat für dieses Projekt in diesem Jahr insgesamt 50 Schülergruppen betreut, die an vier Suchkampagnen teilgenommen haben.

Im Bereich Remote-Beobachtungen (also Beobachtungen mit Teleskopen, die per Internet gesteuert werden können; C. Liefke) nahmen die Faulkes/LCOGT-Teleskope in diesem Jahr den Regelbetrieb wieder auf. Wegen gelegentlicher Schwierigkeiten mit Teleskopen und Datenarchiv haben wir unsere Aktivitäten mit LCOGT in diesem Jahr allerdings nicht ausgeweitet – mit einer Ausnahme: während des MPIA/HdA-Girls' Day boten wir 16 Mädchen die Möglichkeit, mithilfe der LCOGT-Teleskope Beobachtungen durchzuführen und auszuwerten, um Einblicke in die Arbeitsweise von Astronomen zu erhalten.

**Abb. IV.3.5:** Kometen zum Selberbasteln: Andrang am HdA-Stand für jüngere Kinder auf der Explore Science der Klaus Tschira Stiftung im Luisenpark in Mannheim im Juli 2015.



Quelle: N. Fischer / HdA

Anfang 2015 trafen sich die Nutzer des Remote-Observatoriums ROTAT (Observatoire de Haute Provence) in Tübingen, um den aktuellen Stand und die Zukunft des Projekts zu besprechen, an dem auch das HdA beteiligt ist. Das Treffen wurde von allen Teilnehmern, darunter zahlreiche Amateurastronomen und schulische Teilnehmer aus Deutschland und Frankreich, als überaus fruchtbar eingeschätzt. Leider ist Prof. Dr. Hanns Ruder, der Gründer von ROTAT, am 17. Oktober 2015 gestorben. Das HdA wird ROTAT weiter unterstützen und dabei helfen, Prof. Ruders Arbeiten im Bereich astronomische Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit weiterzuführen.

Praktikanten hatten wir in diesem Jahr zum einen zur Berufsorientierung (BOGY), zum anderen in Programmen für besonders talentierte/interessierte Schülerinnen und Schüler, insbesondere in Zusammenarbeit mit dem Hector-Seminar und dem Heidelberger Life Science Lab (C. Liefke). Im Rahmen des Life Science Lab führten wir dieses Jahr außerdem ein Seminar zur Kosmologie durch (M. Pössel mit Björn Malte Schäfer).

Aufwändigstes Programm war einmal mehr unser dreiwöchiges Internationales Sommerpraktikum (K. Noeske), an dem regelmäßig auch Teilnehmer/innen der International Summer Science School der Stadt Heidelberg zu uns stößen. Dieses Jahr nahmen sieben Schüler/innen aus Deutschland, Italien, Großbritannien und den USA an unserem Sommerpraktikum teil. Wie zuvor wurde das Praktikum von einem Langzeitpraktikanten (S. Kopf) als Tutor unterstützt.

## **Netzwerke und Kooperationen**

Auf internationaler Ebene sind unsere hauptsächlichen Kooperationspartner die Partner des EU-UNAWE-Netzwerks. Eine weitere langjährige Zusammenarbeit besteht mit Bildungs- und Forschungsinstitutionen in Chile – vermittelt über das Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg und das Exzellenzzentrum der Universität in Chile.

Regional haben wir unsere erfolgreiche Zusammenarbeit mit der Forscherstation, dem Klaus-Tschira-Kompetenzzentrum für frühe Naturwissenschaftliche Bildung gGmbH in Heidelberg, weitergeführt, deren Kernstück Natalie Fischer als gemeinsame Mitarbeiterin beider Institutionen ist.

Auch die Zusammenarbeit mit der »ESO Supernova« (ES), dem größeren Geschwistergebäude des HdA, das derzeit in Garching errichtet wird, haben wir fortgeführt. Die ES ist ein Gemeinschaftsprojekt der Europäischen Südsternwarte (ESO) mit dem Heidelberger Institut für Theoretische Studien (HITS), finanziert von der Klaus Tschira Stiftung. Das HdA ist insbesondere über die Arbeit von Cecilia Scorza an der Entwicklung von Bildungsmaterialien für die ES beteiligt, die genutzt werden, um Planetariumspräsentationen und die Ausstellung samt Führungen mit Bildungsbezug für alle Altersstufen vom Kindergarten bis zur Studienstufe zu entwickeln. Weitere Beiträge zur ES sind die Entwicklung geeigneter Fortbildungsveranstaltungen für Lehrer, der Aufbau eines Lehrernetzwerks für die ES und ein gemeinsames Projekt zu Grundkonzepten der Astronomie, gemeinsam mit der ESO und Partnern an der Sternwarte Leiden.

*Markus Pössel, Sigrid Brümmer, Natalie Fischer,  
Olaf Fischer, Carolin Liefke, Alexander Ludwig,  
Markus Nielbock, Kai Noeske, Matthias Penselin,  
Tobias Schultz, Cecilia Scorza, Jakob Staude*

Das Haus der Astronomie ist das Ergebnis einer Partnerschaft zwischen der Klaus Tschira Stiftung, die das galaxienförmige HdA-Gebäude gestiftet hat, der Max-Planck-Gesellschaft als Betreiberin des HdA (wobei die Leitung dem MPIA übertragen wurde) sowie der Stadt Heidelberg und der Universität Heidelberg, die das HdA personell unterstützen.

## V. Menschen und Ereignisse



## V.1 Menschen und Ereignisse

# Auszeichnungen und Preise

**Im Jahr 2015 wurden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des MPIA mit diversen Preisen ausgezeichnet, sowohl im wissenschaftlichen wie auch im administrativ/technischen Bereich.**

Insbesondere erhielten gleich drei unserer Wissenschaftler ERC-Grants. Der European Research Council bietet verschiedene Förderprogramme im Rahmen seines Programms an bei dem für alle Förderanträge gilt, dass sie die herausragende Bedeutung der beantragten Projekte sowie die Exzellenz der beteiligten Wissenschaftler belegen müssen.

---

### ERC-Consolidator-Grant für Henrik Beuther

Henrik Beuther, Wissenschaftler in der Abteilung Planeten- und Sternentstehung des MPIA, wurde mit einem ERC-Research-Grant im Umfang von 1,6 Millionen Euro ausgezeichnet. Die Fördermittel werden die Einrichtung einer Arbeitsgruppe bestehend aus drei Postdocs und ei-

Abb. V.1.1: Dr. Henrik Beuther.



Quelle: MPIA

nem Doktoranden in den nächsten fünf Jahren ermöglichen. Das Projekt wurde entwickelt, um den gesamten Zyklus von der Wolkenbildung über die Sternentstehung bis zum Feedback an das interstellare Medium zu studieren. Beuther leitete ab 2005 eine Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe am MPIA und ist seit 2009 festangestellter wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts.

Sternentstehung ist ein hierarchischer Prozess – von der Entstehung großer Wolken aus interstellarem Gas und Staub bis zur Bildung der Sterne und der sie umgebenden Planetensysteme. Das ERC-Projekt zielt auf die Untersuchung dieser auf sehr unterschiedlichen Skalen stattfindenden komplexen Prozesse zur Umwandlung des diffusen Gases in Sterne. Die Grunddaten werden von zwei PIführten großen Beobachtungsprogrammen an zwei der modernsten Radio- und mm-Interferometer bereitgestellt, dem Very Large Array (VLA) in New Mexico (USA) und dem Plateau de Bure Interferometer (PdBI) in Frankreich.

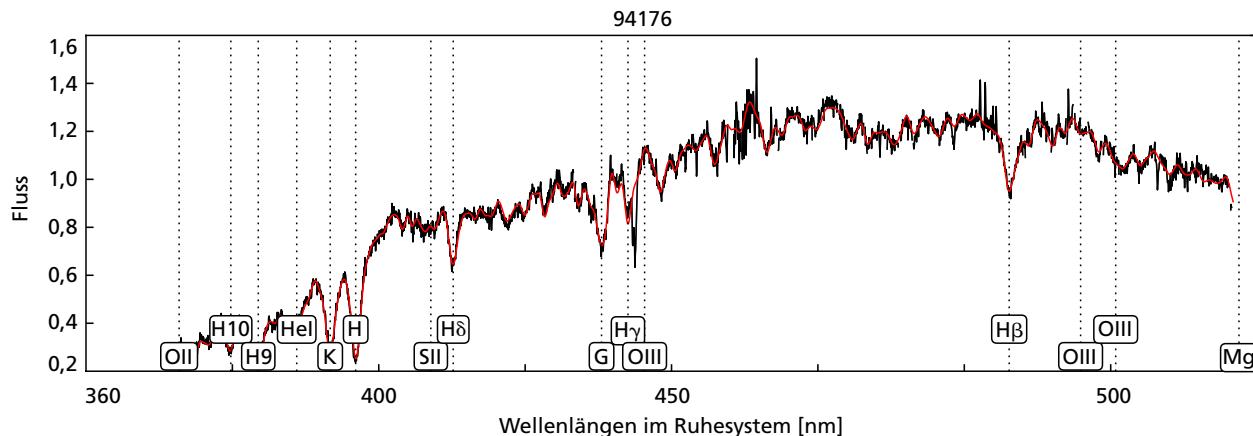
Consolidator Grants sind die zweite Stufe des dreistufigen ERC-Programms. Sie werden an Wissenschaftler vergeben, die ihre Doktorarbeit vor sieben bis zwölf Jahren abgeschlossen haben, bereits eine eigene Forschungsgruppe leiten und auf beachtliche exzellente Forschungsleistungen zurückblicken können.

---

### ERC-Consolidator-Grant für Arjen van der Wel

Ein weiteres, ebenfalls mit 1,9 Millionen Euro dotiertes ERC-Consolidator-Grant wurde an Arjen van der Wel vergeben, einem wissenschaftlichen Mitarbeiter in der Abteilung Galaxien und Kosmologie. Van der Wels Projekt dreht sich um den LEGA-C-Survey: ein riesiges extragalaktisches Beobachtungsprogramm am Very Large Telescope (VLT) der ESO in Chile, um die Entwicklung der Galaxien zu studieren. Die im April 2016 beginnende Förderung wird die Einrichtung einer Arbeitsgruppe ermöglichen, welche den umfangreichen und einzigartigen Datensatz bearbeiten wird und aus wdem Gruppenleiter, zwei Postdoktoranden und zwei Doktoranden besteht.

Der LEGA-C-Survey ist hinsichtlich der zur Verfügung gestellten Beobachtungszeit das größte extragalaktische Beobachtungsprogramm am Paranal-Observatorium der Europäischen Südsternwarte (ESO) in Chile. Durch Einsatz des VIMOS Multi-Objekt-Spektrographen an einem der vier großen 8,2 Meter Teleskope, messen und analysieren van der Wel und seine Gruppe die physikalischen Eigenschaften von mehr als 3000 entfernten Galaxien (bis



**Abb. V.1.2:** Beispiespektrum (links, mit charakteristischen spektralen Signaturen) und das entsprechende Bild aufgenommen mit dem Hubble Weltraumteleskop einer der mehr als 3000 Galaxien des LEGA-C-Survey. Die Rotverschiebung von  $z = 0.697$  entspricht in etwa einer Rückblickzeit von der Hälfte des Gesamtaalters des Universums. Folglich ist eine große Stichprobe von Galaxien verteilt über einen weiten Rotverschiebungsbereich (und damit über verschiedene kosmische Epochen) geeignet, die Entwicklung der Galaxien zu verfolgen.

Quelle: J. A. van der Wel / MPIA, NASA / ESA / Hubble

zu einer Rotverschiebung von  $z \sim 1$ ) in bisher unerreichter Genauigkeit. Zu diesen Galaxieneigenschaften zählen das Alter und die chemische Zusammensetzung ihrer Sternpopulationen, sowie ihre Kinematik, um damit ihre dynamischen Massen und ihre Beziehung zu den Halos aus dunkler Materie zu bestimmen. Solche Informationen sind wichtig, um zu verstehen, wie sich die Galaxienpopulation von ihrer sehr aktiven Entstehungsphase in der Frühzeit zu der relativ ruhigen und stabilen Population entwickelt hat, die wir im heutigen Universum beobachten.

**Abb. V.1.3:** Dr. Arjen van der Wel.



Quelle: J. A. van der Wel / MPIA

### ERC-Starting-Grant für Jouni Kainulainen

Ein ERC-Starting-Grant im Umfang von 1,3 Millionen Euro ging an Jouni Kainulainen von der Abteilung Planeten- und Sternentstehung. Die Fördermittel werden die Einrichtung einer Arbeitsgruppe bestehend aus dem Gruppenleiter, zwei Postdocs und einem Doktoranden in den nächsten fünf Jahren ermöglichen.

Hauptziel des Projekts von Kainulainen ist es, zu untersuchen, wie die grundlegenden physikalischen Prozesse (Schwerkraft, Turbulenzen und magnetische Felder) die Bildung neuer Sterne in unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße, regulieren.

Nach unserem aktuellen Verständnis sind wichtige Größen wie die Sternentstehungsraten von Galaxien eng verknüpft mit der inneren Struktur der einzelnen Molekülwolken, in denen Sterne entstehen. Aber die detaillierte innere Struktur solcher Objekte kennen wir nur von Wolken, die unserem Sonnensystem relativ nahe sind. Darüber hinaus sind diese uns benachbarten Wolken nur die Geburtsorte von relativ massearmen Sternen.



Quelle: J. Kainulainen

**Abb. V.1.4:** Dr. Jouni Kainulainen.

Das Ziel der Gruppe von Kainulainen ist es, die interne Struktur auch der massereichen Molekülwolken in der Milchstraße detailliert zu kartieren – mit Hilfe einer neuen Beobachtungstechnik. Dazu werden Nah-Infrarot-Beobachtungen von mehreren 10 Millionen Sternen, die bei diesen Wellenlängen durch die Wolken leuchten, mit Bildern aus dem mittleren Infrarot kombiniert. Dies wird erlauben, eine Datenbank, mit sehr genauen Karten von Tausenden von Wolken in der Milchstraße aufzubauen. Die Gruppe wird dann diese einzigartigen Beobachtungsdaten mit numerischen Simulationen des interstellaren Mediums verknüpfen, um die wichtigsten Fragen anzugehen: Welche physikalischen Prozesse be-

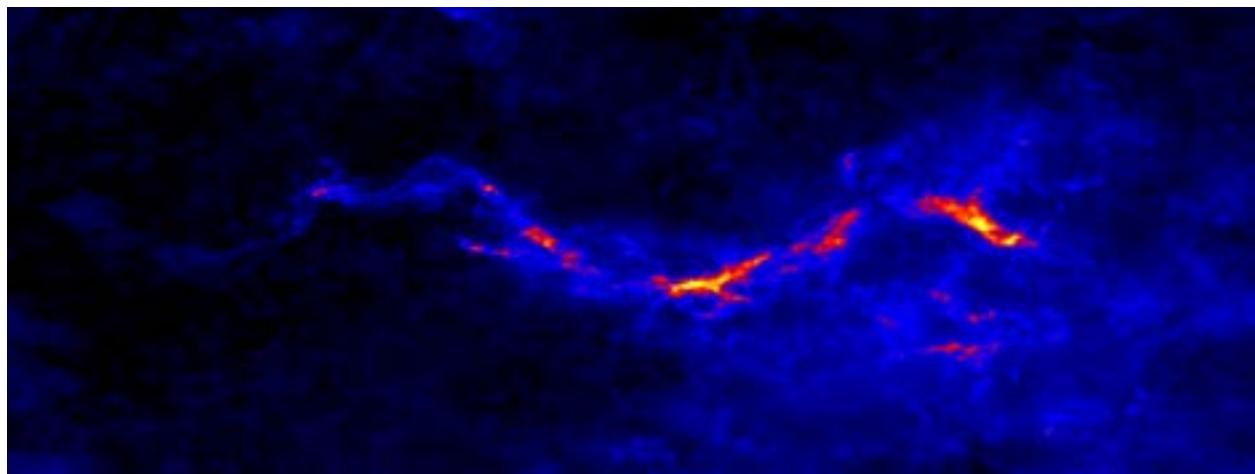
**Abb. V.1.5:** Säulendichte-Karte der riesigen, filamentartigen Wolke mit dem populären Namen »The Snake« (die Schlange). Kainulainens Gruppe wird ähnliche Karten für Tausende von Molekülwolken in unserer Milchstraße erstellen, um zu erforschen, wie diese Strukturen neue Sterne bilden.

einflussen die Entstehung und Entwicklung von Strukturen der Molekülwolken? Wie beeinflusst oder begünstigt die Struktur von Molekülwolken die Sternentstehung? Diesen Fragen wird Kainulainen jetzt am MPIA nachgehen können.

### Sofja-Kovalevskaja-Preis der Humboldt-Stiftung für Karin Lind

Der Sofja-Kovalevskaja-Preis der Alexander von Humboldt-Stiftung ist mit je bis zu 1,65 Millionen Euro Preisgeld einer der höchstdotierten deutschen Wissenschaftspreise. Ziel ist es, herausragenden jungen Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern den Aufbau einer Arbeitsgruppe für ein innovatives Projekt an einem deutschen Forschungsinstitut zu ermöglichen. Unter den sechs Empfängern des Kovalevskaja-Preises 2015 war auch Dr. Karin Lind aus Schweden, die mit ihrer Gruppe im Oktober 2015 am Max-Planck-Institut für Astronomie ihre Arbeit aufgenommen hat.

Hauptziel der Arbeit von Lind ist die Erforschung der Entstehung der chemischen Elemente im frühen Universum durch die Analyse von Sternspektren. Während die leichtesten chemischen Elemente, wie Wasserstoff oder Lithium, nur Minuten nach dem Urknall entstanden, sind die anderen Elemente durch Kernfusion im Sterninneren oder bei Sternexplosionen (Supernova) produziert worden. Die Bestimmung der Elementhäufigkeiten von Material aus der Frühphase des Universums erlaubt, die Physik des Urknalls und der ersten Sterne zu erforschen. Diese Häufigkeiten lassen sich am besten durch die Spektralanalyse der Oberflächen besonders alter Sterne bestimmen. Karin Lind hat die weltweit besten physikalischen Modelle für die Spektren alter Sterne entwickelt, deren Anwendung auf beobachtete Sternspektren Elementhäufigkeitsbestimmungen von bisher unmöglichster Genauigkeit erlauben. Auf dieser Basis konnte sie das sogenannte Lithium-Problem lösen, ein Element dessen Häufigkeit vorher im Konflikt mit Urknallmodellen schien.



Quelle: J. Kainulainen et al. 2013



Quelle: Humboldt-Stiftung / Bettina Auerhofer

**Abb. V.1.6:** Von links nach rechts: Dr. Karin Lind, Cornelia Quennet-Thielen (Staatssekretärin des Bundesministeriums für Bildung und Forschung), und Prof. Dr. Helmut Schwarz (Präsident der Humboldt-Stiftung) während der feierlichen Preisverleihung in Berlin im November 2015.

In den nächsten Jahren wird Lind ihre Methodik auf eine Million Sterne anwenden, deren Spektren im Moment im Zuge mehrerer Himmelsdurchmusterungen aufgenommen werden. Durch die Bestimmung von deren Elementhäufigkeiten lässt sich die nukleare Anreicherungsgeschichte des Universums durch stellare Kernfusion rekonstruieren, da sie sich in der Zusammensetzung nachfolgender Sternengenerationen wider-spiegelt.

**Abb. V.1.7:** Die Patzer-Preisträger 2015: von links nach rechts Dr. Simon Bihr, Dr. Melissa Ness und Dr. Jonathan Stern.



Quelle: M. Riegel / MPA

### **Patzer-Preise 2015**

Die Ernst-Patzer-Preise zeichnen die besten drei Publikationen aus, die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern während ihrer Promotion oder der ersten Postdoc-Phase verfasst und in einem renommierten referierten Fachjournal veröffentlicht haben.

Der Ernst Patzer-Preis wurde vom Kunstliebhaber und Philosophen Ernst Patzer gestiftet und von seiner Witwe eingerichtet. Die Stiftung vergibt ihre Preise jährlich an junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am MPIA und anderen Instituten in Heidelberg. Ziel ist, damit die Forschung insbesondere auf dem Gebiet der Astronomie zu fördern.

Über die Vergabe entscheidet ein Auswahlgremium, dem zwei MPIA-Wissenschaftler und ein externer Heidelberger Wissenschaftler angehören.

*Die Patzer-Preisträger 2015 sind:*

- Dr. Simon Bihr (MPIA-Abteilung Planeten- und Sternentstehung) für seine Publikation »THOR: The HI, OH, Recombination line survey of the Milky Way: The pilot study: HI observations of the giant molecular cloud W43« (Bihr et al. 2015, *Astronomy & Astrophysics*, 580, A112)
- Dr. Melissa Ness (MPIA-Abteilung Galaxien und Kosmologie) für ihre Publikation »The CANNON: A data-driven approach to stellar label determination«, (Ness et al. 2015, *Astrophysical Journal*, 808, 16)
- Dr. Jonathan Stern (MPIA-Abteilung Galaxien und Kosmologie) für seine Publikation »Spatially

resolving the kinematics of the < 100 mas quasar broad-line region using spectroastrometry» (Stern et al. 2015, *Astrophysical Journal*, 804, 57)

Die Preisverleihung fand am 27. November 2015 im Hörsaal des Max-Planck-Instituts für Astronomie statt.

### **Azubipreis 2015 der Max-Planck-Gesellschaft für Felix Sennhenn**

Seit 2007 vergibt die Max-Planck-Gesellschaft (MPG) jährlich den Azubipreis für herausragende Leistungen in der Berufsausbildung. Mit dem Preis würdigt die MPG nicht nur die herausragende berufliche und schulische Leistung während der Ausbildung, sondern auch die persönliche Entwicklung und das soziale Engagement der Auszubildenden. Das Auswahlgremium besteht aus vier Ausbilderinnen und Ausbildern und je einem Mitglied des Gesamtbetriebsrats sowie der Gesamt-Jugend- und Auszubildendenvertretung.

Preisträger 2015 ist Felix Sennhenn aus der Feinwerktechnik des MPIA. Er erhält die Auszeichnung für herausragende Leistungen im Bereich Metall-verarbeitende Berufe.

**Abb. V.1.8:** Azubi-Preisträger Felix Sennhenn (vorne) bei der Demonstration seiner selbstgebauten Drehmaschine.



Quelle: D. Anders / MPIA

Bemerkenswert ist auch, dass Felix Sennhenn in seiner Freizeit zusätzlich eine eigene Drehmaschine konzipiert und gebaut hat, die er bei der Übergabe der Auszeichnung vorführen konnte. Dies ist eine außergewöhnliche Leistung, die weit über das hinausgeht, was man in der Regel selbst von sehr guten Auszubildenden in diesem Bereich erwarten kann.

### **Weitere Auszeichnungen und Ehrungen im Jahr 2015**

- Tri L. Astraatmadja erhielt den »Global Neutrino Network (GNN) Dissertation Prize 2015«, der ihm von der Partnerschaft der vier Neutrino-Teleskop-Experimente ANTARES, Baikal, IceCube, und KM3NeT für seine herausragende Doktorarbeit verliehen wurde, welche ganz wesentlich zum Projekt beigetragen hat. Der Titel seiner Dissertation lautet »Starlight beneath the waves: In search of TeV photon emission from Gamma-Ray Bursts with the ANTARES Neutrino Telescope«.
- Maria Bergemann wurde zum Mitglied des Elisabeth-Schiemann-Kollegs der Max-Planck-Gesellschaft gewählt.
- Die Entdeckung des ersten Quasar-Quartetts durch Joe Hennawi und Laura Inno (siehe Abschnitt II.5) erreichte Platz vier im Ranking der Top-10 Meldungen des Jahres 2015 im Bereich Astronomie und Weltraumforschung des Magazins *Astronomy*.
- Laura Inno erhielt eine ESO Fellowship.
- Ryan Leaman erhielt ein Postdoctoral Fellowship am National Sciences and Engineering Research Council of Canada.
- Nadine Neumayer wurde zum Mitglied des Elisabeth-Schiemann-Kollegs der Max-Planck-Gesellschaft gewählt.
- Fabian Walter wurde zur Caltech Biard Lectureship und zum Caltech Visiting Associate in Astronomy eingeladen.
- Gabor Worseck erhielt eine Drittmittelförderung des DLR (Programm 50OR1512, 71729 Euro).

## V.2 Menschen und Ereignisse

# Ereignisse und Veranstaltungen

### Heidelberger Initiative zur Erforschung des Ursprungs des Lebens gegründet

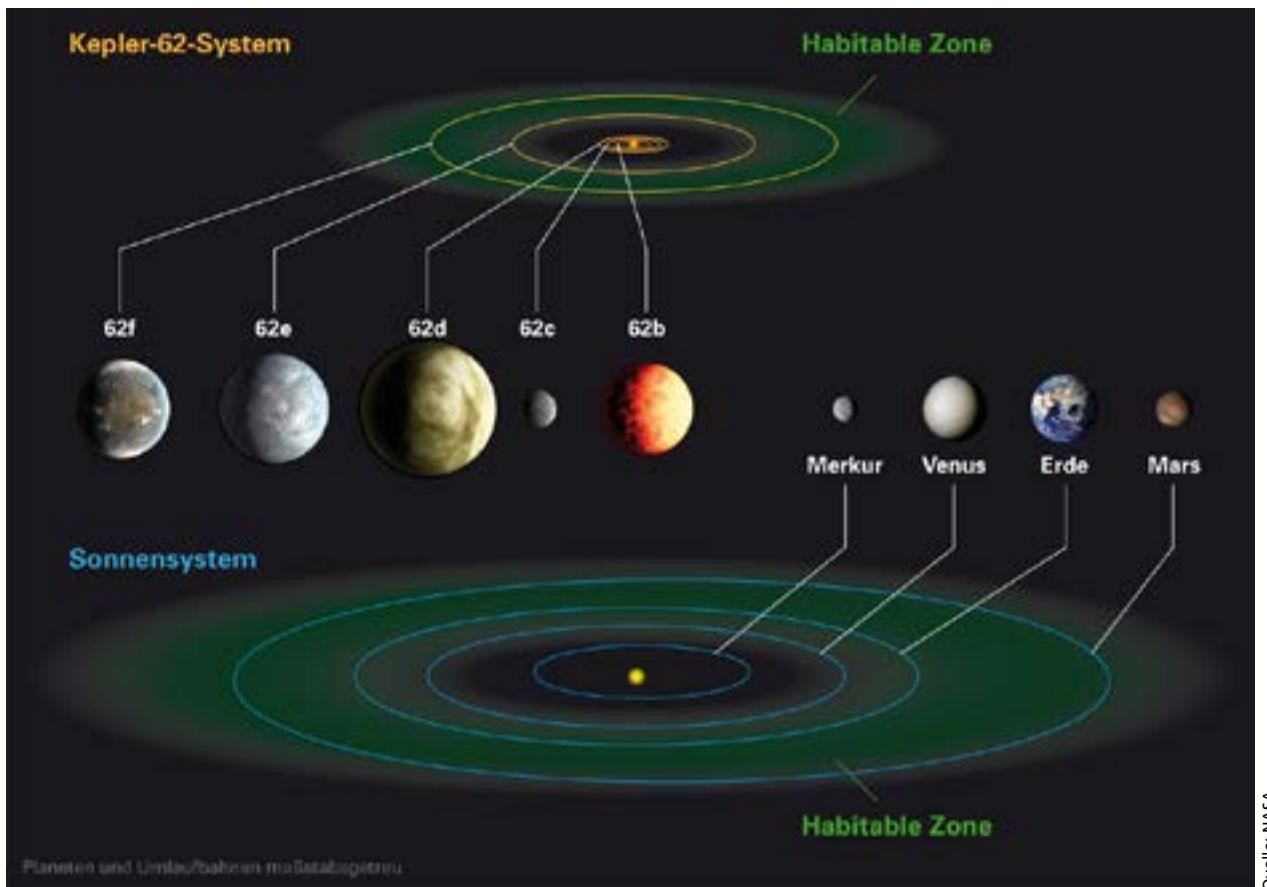
Im März 2015 gründete das Max-Planck-Institut für Astronomie zusammen mit dem Max-Planck-Institut für Kernphysik, dem Heidelberger Institut für Theoretische Studien und der Universität Heidelberg, die Heidelberger Initiative zur Erforschung des Ursprungs des Lebens (englisch Heidelberg Initiative for the Origin of Life, HIFOL). Die Initiative vereint Spitzenforscher aus der Astrophysik, den Geowissenschaften, der Chemie und den Lebenswissenschaften, um die wissenschaftli-

che Erforschung einer der spannendsten Fragestellungen des Universums zu fördern, zu stärken und zu bündeln: Was sind die Voraussetzungen für die Entstehung des Lebens? Während des Frühjahrssemesters startete HIFOL auch eine Kolloquiumsreihe mit weltweit führenden Referenten in diesem Forschungsfeld.

Spätestens seit der Entdeckung der ersten extrasolaren Planeten um sonnenähnliche Sterne in den Neunziger Jahren hat sich die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Thema »Leben im Universum« – sogar außerhalb unseres Sonnensystems – zu einem der spannendsten Forschungsfelder entwickelt. Heute wissen

**Abb. V.2.1:** Vergleich des Planetensystems um den Stern Kepler-62 mit unserem eigenen Sonnensystem. Die Planetenumlaufbahnen (oben und unten) sind relativ zueinander im richtigen Maßstab. Die Planetengrößen selbst (Mitte) sind untereinander ebenfalls im richtigen Maßstab. Die habitable Zone – befindet sich dort ein Planet, kann auf dessen

Oberfläche prinzipiell flüssiges Wasser existieren – ist grün eingezzeichnet. Kepler-62e und Kepler-62f sind die bislang besten Kandidaten für lebensfreundliche Planeten: Planeten mit fester Oberfläche, die sich in der habitablen Zone ihres Sterns befinden. Es sind auch Entdeckungen wie diese, welche dieses Arbeitsfeld immens befrieden.



wir, dass die Entstehung von Planetensystemen keine seltene Ausnahme ist, sondern offenbar ein völlig normaler Prozess im Kontext der Sternentstehung. Dies legt den Schluss nahe, dass auch die Entstehung von Leben überall dort möglich – wenn nicht sogar zwangsläufig – ist, wo die Bedingungen das erlauben. Doch wie lassen sich die notwendigen Bedingungen eigentlich charakterisieren? Welche physikalischen und biochemischen Gegebenheiten müssen existieren? Und welche Signaturen in den Daten ferner Planeten wären eindeutig ein Zeichen für biologische Prozesse? 2014 wurde dieses Themenfeld auch in die Forschungsperspektiven der Max-Planck-Gesellschaft aufgenommen.

Eine der wichtigsten Zutaten für alles Leben, das wir kennen, ist flüssiges Wasser. Zwar besitzt die Erde eine wasserreiche Oberfläche, die Herkunft dieses Wassers ist jedoch noch unklar. Wissenschaftler fanden durch die Untersuchung der Isotopenzusammensetzung von Meteoriten Hinweise darauf, dass das Wasser am ehesten von Asteroiden oder Kometen auf die Erde geliefert wurde. Im Gegensatz zu den terrestrischen Planeten, die sich aus Gesteinsbrocken im inneren, heißen Bereich des solaren Nebels gebildet haben, wo sich Wasser in der Gasphase befunden hat, sind Kometen und Asteroiden in größerer Entfernung von der jungen Sonne gebildet worden und waren in der Lage, einen Teil des Wassers in Form von Eis zu behalten. Weitere Fragen beschäftigen sich beispielsweise mit den Bedingungen für komplexe biochemische Reaktionen, mit der Zusammensetzung der Planetenatmosphären oder der Selbstorganisation von organischen Molekülen.

All dies hat auch lebhafte Diskussionen über die Definition der sogenannten bewohnbaren Zone um Sterne angestoßen. Einerseits sind erdähnliche Bedingungen relativ fest an stabile Bahnen mit den entsprechenden Parametern geknüpft (z.B. Distanz zum Stern und Temperatur). Auf der anderen Seite haben Wissenschaftler mit den Monden Enceladus, Titan und Europa einige Standorte in den äußeren und viel kälteren Regionen unseres Sonnensystems gefunden, die für die Suche nach biologischer Aktivität in unserer unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft erfolgversprechender sein könnten als der für lange Zeit favorisierte Mars.

Weitere Informationen über die HIFOL-Initiative können auf der HIFOL-Webseite <http://www.mpa.de/HIFOL> gefunden werden.

### **Oliver Trapp als MPG-Fellow an das Max-Planck-Institut für Astronomie berufen**

Einen Bezug zur Gründung von HIFOL hat auch die Berufung von Prof. Dr. Oliver Trapp vom Organisch-Chemischen Institut der Universität Heidelberg zum MPG-Fellow des Max-Planck-Institut für Astronomie am Ende des Jahres. Mit ihrem Fellow-Programm fördert die Max-Planck-Gesellschaft die Zusammenarbeit mit herausragenden Wissenschaftlern außerhalb der Max-Planck-Institute.

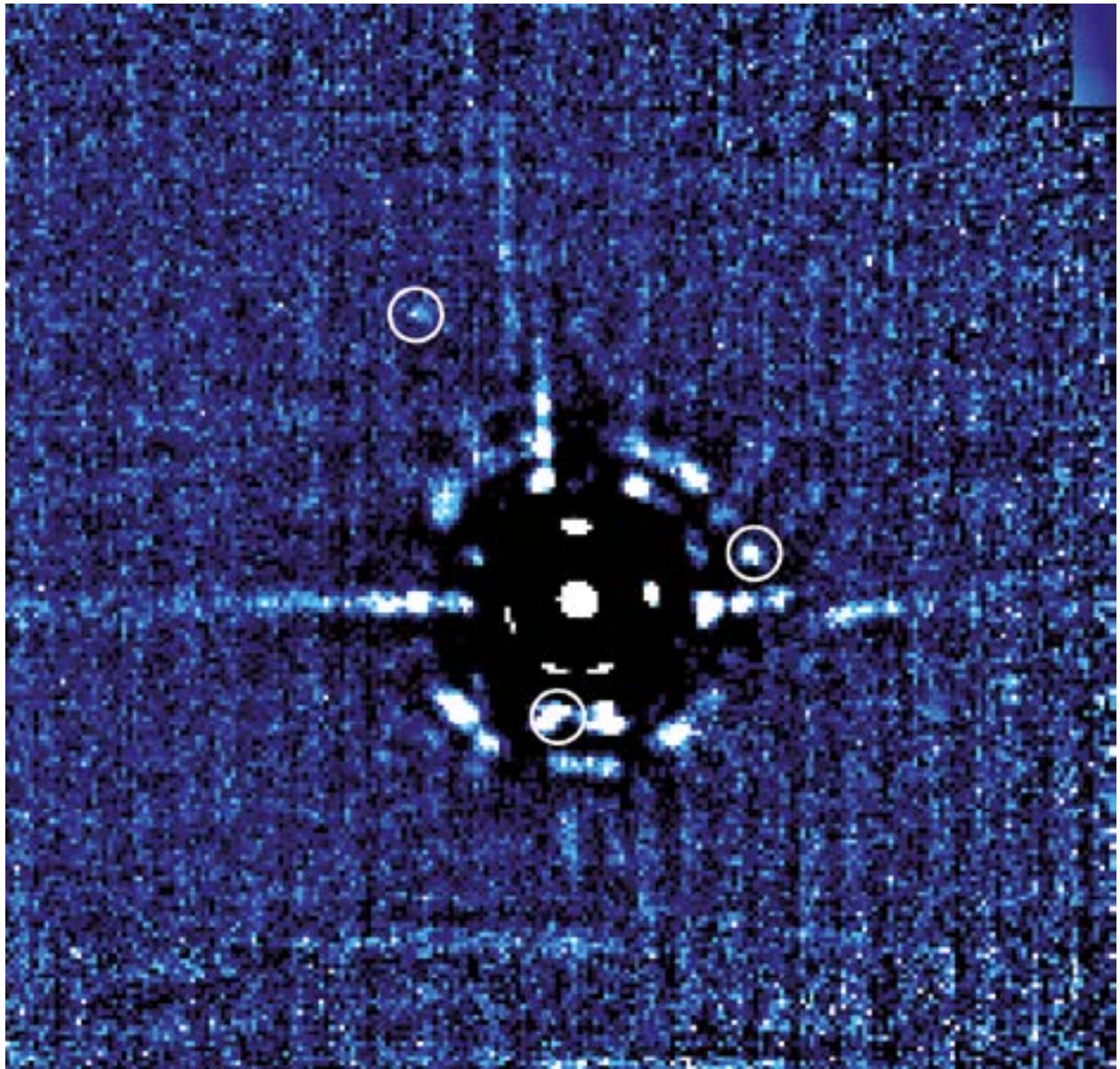
Trapp promovierte 2001 im Fach Chemie an der Universität Tübingen. Nach seiner Postdoc-Zeit an der Stanford University in Kalifornien (USA) leitete er ab 2004 zunächst eine von der DFG geförderte Emmy Noether-Nachwuchsgruppe am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr. 2008 wurde Oliver Trapp, den die DFG auch mit dem Heinz Maier-Leibnitz-Preis auszeichnete, auf eine Professur an das Organisch-Chemische Institut der Universität Heidelberg berufen.

In seiner Forschung geht es insbesondere darum, katalytische chemische Reaktionen auf Ebene der Moleküle besser zu verstehen. Die Untersuchung und Analyse solcher Vorgänge – insbesondere in großer Zahl – ist normalerweise jedoch nicht nur aufwändig, sondern vor allem sehr zeitraubend. Durch Verbindung der klassischen chemischen Analyse mit Mitteln moderner Informationstechnologie gelang es Trapp jedoch, die Effizienz und Qualität solcher Analysen enorm zu steigern, um möglichst viele Reaktionen in kurzer Zeit untersuchen zu können.

**Abb. V.2.2:** Prof. Dr. Oliver Trapp.



Quelle: O. Trapp



Quelle: W. Brandner / MPIA

**Abb. V.2.3:** Bild des Planetensystems HR 8799. In der Mitte befindet sich der Zentralstern HR 8799. An einem der drei hier direkt sichtbaren Planeten gelang MPIA-Astronomen im Jahr 2010 die erste Direktmessung eines Exoplanetenpektrums für einen Planeten, der einen fernen, sonnenähnlichen Stern

umkreist. Die Messung gibt Aufschluss über die chemische Zusammensetzung der Planetenatmosphäre und ebnet den Weg für eine neue Generation direkter Messungen von Spektren, eine wichtige Technik bei der Suche nach Planeten, auf denen Leben möglich ist.

So gelingt es Trapp, unter Verwendung einer durch Barcodes gesteuerten Zuführung von Proben viele Chromatogramme gleichzeitig zu erzeugen, die dann analysiert werden können. In einem bestimmten Zeitraum können so an die 50 Mal mehr Proben erforscht werden. Diese sogenannte Multiplexing-Gaschromatographie ist übrigens auch für andere Analysen sehr wertvoll. Als Beispiel kann hier die Untersuchung von Stoffgemischen genannt werden.

Das Studium von Vorgängen auf molekularer Ebene ist von grundsätzlicher Bedeutung für das Verständnis der Abläufe und den dafür notwendigen Bedingungen zur Bildung von Bausteinen des Lebens, und die Berufung von Oliver Trapp als MPG-Fellow an das MPIA ein wichtiger Schritt hin zu der Interdisziplinarität die nötig ist, um die Entstehung von Leben im großen, kosmischen Zusammenhang zu untersuchen.



Quelle: Universidad de Valparaíso

### Tandem-Abkommen mit der Universität Valparaíso unterzeichnet

Im Oktober wurde die Vereinbarung für die Einrichtung der ersten Tandem-Gruppe im Bereich Astronomie in Chile zwischen dem Max-Planck-Institut für Astronomie und der Abteilung Physik und Astronomie der Universität von Valparaíso unterzeichnet.

Die Kooperationsvereinbarung wurde vom Rektor der Universität, Aldo Valle, und dem Geschäftsführenden Direktor des Max-Planck-Instituts für Astronomie Heidelberg, Thomas Henning, unterschrieben. Die feierliche Zeremonie in Chile fand im Beisein des Dekans der Fakultät der Wissenschaften der Universität, Juan Kuznar, dem Leiter dDoktorandenprogramms Astrophysik, Matthias Schreiber, dem Generalsekretär der Universität Osvaldo Corrales sowie Wissenschaftlern und Studenten statt. Es ist die erste Vereinbarung dieser Art im Forschungsfeld Planeten- und Sternentstehung zwischen einer renommierten deutschen Einrichtung und einer chilenischen Universität. Mit dieser ersten Stufe der Vereinbarung soll künftig auch die generelle Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Exoplaneten, der Planetenentstehung und der numerischen Astrophysik gestärkt werden. Die Universität Valparaíso ist die einzige Hochschule Chiles, die bereits zuvor, nämlich im Bereich Biowissenschaften, eine ähnliche Verbindung zur Max-Planck-Gesellschaft (MPG) gepflegt hat.

Grundidee der Tandem-Projekte ist es, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zu ermöglichen, sich mit einem Max-Planck-Institut als Kooperationspartner um die Leitung einer für fünf Jahre ausgelegten Forschungsgruppe zu bewerben. Die jetzt getroffene Vereinbarung soll nicht nur generell die Untersuchung der Entstehung von Planeten und Sternen vorantreiben, sondern auch neue Chancen für den Studentenaustausch eröffnen –

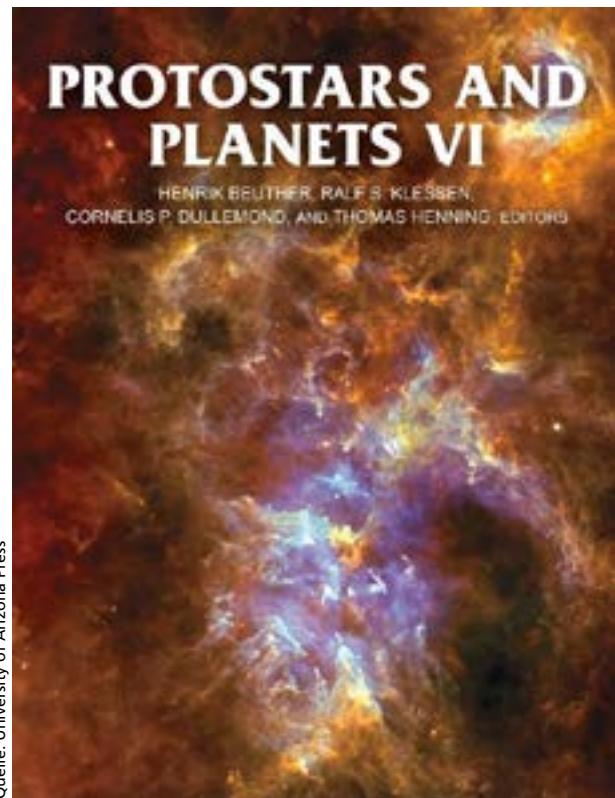
**Abb. V.2.4:** Unterzeichnung der Kooperationsvereinbarung zwischen MPIA-Direktor Thomas Henning (links) und dem Rektor der Universität Valparaíso, Aldo Valle, am 2. Oktober 2015.

d.h. dass chilenische Studenten leichter das MPIA besuchen können und umgekehrt. Grundsätzlich fördert eine solche Kooperation beidseitig die Verbesserung der Netzwerkstrukturen.

Mit der Vereinbarung soll in Chile eine Forschungsgruppe etabliert werden, deren Mitglieder nach einem sorgfältigen Auswahlverfahren aus Bewerbern aus der ganzen Welt ausgewählt und in Chile von einem MPIA-Tandemgruppenleiter geführt werden, um Wissenschaft auf höchstem Niveau zu betreiben. Mit Chile sind Astronomen ohnehin sehr verbunden, wenn man allein an die herausragenden Observatorien im Norden des Landes denkt. Auch die am MPIA traditionell wichtige Arbeit an der Entwicklung von High-Tech-Instrumenten für die großen Teleskope kann durch die Zusammenarbeit profitieren. Die Astronomie-Gruppe an der Universität Valparaíso mit ihrer großen Erfolgsgeschichte und wissenschaftlichen Exzellenz bietet als Partner optimale Bedingungen.

### Standardwerk zur Planeten- und Sternentstehung erschienen

Dafür, sich als Wissenschaftler mit den neuesten Ergebnissen des eigenen Fachgebiets vertraut zu machen, spielen Konferenzreihen wie Protostars and Planets eine wichtige Rolle: Auf jeder dieser Konferenzen machen Dutzende von profilierten Vortragenden das Publikum mit dem neuesten Stand ihres Teilgebiets vertraut. Nach jeder Konferenz werden die Beiträge der Redner in aus-



Quelle: University of Arizona Press

**Abb. V.2.5:** Vordere Umschlagseite des Buches »Protostars and Planets VI«, erschienen bei der University of Arizona Press.

gearbeiteter Form zu einem Konferenzband zusammengefasst, der typischerweise zum Standardkompendium der Planeten- und Sternentstehung avanciert – so war es seit Erscheinen des ersten Protostars and Planets-Bandes 1978.

Nun wurde der sechste Band der Reihe an die Konferenzteilnehmer von Protostars and Planets VI verschickt; im Handel erhältlich ist der Band seit Ende 2014. Das Buch ist das Ergebnis einer engen Zusammenarbeit von Forschern des Max-Planck-Instituts für Astronomie (MPIA) und des Instituts für Theoretische Astrophysik (ITA) des Zentrums für Astronomie der Universität Heidelberg (ZAH). Die Herausgeber des Buches, das bei der University of Arizona Press erscheint, sind Henrik Beuther (MPIA), Ralf S. Klessen (ITA), Cornelis P. Dullemond (ITA) und Thomas Henning (MPIA). Das Buch ist aus der Konferenz Protostars and Planets VI hervorgegangen, die im Juli 2013 mehr als 800 Astronomen nach Heidelberg gezogen hat. In 38 Übersichtsartikeln auf mehr als 900 Seiten behandelt das Buch alle Aspekte der modernen Forschung zur Entstehung von Sternen und ihren Planeten.

## Konferenzen und Meetings

Wie im vorherigen Abschnitt angedeutet, haben auch Konferenzen und Meetings eine große Bedeutung im wissenschaftlichen Alltag des Instituts – sowohl hinsichtlich wissenschaftlicher Projekte, als auch zur Abstimmung von wichtigen Meilensteinen beim Instrumentenbau. Neben vielen internen Meetings, gab es am Institut 2015 über 30 kleinere oder größere Veranstaltungen mit auswärtigen Gästen.

Zwischen dem 27. und 30. April fand am Haus der Astronomie (HdA) auf dem MPIA Campus die internationale Konferenz Frontiers of Stellar Spectroscopy in the Local Group and Beyond statt. Die Spektroskopie ist in all ihren Variationen nach wie vor das wohl wichtigste Hilfsmittel der beobachtenden Astronomie – ganz gleich, um welchen Themenbereich es sich handelt. Dementsprechend zeichneten sich Programminhalte und die Arbeitsgebiete der nach Heidelberg gereisten Teilnehmer dadurch aus, dass von Exoplaneten-Atmosphären bis hin zur fernsten Galaxien alles vertreten war.

Etwas spezieller war da schon der Workshop on far-IR fine-structure lines zur Untersuchung der interstellaren Materie zwischen dem 8. und 11. Juni am gleichen Ort, obwohl auch in diesem Fall Experten aus galaktischer und extragalaktischer Forschung zusammenkamen. Erklärtes Ziel der Konferenz war es, Beobachter und Theoretiker zusammenzubringen.

Die diesjährige MPIA-Sommerkonferenz, die ebenfalls am HdA ausgerichtet wurde, hatte den Titel A 3D View on Galaxy Evolution: from Statistics to Physics und war bereits die vierte Konferenz dieser inzwischen etablierten Reihe. Ziel war dieses Mal, insbesondere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Bereichen der optischen- und Radioastronomie zusammen zu bringen.

Am 10. Dezember veranstaltete das MPIA in seinem großen Hörsaal zudem ein Wissenschaftliches Kolloquium für Reinhardt Mundt aus der MPIA-Abteilung Planeten- und Sternentstehung, der 2015 in den Ruhestand gegangen ist. Als Ehrengäste und Sprecher besuchten Tom Ray (Dublin Institute for Advanced Studies), Joa-



Quelle: H. Zinnecker

**Abb. V.2.6:** Thomas Henning (links) und Dietrich Lemke zusammen mit Martin Harwit (rechts), einem der Pioniere der Infrarotastronomie, der anlässlich des »Workshop on far-IR fine-structure lines« im Sommer das MPIA besuchte.

chim Eislöffel (Thüringer Landessternwarte Tautenburg) und Bill Herbst (Wesleyan University Middletown) das Institut.

Zudem veranstaltete das MPIA eine Tagung auf Schloss Ringberg (Stellar Streams in the Local Universe, 20. – 24. Juli) und beteiligte sich intensiv durch Splinter-Meetings und die Organisation an der Jahrestagung

der Astronomischen Gesellschaft (AG) in Kiel (From the first quasars to life-bearing planets: From accretion physics to astrobiology, 14. – 18. September). Das jährliche Treffen des MPIA-Kuratoriums fand 2015 am 1. Dezember statt.

#### Klaus Tschira (1940 – 2015)

Das Max-Planck-Institut für Astronomie (MPIA) trauert um sein langjähriges Kuratoriumsmitglied Dr. h.c. Klaus Tschira, der am 31. März 2015 überraschend verstarb.

Tschira, einer der Gründer der Softwarefirma SAP, hatte sich insbesondere mit der von ihm gegründeten Klaus Tschira Stiftung (KTS) seit langem für die Förderung von Naturwissenschaften, Mathematik und Informatik eingesetzt.

Er war Dank seiner Begeisterung für die Astronomie dem Institut in verschiedenen Projekten über das letzte Jahrzehnt eng verbunden. Insbesondere verdankt das MPIA seinem großzügigen Engagement die Gründung des Hauses der Astronomie auf dem Campus des Instituts, dessen markantes galaxienförmiges Gebäude ein Geschenk der Klaus Tschira Stiftung an die Max-Planck-Gesellschaft ist.

Mit Klaus Tschira verliert nicht nur das MPIA einen leidenschaftlichen Förderer der Naturwissenschaften, der insbesondere auch im Sinne hatte, Wege zu finden, um junge Menschen für die Forschung zu begeistern.



### V.3 Menschen und Ereignisse

## Beruf und Familie / Doppelkarrieren (Dual Career) / Work-Life-Balance

**Wissenschaft bietet die Möglichkeit für anspruchsvolle und erfüllende berufliche Betätigung, die aber auch zur Herausforderung werden kann. Für junge Wissenschaftler stellt sich ab einem bestimmten Karriereabschnitt die Frage nach der Vereinbarkeit von Beruf und Familie. Familienfreundliche Maßnahmen gelten außerdem als wichtige Bausteine, um für mehr Chancengerechtigkeit in der Wissenschaft zu sorgen.**

Eine Karriere in der Forschung erfordert Flexibilität und Mobilität und ist gerade in der Anfangsphase durch im Mehrjahrestakt wechselnde Arbeitsorte gekennzeichnet. Das stellt Paare, bei denen beide Lebenspartner eine wissenschaftliche Karriere anstreben (Doppelkarriere oder *Dual Career*), vor ganz eigene Herausforderungen. Eine familienfreundliche Personalstrategie bedeutet daher auch, für die Lebenspartner neu eingestellter Wissenschaftler die richtigen beruflichen Bedingungen zu schaffen.

Abb. V.3.1: Kindergarten Glückskinder – Innenansicht.



Quelle: Glückskinder

Allgemeiner spielt für ein erfülltes Berufsleben eine wichtige Rolle, dass Arbeit und Freizeit im richtigen Verhältnis zueinander stehen – im englischen als Work-Life-Balance bezeichnet.

Das Max-Planck-Institut für Astronomie engagiert sich seit Jahren intensiv dafür, für seine wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ein familienfreundliches Umfeld zu schaffen – mit Erfolg, der nicht nur von den Betroffenen gewürdigt wird: so wurde das Qualifizierungsprojekt für Auszubildende »Beruf und Familie. Mein Leben« des MPIA im Jahre 2014 mit dem Ausbildungspreis der Max-Planck-Gesellschaft prämiert.

### Familienfreundliches MPIA

- Flexible Gestaltung von Arbeitszeit und Arbeitsort in besonderen Lebensabschnitten (z.B. Kinderbetreuungszeiten, Pflegezeiten, Dual Career-Situativen)
- Belegrechte in Kindertagesstätten für Kinder von 8 Wochen bis 6 Jahren, insgesamt ca. 30 Plätze für Heidelberger MPI
- Kinderbetreuungsraum und Baby-Office
- Kongress-Betreuung
- Angebote Ferienbetreuung über Bündnis für Familie Heidelberg
- Dual-Career-Programm
- Kontakthalteprogramme bei vorübergehendem Austieg aus dem Beruf in besonderen Lebensabschnitten
- Unterstützung von Elternzeit für Väter
- Unterstützung neuer Mitarbeiter durch das International Office bei Wohnungssuche, Suche von geeigneten Schulen und Kinderbetreuungsplätzen
- Vermittlungsservice für Familien über pme Familienservice im Bereich Kinderbetreuung, Seniorenbetreuung und haushaltsnahen Dienstleistungen

### Wechsel bei Beratungs- und Vermittlungsangeboten

Im Interesse der besseren Vereinbarkeit von Familie und Beruf, nicht zuletzt infolge flexibler Arbeitszeiten, sind die Arbeitnehmer auf Betreuungsmöglichkeiten sowie umfassende Beratung und Information zu diesem Thema angewiesen, z. B. die Vermittlung von Tagesmüt-



**Abb. V.3.2:** Kindergarten Glückskinder – Innenansicht.

tern oder Kinderfrauen, Notmüttern bei Krankheit eines Kindes, Betreuung von Kindern oder Älteren, Au-Pair-Personal, privaten Kindergärten und Elterninitiativen, Kinderkrippen, Kindertagesstätten, Ferienprogrammen, Backup-Service (Kinderbetreuung in Ausnahmesituativen), Hotline, Homecare sowie Pflegepersonal zur Altenbetreuung (Eldercare).

Bis Juni 2015 leistete die Firma »Besser Betreut« diesen Service in der Max-Planck-Gesellschaft. Im Juli 2015 gab es einen Wechsel: Nun unterstützt die Firma pme Familienservice GmbH die MPG und ihre Beschäftigten bei Kinderbetreuung und Pflege.

Die pme Familienservice GmbH hat für die MPG-Beschäftigten eine spezielle Onlineseite eingerichtet und verfügt über eine Hotline mit speziell für MPG-Beschäftigte zuständigen Ansprechpartnern. Im Onlineportal steht zudem eine Liste der pme-Standorte bereit, so dass Beschäftigte sich auch direkt mit dem für sie zuständigen Standort in Verbindung setzen können.

### Kinderbetreuung

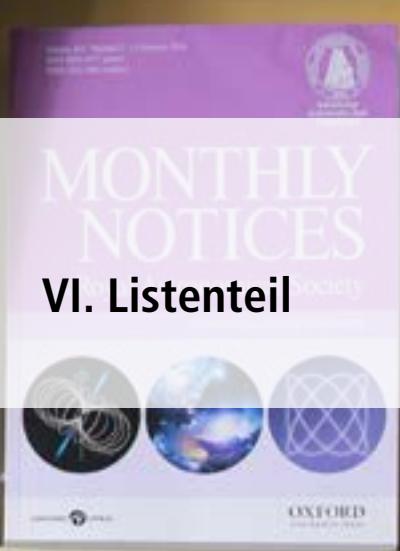
Die Kooperation des MPIA mit der Kinderbetreuungseinrichtung »Glückskinder« wurde verlängert. Somit stehen dem MPIA derzeit Belegrechte in Heidelberger Betreuungseinrichtungen an vier Standorten zur Verfügung:

- Quantenzwerge, Kinderzentren Kunterbunt (MPIK)
- Die Wichtel (Im Neuenheimer Feld)
- Uni-Kinderkrippe (Im Neuenheimer Feld)
- Glückskinder (Heidelberg/Bergheim)

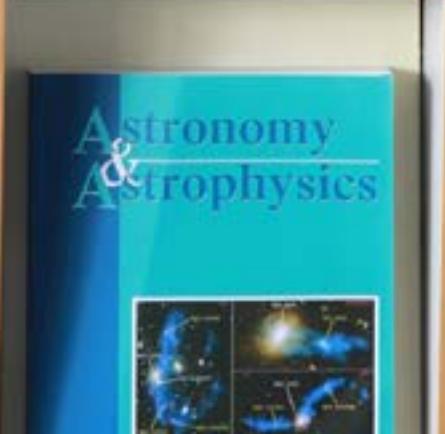
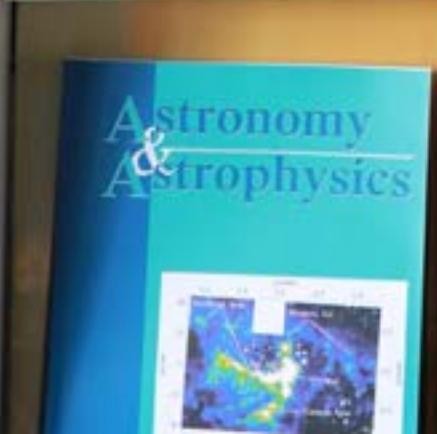
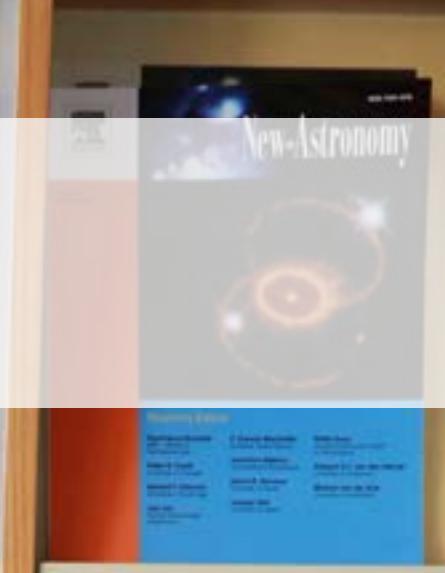
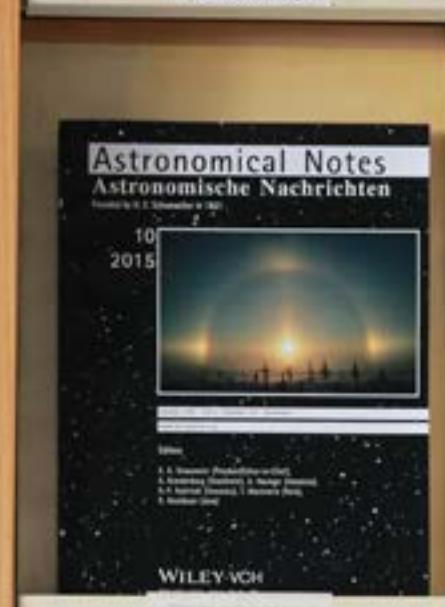
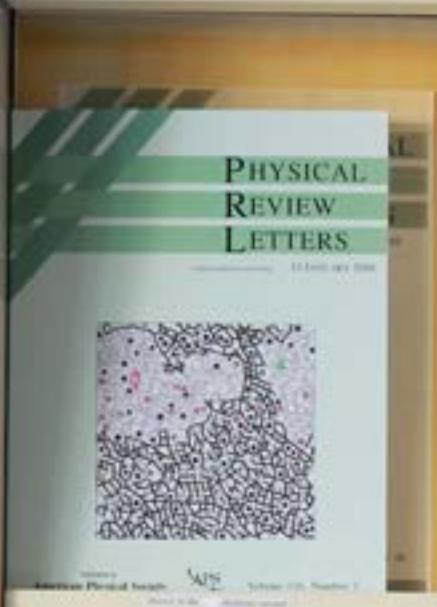
Die Lage bei der Betreuung für Kinder unter drei Jahren hat sich in Heidelberg etwas entspannt. Sowohl der Ausbau der Kinderbetreuung durch die Stadt Heidelberg als auch die Kontinuität beim Angebot von Belegrechten für die Heidelberger MPI wirken sich positiv aus.

Davon profitieren die Beschäftigten am MPIA. Wartezeiten bei Kinderkrippen verkürzten sich. Gerade auch Wissenschaftler mit Familie, die ihre Tätigkeit neu am MPIA aufnehmen, profitieren von dieser positiven Entwicklung. Eine gute Vereinbarkeit von Beruf und privatem Umfeld erleichtert den Newcomern den Start in einen neuen Berufsabschnitt in Forschung und Wissenschaft.

*Ingrid Apfel*



## VI. Listenteil



# VI. Anhang

## VI.1 Mitarbeiter

### Abteilung Planeten- und Sternentstehung

**Direktor:** Thomas Henning

**Infrarot-Weltraumastronomie:** Oliver Krause, Zoltan Balog, Jeroen Bouwman, Örs Hunor Detre, Ulrich Grözinger, Ulrich Klaas, Hendrik Linz, Friedrich Müller, Silvia Scheithauer, Jürgen Schreiber, Amelia Stutz

**Sternentstehung:** Henrik Beuther, Aida Ahmadi, Jorge Abreu, Simon Bähr, Roxana Chira, Bertrand Goldman, Jouni Kainulainen, Joe Mottram, Michael Rugel, Sarah Sadavoy, Yuan Wang, Shiwei Wu

**Scheiben, Exoplaneten:** Thomas Henning, Reinhard Mundt, Roy van Boekel, Esther Buenzli, Simona Ciceri, Carlos Eiroa, Markus Feldt, Malcom Fridlund, Eric Gaidos, Siddarth Hedge, Viki Joergens, Ralf Launhardt, Anne-Lise Maire, Luigi Mancini, Elena Manjavacas, Andre Müller, Dmitry Semenov, Adriana Pohl, Paula Sarkis, Richard Teague, Johan Olofsson, Fei Yan, Liu Yao

**Theorie SP:** Hubertus Klahr, Hans Baehr, Tilman David Birnstiel, Michael Butler, Kai Martin Dittkrist, Aia-rra Lobo Gomez, Natascha Manger, Mykola Malygin, Christoph Mordasini, Gabriel-Dominique Marleau, Maurice Paul Molliere, Andreas Schreiber

**Laborastrophysik:** Cornelia Jäger, Daniele Fulvio, Walter Hagen, Sergy Krasnokutsky, Gael Rouillét

**Adaptive Optik:** Wolfgang Brandner, Xiaolin Dai, Casey Deen, Alexandr Golovin, Stefan Hippler, Zoltan Hubert, Taisiya Kopytova, Matthias Samland, Maria Wöllert

**MPG-Nachwuchsgruppe:** Thomas Robitaille, Francesco Biscani, Christine Koepferl, Esteban Morales

**Deutsches Interferometriezentrum FRINGE:** Thomas Henning, Uwe Graser, Ralf Launhardt, Jörg-Uwe Pott, Roy van Boekel

### Abteilung Galaxien und Kosmologie

**Direktor:** Hans-Walter Rix

**Galaxienentwicklung:** Hans-Walter Rix, Priscilla Chauke, Nina Hernitschek, Jakob Herpich, Laura Inno, Benjamin Laevens, Marie Martig, Michael Maseda, Melissa Ness, Edward Schlaufly, Branimir Sesar, Gregory Stinson, Wilma Trick, Arjen van der Wel, Xiangxiang Xue, Zhitai Zang

**Gaia-Durchmusterung:** Coryn Bailer-Jones, René Andrae, Tri Astraatmaja, Fabo Feng, Morgan Fouesneau, Dae-Won Kim, Sara Rezaeikhoshbakht, Kester Smith

**Interstellares Medium und Quasare:** Fabian Walter, Eduardito Banados Torres, Anahi Caldú Primo, Roberto Decarli, Emanuele Farina, Carl Ferkinhoff, Alexander Hygate, Roger Ianjamasimanana, Maria Kapala, Nico Krieger, Chiara Mazzuchelli, Bram Venemans, Laura Zschaechner

**Hochaufgelöste Astronomie:** Thomas Herbst, Derek Kopon, Rosalie McGurk, Kalyan K. Radhakrishnan

**Astrophysikalische Jets:** Christian Fendt, Dennis Gassmann, Qian Qian, Christos Vourellis

**Struktur in aktiven Galaxienkernen:** Klaus Meisenheimer, Bernhard Dorner

**Extragalaktische Sternentstehung:** Eva Schinnerer, Emer Brady, Kathryn Kreckel, Sharon Meidt, Mark Norris, Miguel Querejeta, Kazimierz Sliwa, Neven Tomicic

**Entwicklung von Galaxien und ihren Schwarzen Löchern (Emmy-Noether-Gruppe) und EUCLID-Projekt-Gruppe:** Knud Jahnke, Felix Hormuth, Matt Mechtley, Gregor Seidel, Robert Singh, Stefanie Wachter

**Inter- und Zirkumgalaktisches Medium (Sofja-Kovalskaja-Gruppe):** Joe Hennawi, Fabrizio Arrigoni Battaia, Frederic Davies, Anna Christina Eilers, Cristina Javiera Garcia, Hector Hiss, Ilya Khrykin, Girish Kulkarni, Khee-Gan Lee, Jose Onorbe, Tobias Schmidt, Daniele Sorini, Jonathan Stern, Gabor Worseck, Michael Walther, Heilker Theiss

**Struktur und Dynamik von Galaxien:** Glenn van de Ven, Paolo Bianchi, Alina Boecker, Remco van den Bosch, Alex Büdenbender, Chen Fanyao, Ryan Leaman, Ying Chi Leung, Sophia Milanov, Anna Sippel, Athanasia Tstasi, Akin Yildirim, Ling Zhu, Yulong Zhuang

**Galaxienentstehung im Dunklen Universum (unabhängige Max-Planck-Forschungsgruppe):** Andrea Macciò, Tobias Buck, Salvatore Cielo, Aaron Dutton, Nikolaos Fanidakis, Jonas Frings, Thales Gutcke, Aura Obreja, Camilla Penzo, Liang Wang

**Schwarze Löcher und Akkretionsmechanismen / Instrumentierung:** Jörg-Uwe Pott, Santiago J. Barboza, Michael Boehm, Johannes Esser, Martin Glück, Gabriele Rodeghiero, Joel Sanchez, Kirsten Schnuelle

**Stellare Spektroskopie und Sternpopulationen (Max-Planck-Gruppe):** Maria Bergemann, Joachim Bestenlehner, Steffen Brinkmann, Mikhail Kovale, Valeriy Vasilyev

**Galaxienzentren (Max-Planck-Gruppe):** Nadine Neumayer, Mayte C. Alfaro Cuello, Anja Feldmeier-Krause, Iskren Y. Georgiev, Nikolay Kacharov, Alessandra Mastrobuono-Battisti, Arianna Picotti

**Stellare Physik und die Entwicklung chemischer Elemente (Sofja-Kovalevskaja-Gruppe):** Karin Lind, Sven Buder

#### Weitere Mitarbeiter

**Wissenschaftlicher Koordinator:** Klaus Jäger

**MPIA-Observatorien:** Roland Gredel

**Öffentlichkeitsarbeit:** Markus Pössel (Leitung), Klaus Jäger, Axel M. Quetz

**Haus der Astronomie:** Markus Pössel (Leitung), Sigrid Brümmer-Wissler, Natalie Fischer, Olaf Fischer, Carolin Liefke, Markus Pössel, Cecilia Scorza de Appl, Elena Sellentin; *Praktikanten und studentische Hilfskräfte:* Sophia Appl (15.8. bis 31.10.), Heiko Depping (ab 1.11.), Jan Eberhardt (ab 1.6.), Fabian Gebhart (ab 15.9.), Sophia Haude, Simon Kopf (1.5. bis 14.8.), Sebastian Neu (bis 31.8.), Benjamin Nissel (1.6. bis 30.6.), Katja Reichert, Valentina Rohnacher (1.11. bis 30.11.), Elisabeth Zepf (1.11. bis 30.11.)

**Technische Abteilungen:** Martin Kürster (Leitung)

– **Konstruktion:** Ralf-Rainer Rohloff (Leitung), Harald Baumeister (Stellvertreter), Monica Ebert, Armin Huber, Norbert Münch; *Azubis, Praktikanten, Stud. Hilfskräfte:* Jochen Müller (17.8. bis 6.11.)

– **Feinwerktechnik:** Armin Böhm (Leitung), Stefan Meister (Stellvertreter), Mario Heitz, Tobias Maurer, Nico Mayer (28.2. bis 31.8.), Klaus Meixner, Alexander Specht (28.2. bis 31.8.), Tobias Stadler; *Azubis, Praktikanten, studentische Hilfskräfte:* Nico Mayer (bis 27.2.), Francisco Ortiz, Lukas Reichert, Leon Schädel (ab 1.9.), Matthias Schend, Christoph Schwind, Felix Sennhenn, Alexander Specht (bis 27.2.) Larissa Stadter (ab 1.9.)

– **Elektronik:** Lars Mohr (Leitung), José Ramos (Stellvertreter); Tobias Adler, Mathias Alter, Heiko Ehret, Ralf Klein, Michael Lehmitz, Ulrich Mall, Achim Ridinger, Frank Wrhel; *Azubis, Praktikanten, studentische Hilfskräfte:* Peter Pflanzl (bis 28.2.), Alahmed Qutaish (1.3. bis 31.8.), Mohammed Sabber (1.3. bis 31.8.)

– **Instrumentierungssoftware/Projekt-EDV:** Florian Briegel (Leitung), Udo Neumann (Stellvertreter), Jürgen Berwein, José Borelli, Frank Kittmann, Martin Kulas, Richard Mathar, Alexey Pavlov, Clemens Storz

– **Instrumentierung und Projektabwicklung:** Peter Bizenberger (Leitung), Thomas Bertram (Stellvertreter), Wolfgang Gässler, Uwe Graser (bis 28.2.), Dieter Hermann, Ralf Hofferbert, Werner Laun, Markus Mellein, Javier Moreno-Ventas, Eric Müller, Vianak Naranjo (in Elternzeit ab 22.4.), Johana Panduro, Diethard Peter; *Azubis, Praktikanten, studentische Hilfskräfte:* Jonathan Slawitzky (bis 31.1.)

#### Administrativ-Technische Service-Abteilungen:

– **Bibliothek:** Monika Dueck

– **EDV-Gruppe:** Donald Hoard (Leitung), Björn Binroth (Stellvertreter), Ulrich Hiller, Andreas Hummelbrunner, Marco Piroth, Frank Richter

– **Fotolabor:** Doris Anders

– **Graphikabteilung:** Axel M. Quetz (Leitung), Karin Meißner, Carmen Müllerthann (in Elternzeit ab 1.3.), Judith Neidel (ab 1.2.)

– **Sekretariate:** Sandra Berner (bis 30.9.), Marina Gilke (ab 1.11.), Carola Jordan, Susanne Koltes-Al-Zoubi, Sabine Otto, Daniela Scheerer, Heide Seifert, Huong Witte-Nguy (in Elternzeit bis 30.11.)

– **Technischer Dienst und Kantine:** Frank Witzel (Leitung), Markus Nauß (Stellvertreter), Hartmut Behnke, Sascha Douffet, Gabriele Drescher, Marion Jung, Pascal Krämer, Frank Lang, Britta Witzel, Elke Zimmermann

- **Verwaltung:** Mathias Voss (Leitung), Ingrid Apfel (Stellvertreterin), Danuta Hoffmann, Arnim Wolf
- Einkauf:* Arnim Wolf, Doris Anders
- Finanzen:* Danuta Hoffmann, Doris Anders, Heidi Enkler-Scharpegge, Marc-Oliver Lechner, Manuela Reifke, Christine Zähringer
- Personal:* Ingrid Apfel, Jana Baier, Christiane Hölscher, Silke Hofmann (bis 31.05.2015), Lilo Schleich, Tina Wagner

*Empfang:* Ina Beckmann, Madeline Dehen  
*Auszubildende/Studenten:* Henock Lebasse, Anica Till

**Für das Institut tätige ehemalige Mitarbeiter:**  
 Christoph Leinert, Dietrich Lemke

## VI.2 Gästeliste

**Wissenschaftliche Gäste:** Sebastian Thielen, Univ. Heidelberg, 1. Nov. – 30. Apr.; Steffen Brinkmann, (Wagner gefragt), 1. Feb. – 30. Apr.; Carlos Escudero, API La Plata, 22. Feb. – 6. März.; Nichola Boardman, Univ. St. Andrews, 28. Feb. – 26. Apr.; Simon Diaz Garcia, Univ. Oulu, 30. März – 30. Apr.; Nikolai Voshchinnikov, St. Petersburg, 2. Apr. – 23. Apr.; Giuseppe Raia, Univ. Naples, 13. Apr. – 10. Juli; Samuel Earp, Univ Lancashire, 27. Apr. – 17. Mai; André Müller, ESO, 27. Apr. – 22. Mai; Anna Sippel, Swinburne Univ., 10. Mai – 5. Juni; Yuan-Sen Ting, Harvard Univ., 24. Mai – 20. Aug.; Alberto Bolatto, Univ. Maryland, 1. Juni – 31. Aug.; Kevin Theophile, Univ. Paris, 1. Juni – 31. Aug.; Ci Xue, Univ. Xiamen, 1. Juni – 31. Aug.; Gerard Zins, ESO, 2. – 19. Juni; Greg Rudnick, Kansas Univ., 3. Juni – 7. Juli; Sladjana Knezevic, Weizman Inst., 7. – 20. Juni; Brent Groves, ANU, 7. – 27. Juni; Steve Beckwith, Univ. Berkeley, 8. – 21. Juni; Iraj Eshghi, NYU, 9. Juni – 25. Aug.; Rachel Bezanson, Univ. Arizona, 19. Juni – 4. Juli; Tyler Desjardins, Kansas Univ., 20. Juni – 4. Juli; Alexia Lewis, Univ. Washington, 8. Juli – 10. Aug.; Dan Weisz, Univ. Washington, 8. Juli – 10. Aug.; David Hogg, NYU, 11. Juli – 31. Aug.; Adrian Price-Wheelan, Columbia Univ.,

24. Juli – 14. Aug.; Julianne Dalcanton, Univ. Washington, 26. Juli – 23. Aug.; Steffi Yen, Univ. Maryland, 1. – 15. Aug.; Emily Wisnioski, MPE, 2. – 15. Aug.; Trevor Mendel, MPE, 2. – 15. Aug.; Michael Smith, Kent Space School, 27. Aug. – 14. Sep.; Trifon Trifonov, Univ. Hong Kong, 12. – 30. Sep.; Yancy Shirley, Steward Obs., 13. Sep. – 3. Okt.; Olga Zakhozhay, NAS Ukraine, 15. – 29. Sep.; Paula Sarkis, Univ. Beirut, 15. Sep. – 15. Nov.; Mose Giordano, Univ. Salento, 21. Sep. – 21. Dez.; Somayeh Sheiknezami, School of Astronomy, Teheran, 3. Okt. – 21. Dez.; Vitaly Akimkin, INASAN, 4. Okt. – 1. Nov.; René Plume, Univ. Calgary, 9. Okt. – 28. Nov.; Kathrin Passig, DAI Heidelberg, 29. Okt. – 20. Nov.; Masafusa 15/16 Onoue, NAO, 17. Nov. – 29. Jan.; Christine Köpferl, Univ. St. Andrews, 26. Nov. – 18. Dez.; Laurent Pallanca, ESO Paranal, 30. Nov. – 18. Dez.; Laurent Pallanca, ESO Paranal, 30. Nov. – 18. Dez.; Eduardo Banados, Carnegie Obs., 10. Dez. – 10. Jan. 2016

Durch die regelmäßig stattfindenden internationalen Treffen und Veranstaltungen am MPIA hielten sich zahlreiche weitere Gäste kurzfristig am Institut auf, die hier nicht im einzelnen aufgeführt sind.

## VI.3 Tagungen, Vorträge

### Veranstaltete Tagungen am MPIA:

- THOR team meeting, HdA, 2.–3. Feb. (Henrik Beuther)
- LINC-NIRVANA Consortium Meeting, 19. März (Martin Kürster)
- 3<sup>rd</sup> DAGAL Annual Meeting, 23.–27. März (Athanasia Tsatsi)
- Konferenz »Frontiers of Stellar Spectroscopy in the Local Group and Beyond«, HdA, 27.–30. Apr. (Maria Bergemann, Joachim Bestenlehner, Susanne Koltes-Al-Zoubi, Markus Pössel, Sigrid Brügger-Wissler, Valeriy Vasilyev)
- LINC-NIRVANA Preliminary Acceptance Europe, 4.–7. Mai (Martin Kürster)
- FIR Fine Structure Line Workshop, 8.–11. Juni, HdA (Roberto Decarli, Carl Ferkinhoff, Maria Kapala, Laura Zschaechner)

Horizontal Project Management ... and how to avoid it, 25. Juni (Martin Kürster)

MPIA summer conference »A 3D View on Galaxy Evolution«, Heidelberg, 6.–10. Juli (Kathryn Kreckel, Marie Martig, Miguel Querejeta, Eva Schinnerer, Neven Tomicic, Glenn van de Ven)

International Summer Science School Heidelberg–HdA/ MPIA, 18. Juli–15. Aug. (Thomas K. Henning, Hans-Walter Rix)

MATISSE science group meeting 21.–22. Sep. (Roy van Boekel)

IMPRS Summer School, Dynamics of the Interstellar Medium and Star Formation, Heidelberg, 21.–25. Sep. (Christian Fendt)

PSF retreat, 26.–28. Okt. (Roy van Boekel)

CARMENES Science Meeting MPIA and LSW, 19. Nov.  
(Martin Kürster)  
Wissenschaftliches Festkolloquium für Reinhardt Mundt, 10. Dez. (Klaus Jäger)

#### **Andere veranstaltete Tagungen:**

ARGOS SX Wavefront Sensor shipping review, Florenz, Italien, 4.–5. Jan. (Wolfgang Gässler)  
ALMA Cycle 3 astrochemistry meeting, MPE Garching, 12.–15. Jan. (Dmitry Semenov)  
4MOST Electronic handover meeting, Universitätssternwarte München, 19.–20. Jan. (Wolfgang Gässler)  
ARGOS Consortium meeting, Sterzing, 21.–23. Jan. (Wolfgang Gässler)  
METIS science group meeting, ETH Zürich, 25.–26. Feb. (Roy van Boekel)  
MRI confronts observations, Schloss Ringberg, 13.–17. Apr. (Hubert Klahr)  
Python in Astronomy, Lorentz Center, Leiden, Niederlande, 20.–24. Apr. (Thomas Robitaille)  
Heidelberg-Harvard Meeting for Star Formation 2015, Cambridge, USA, 18.–21. Mai (Henrik Beuther)  
1<sup>st</sup> Advanced School on Exoplanetary Science, Vietri sul Mare, Italien, 25.–29. Mai (Luigi Mancini)  
The Physics of Evolved Stars – a conference dedicated to the memory of Olivier Chesneau, Nizza, Frankreich, 8.–12. Juni (Christoph Leinert)  
The Physics behind the Radio-FIR Correlation, EWASS session, Teneriffa, Spanien, 22.–26. Juni (Eva Schinnerer)  
European Interferometry Initiative (EII), Science Council meeting, EWASS 2015, Teneriffa, Spanien, 26. Juni (Jörg-Uwe Pott)  
Workshop »Stellar Streams in the Local Universe«, Schloss Ringberg, 20.–24. Juli (Melissa Ness, Branimir Sesar)  
Stellar Streams in the Local Universe; Ringberg Castle, 20.–24. Juli (Branimir Sera, Melissa Ness, Hans-Walter Rix, Wilma Trick, Nicolas Martin)  
Japanese German Frontiers of Science meeting, Physics/Astronomy Session, Kyoto, Japan, 3.–6. Sep. (Knud Jahnke)  
8<sup>th</sup> VLTI Summer School, »High angular resolution in astrophysics: optical interferometry from theory to observations«, Universität Köln, 6.–13. Sep. (Jörg-Uwe Pott)  
Tagung der Astronomischen Gesellschaft »From the first quasars to life-bearing planets: From accretion physics to astrobiology«, Universität Kiel, 14.–18. Sep. (Klaus Jäger)  
Gaia DPAC CU8 plenary meeting, Uppsala, Schweden, 15.–17. Sep. (Coryn Bailer-Jones)  
AG Splinter Meeting: Science with the LBT, AG-Meeting, Universität Kiel, 16. Sep. (Roland Gredel)  
Meeting »Public Outreach in der Astronomie«, Universität Kiel, 16. Sep. (Klaus Jäger, Markus Pössel)

IMPRS Summer School, Dynamics of the Interstellar Medium and Star Formation, Max-Planck-Haus, Heidelberg, 21.–25. Sep. (Christian Fendt)

ARGOS Consortium meeting, Bozen, Italien, 22.–23. Sep. (Wolfgang Gässler)

From Clouds to Protoplanetary Disks: The Astrochemical Link, Harnack Haus, Berlin, 3.–5. Okt. (Dmitry Semenov)

Galactic nuclei at high resolution in many dimensions, Alajar, Spanien, 3.–11. Okt. (Nadine Neumayer)

Observational Evidence for Accretion on Galaxies, Charlottesville, VA, USA, 8.–10. Okt. (Fabian Walter)

International PhD School »F. Lucchin«: Science and Technology with E-ELT (XIV Cycle II Course), Erice, Sizilien, Italien, 8.–20. Okt. (Laura Inno)

Organisation des PSF Retreats, Tagungsheim Schönenberg, Ellwangen, 26.–28. Okt. (Silvia Scheithauer)

METIS consortium meeting, Leiden, Niederlande, 28.–30. Okt. (Roy van Boekel)

MPIA-External Retreat, Bad Dürkheim, 9.–10. Nov. (Klaus Jäger, Thomas Henning, Hans-Walter Rix, Carola Jordan, Sandra Berner, Marina Gilke)

Gaia DPAC consortium Meeting, Splinter session: Cross Unit Validation and Instrument features, Leiden, Niederlande, 16.–20. Nov. (Morgan Fouesneau)

MATISSE workshop, Nizza, Frankreich, 18.–20. Dez. (Roy van Boekel)

#### **Eingeladene Vorträge, Kolloquien:**

Jorge Abreu-Vicente: Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), La Laguna, Teneriffa, Spanien, 17. Dez. (Kolloquium)

Tri L. Astraatmadja: »Gaia: Exploring the Milky Way«, Southeast Asian Young Astronomers Collaboration (SEAYAC) 2015 Meeting, Krabi, Thailand, 3. Dez. (Vortrag)

Coryn Bailer-Jones: »Frontiers of Stellar-Spektroskopie in der Lokalen Gruppe und darüber hinaus«, MPIA, Heidelberg, 27.–30. Apr. (Vortrag); »Measuring the Universe with Gaia«, Mainz University, Juli; »Measuring the Cosmos with Gaia«, National Astronomical Observatories of China, Beijing, Okt.; »Astroimpacts: Astronomical impacts on the Earth«, Lund University, Dez.

Maria Bergemann: »Chemical abundance analysis in the era of large surveys«, The Milky Way and its Stars, Santa Barbara, USA, 2.–6. Feb. (Vortrag); »Stellar and Galactic Archaeology with Bayesian Methods«, Bayes Forum, Max-Planck-Institut für Astrophysik, Garching, 24. Juli (Seminar); »High-precision stellar spectroscopy and fundamental parameters of stars«, SFB-Seminar, Heidelberg, 1. Juli (Seminar); »Stellar parameters at high precision«, Jahrestagung der AG, Universität Kiel, 14.–18. Sep., Kiel (Plenarvortrag); »Milky Way Disk and Bulge High-Resolution Survey«, 4MOST All Hands Meeting, Cambridge, UK, 28. Sep.–2. Okt. (Vortrag); »Chemical abundances of the

- Sun and solar-like stars», Solarnet III / HELAS VII / SpaceInn Conference, Freiburg, 31. Aug.–4. Sep. (Vortrag)
- Henrik Beuther: Colloquium at University of Geneva, Jan. (Kolloquium); ESO, Apr. (Kolloquium); Soul of high-mass star formation, Puerto Varas, Chile, 15.–20. Mai (Vortrag); Heidelberg-Harvard Meeting for Star Formation, 18.–21. Mai (Vortrag); Conditions and impact of star formation, Zermatt/Schweiz, 7.–11. Sep. (Vortrag)
- Til Birnstiel: From clouds to protoplanetary disks: the astrochemical link Berlin, Harneckhaus, 4.–8. Okt. (Vortrag); Observatoire de Bordeaux Bordeaux, Frankreich, 23. Nov. (Kolloquium)
- Venemans Bram: First stars, galaxies, and black holes: Now and Then, Groningen, The Netherlands, 15.–19. Juni (Vortrag)
- Roberto Decarli: ALMA Community Days, Bonn, 25.–26. März (Vortrag)
- Aaron Dutton: The Most Massive Galaxies and their Precursors, Sydney, Australien, Feb. (Vortrag)
- Emanuele Paolo Farina: Instituto de Fisica y Astronomia, Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile, 14. Juli (Kolloquium); Exploring the high- $z$  Universe with Pan-STARRS1 or: How I Learned to Stop Worrying and Love Quasars (Vortrag)
- Christian Fendt: How to make astrophysical jets, Main Colloquium, Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn, 6. März (Kolloquium); How to make astrophysical jets?, Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam, Potsdam, 25. Juni (Kolloquium)
- Morgan Fouesneau: Gaia Astrophysical parameter pipeline Workshop: Spectral energy fitting, Rockport, USA, 18.–21. Okt. (Vortrag); While waiting for Gaia data release 1, Strasbourg observatory, Frankreich, 12. Nov. (Kolloquium)
- Roland Gredel:  $C_{60}$  as a probe for astrophysical environments, Observatorio Nacional Rio de Janeiro, 27. Okt. (Kolloquium)
- Thomas K. Henning: Colloquium Talk – University Kassel, 12. Feb.; JWST/MIRI Meeting, Madrid, Spanien, 17.–19. Feb. (Vortrag); Workshop »Second Workshop on Experimental Laboratory Astrophysics«, Hawaii, USA, 21. Feb. – 3. März (Vortrag), Konferenz »The Soul of High-mass Star Formation«, Puerto Varas, Chile, 16.–20. März (Vortrag); Workshop »Third Chinese-German Workshop on Star and Planet Formation«, Nanjing, China, 22.–23. März (Vortrag); Konferenz »The Magneto-Rotational Instability confronts Observations«: 13.–17 Apr., Schloss Ringberg (Vortrag); The Magneto-Rotational Instability Confronts Observations, 22.–23. Apr. (Vortrag); Konferenz »Frontiers of Stellar Spectroscopy in the Local Group and Beyond«, HdA, 27.–30. Apr. (Vortrag); Second Harvard-Heidelberg Star Formation Meeting, Boston, USA, 18.–21. Mai (Vortrag); Konferenz »FIR Fine Structure Lines Workshop«, HdA, 8.–11. Juni (Vortrag); EWASS Konferenz »European Week of Astronomy and Space Science«, Teneriffa, Spanien, 21.–23. Juni (Vortrag); A 3D View on Galaxy Evolution, MPIA summer conference, Heidelberg, 6.–10. Juli (Vortrag); MPI for Biochemistry, Martinsried, 30. Juli (Kolloquium); Goldschmidt Konferenz, Prag, Tschechien, 16.–18. Aug. (Vortrag); Konferenz »From Interstellar Ices to PAHs«, Annapolis, Maryland, USA, 13.–17. Sep. (Vortrag); Workshop »Big Data in Astronomy«, Tel Aviv, Israel, 14.–17. Dez. (Vortrag)
- Nina Hernitschek: RR Lyrae 2015 Konferenz: High-precision studies of RR Lyrae stars from dynamical phenomena to mapping the galactic structure, Visegrad, Ungarn, 19.–22. Okt. (Vortrag)
- Laura Inno: International PhD School »F. Lucchin«: Science and Technology with E-ELT (XIV Cycle II Course), Light-curve templates in the large-surveys era, Erice, Sizilien, Italien, 8.–20. Okt. (Vortrag)
- Cornelia Jäger: Current expectations concerning the interstellar PAH population, International Symposium on Polycyclic Aromatic Compounds, Session: Interstellar PAHs, Bordeaux, Frankreich, 13.–17. Sep. (Vortrag); Dust formation and processing in the ISM, International Workshop on Silicates in Space, Kirchhoff-Institut für Physik, Heidelberg, 28. Sep.–1. Okt.; The Characteristics of Dust in Molecular Clouds; Internationale Konferenz, From Clouds to Protoplanetary Disks: The Astrochemical Link, Berlin, 5.–8. Okt. (Vortrag)
- Knud Jahnke: Königstuhl Colloquium, MPIA, Heidelberg, 23. Jan.; AstroTechTalk, MPIA, Heidelberg, 26. Juni (Vortrag)
- Viki Joergens: »Disks around extremely low-mass stars and brown dwarfs«, Chemical diagnostics of star and planet formation with Cycle 3 ALMA, Konferenz, Max-Planck Institut für Extraterrestrische Physik, Garching, 13.–15. Jan. (Vortrag); »The origin of free-floating planets and brown dwarfs« Physics Colloquium of the University of Regensburg, 1. Juni (Kolloquium)
- Nikolay Kacharov: Instituto de Astrofísica de Canarias, Teneriffa, Spanien, 10. Juni, (Kolloquium)
- Jouni Kainulainen: IAU General Assembly/Division H meeting, Honolulu, USA, 10. Aug. (Vortrag)
- Hubert Klahr: Turbulence in Circumstellar Disks (Vortrag); Konferenz: Transition disks and planet formation: Leiden, 2.–6. März (Vortrag); Konferenz: MRI confronts observations, Ringberg, 13.–17. Apr. (Vortrag); Konferenz: Planetary Systems: a synergistic view, Vietnam, 19.–25. Juli (Vortrag);
- Oliver Krause: Development status and science opportunities with MIRI, the mid-IR instrument for JWST; 6<sup>th</sup> Zermatt ISM Symposium, Zermatt, 9. Sep. (Vortrag)
- Kathryn Kreckel: Kapteyn Astronomical Institute, Groningen, Jan. (Kolloquium); The Ohio State University, Columbus, Feb. (Kolloquium); NOAO, Tucson, Feb. (Vortrag); University of Illinois, Urbana–

- Champaign, Feb. (Kolloquium); A 3D View on Galaxy Evolution, MPIA, Heidelberg, Juli (Vortrag)
- Ryan Leaman: Joint Institute for Nuclear Theory GNASH Workshop, Victoria, Canada, 27. Mai (Vortrag); Tuorla Observatory, Turku Finland, 17. Nov. (Kolloquium); AIP/Leibniz-Institut für Astrophysik, Potsdam, 28. Nov. (Seminarvortrag)
- Dietrich Lemke: Verbogene Botschaften im Sonnenlicht, Planetarium Mannheim, 19. März; Erforschung des kalten Universums mit Infrarot-Weltraum-Observatorien, Physikalisches Kolloquium Universität Marburg, 2. Juli; Das unsichtbare Universum – Forschung mit Weltraumteleskopen, Bundesweite Lehrerfortbildung, Universität Jena, 13. Juli; Verbogene Botschaften im Sonnenlicht, Bundesweite Lehrerfortbildung, Universität Jena, 14. Juli; Das unsichtbare Universum – Forschung mit Weltraumteleskopen, Olbers-Gesellschaft Bremen, 10. Nov.; Das unsichtbare Universum – Forschung mit Weltraumteleskopen, Sternfreunde Nordenham, 11. Nov.; Weltraumteleskope – Entdeckungen im unsichtbaren Universum, Haus der Astronomie, 4. Dez.
- Karin Lind: The accuracy of stellar metallicities, Swedish days of astronomy, Uppsala University, Sweden, 24. Okt. (Vortrag); How much iron is in our stars? Heidelberg Joint Astronomy Colloquium, Heidelberg, 24. Nov. (Kolloquium)
- Hendrik Linz: Chemical diagnostics of star and planet formation with Cycle 3 ALMA, at MPE Garching, 13.–15. Jan. (Vortrag)
- Luigi Mancini: Networking Qatar Exoplanet Research Workshop: Photometric follow-ups observations of transiting planets, Qatar National Convention Centre, Doha, Katar, 2.–4. März (Vortrag); 7<sup>th</sup> GAPS Progress Meeting: The KOI-372 planetary system, Catania Astrophysical Observatory, Catania, Italien, 4.–6. Nov. (Vortrag); Exo-planetary atmospheres: models and laboratory analogues International Focus Workshop: Transmission photometry to probe the atmosphere of transiting exoplanets, Osservatorio Polifunzionale del Chianti, San Donato in Poggio, Firenze, Italien, 15.–17. Sep. (Vortrag)
- Marie Martig: Modeling Milky Way-type galaxies in the Gaia era, Nizza, Frankreich, 17.–18. Dez. (Vortrag)
- Nicolas Martin: Stellar Streams Ringberg 2015, Schloss Ringberg, 20.–24. Juli (Vortrag); Mauna Kea Spectroscopic Explorer Science Team Meeting, Kona, USA, 3.–5. Aug. (Vortrag); ESO, Garching, 19. Feb. (Kolloquium); Observatoire de Paris-Meudon, Frankreich, 12. Juni, Sep. (Kolloquium); University of Surrey, UK, 18. Juni, Sep. (Kolloquium)
- Sharon E. Meidt: A 3D View on Galaxy Evolution: from Statistics to Physics, Heidelberg, Juli (Vortrag); Bonn Galaxy Workshop, Apr. (Review-Vortrag); Dissecting Galaxies Near and Far, ESO, Santiago, Chile, März (Vortrag); Kapteyn Institute, University of Groningen, Jan. (Kolloquium)
- Melissa Ness: MIAPP: The New Milky Way, Garching, Mai (Vortrag); Observatory of Strasbourg, Frankreich, Apr. (Kolloquium); Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Garching, Mai (Seminarvortrag)
- Nadine Neumayer: Nuclear star clusters – in the Milky Way and nearby galaxies, ARI, Heidelberg, 15. Dez. (Vortrag); Aspen Konferenz: Black Holes in Dense Star Clusters, Black holes in Nuclear Star Clusters, Aspen Center for Physics, Aspen, Colorado, USA, 17.–22. Jan. (Vortrag); Oxford workshop: Supermassive black holes, Nuclear star clusters and black holes, Wadham College, Oxford, UK, 16.–19. März (Vortrag); DAGAL meeting at MPIA, The build-up of galactic nuclei, 26. März (Vortrag); IAU General Assembly, IAUS316: Formation, Evolution, and Survival of Massive Star Clusters, Nuclear Star Clusters, Honolulu, Hawaii, USA, 11.–14. Aug. (Vortrag); Nuclear Star Clusters and Black Holes, AG Tagung, Universität Kiel, 16. Sep. (Vortrag); Alajar workshop: Galactic nuclei at high resolution in many dimensions, Observational constraints on central black holes at the lowest detectable masses, Alajar, Spanien, 3.–11. Okt. (Vortrag)
- Jose Onorbe: Constraining high redshift early heating with first independent measurements of the IGM pressure smoothing, Reionization: A Multiwavelength Approach. Centre for Extragalactic Theory, Kapstadt, Südafrika, Juni (Vortrag); Constraining high redshift early heating by measuring the IGM Jeans filtering scale, The Epoch of Reionization. Paralia Katerini, Griechenland, Mai (Vortrag); Galaxies on FIRE (Feedback in Realistic Environments): The Role of Stellar Feedback in Dwarf Galaxy Formation, University of Valencia, Spanien., Mai (Kolloquium); Characterization of the IGM Jeans Scale and its measurement Using Quasar Pairs, Institut de Ciencies del Cosmos. Barcelona, Spanien, Feb. (Kolloquium)
- Hans-Walter Rix: AAS & Apogee Collaboration Meeting, »What Gaia will do to enhance spectroscopic surveys?«, Seattle, USA, 8.–11. Jan. (Vortrag); KITP-Workshop, »Why map the Milky Way?«; St. Barbara, CA, USA, 31. Jan.–13. Feb. (Vortrag); Physics Colloquium, »What galaxies remember about their pre-history?«, University of St. Barbara, CA, USA, 1.–13. Feb. (Vortrag); Colloquium, »How the Milky Way disk was built up?«, University of Lausanne, CH, 2.–3. März (Vortrag); ROE Colloquium, »How the Milky Way disk was built up?«, University of Edinburgh, UK, 14.–16. Apr. (Vortrag); Konferenz »Frontiers of Stellar Spectroscopy in the Local Group and Beyond«, HdA, 27.–30. Apr., NIRSpec IST Meeting, »Galaxy Assembly with JWST«, University of Oxford, Oxford, UK, 9.–10. Juni (Vortrag); Conference »FIR Fine Structure Lines Workshop«, HdA, 8.–11. Juni (Vortrag); Annual MPIA Summer Conference, »A 3D View on Galaxy Evolution: from Statistics to Physics«, MPIA, 6.–10. Juli (Vortrag); Zwicky Workshop, »What do we need to learn about the cosmic star formation history?«,

- ETH, Braunwald, Schweiz, 31. Aug.–4. Sep. (Vortrag); ESO Workshop »Rainbow on the Southern Sky«, »Why and how to map the galaxy with spectral surveys«, MPI Garching, 5.–7. Okt. (Vortrag); Workshop »Big Data in Astronomy«, »How to get the best information out of stellar spectra?«, Tel Aviv, Israel, 14.–17. Dez. (Vortrag)
- Gael Rouillé, Optical absorption spectroscopy on cold, isolated molecules, Seminar zur Oberflächenforschung, Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Bonn, 16. Jan. (Kolloquium)
- Sarah Sadavoy: Western University, London, Kanada, 8. Jan. (Kolloquium); Canadian Astronomical Society meeting, Hamilton, Kanada, 25. Mai (Vortrag); Boston University, Boston USA, 22. Sep. (Kolloquium)
- Eva Schinnerer: IAU GA Division J meeting, Hawaii, USA, 10. Aug. (Vortrag); ASTRON, Dwingeloo, Niederlande, 7. Apr. (Kolloquium)
- Eddie Schlaflay: European Week of Astronomy and Space Sciences, Teneriffa, Spanien, 25. Juni (Vortrag); Orion Unplugged, Wien, Österreich, 1. Juli (Vortrag); Astronomical Observatory of Strasbourg, Straßburg, 30. Okt. (Kolloquium)
- Dmitry A. Semenov: Surface chemistry and chemo-dynamical evolution of protoplanetary disks, ALMA Cycle 3 astrochemistry meeting, MPE, Garching, 12.–15. Jan. (Vortrag); Legacy of Herschel: what we have learned about protoplanetary disks, From Herschel to ALMA, Zakopany, Polen, 12.–15. Mai (Vortrag); Delivery of organics and water on Earth: an astrochemical study, 2<sup>nd</sup> Harvard-Heidelberg Star Formation meeting, Boston, USA, 18.–20. Mai (Vortrag); WG2: »icy grain chemistry« I. Observational and theoretical perspectives, COST Action 1401 Kick-Off meeting, Prag, Tschechien, 26.–29. Mai (Vortrag); Molecules as probes of physics of the ISM and protoplanetary disks, Academia of Sinica, Institute of Astronomy and Astrophysics, Taipeh, Taiwan, ROC, 18. Nov. (Kolloquium)
- Branimir Sesar: Radboud University, Nijmegen, 12. Mai (Kolloquium); RR Lyrae 2015, Visegrad, Ungarn, 22. Okt. (Vortrag)
- Daniele Sorini: »Predicting the Lyman-alpha Forest from Collisionless Simulations«, Imperial College London, UK, 17. Juli (Vortrag)
- Juergen Steinacker: Silicates in Space, Kirchhoff-Institut für Physik, Heidelberg, 28. Sep. (Vortrag)
- Jonathan Stern: University of California at Santa Cruz, Santa Cruz, CA, USA, 3. März (Vortrag); University of California at Irvine, Irvine, CA, USA, 10. März (Vortrag)
- Gregory Stinson: Konferenz Cosmo Sims: from galaxies to large scales, Sesto, Italien, 1. Juli (Vortrag); UNAM Mexico City, Mexiko, 3. Feb. (Kolloquium); Racah Institute at The Hebrew University, Jerusalem, Israel, 24. Feb. (Kolloquium); University of Surrey, UK, 16. Okt. (Kolloquium); Durham University, UK, 19. Okt. (Kolloquium); Mullard Space Science Laboratory, University of Central London, UK, 21. Okt. (Kolloquium); Cambridge University, UK, 23. Okt. (Kolloquium); Osservatorio Trieste, Italien, 10. Nov. (Kolloquium)
- Roy van Boekel: Chinese Workshop on star and planet formation, Nanjing, China, 23.–26. März (Vortrag)
- Arjen van der Wel: Konferenz »Getting a Grip on Galactic Girths«, Kavli IAPMU, University of Tokyo, Japan, 2.–5. Feb; Konferenz »Rainbows in the Southern Sky«, ESO, Garching, 5.–9. Okt. (Vortrag); Konferenz: Census, Evolution, Physics, Yale University, New Haven, USA, 16.–19. Nov. (Vortrag); Colloquium, Kapteyn Institute, Groningen, Niederlande, 23. März (Vortrag)
- Stefanie Wachter: EUCLID Consortium Meeting, Lausanne, Schweiz, 8.–12. Juni (Vortrag); Landolt Standards and 21<sup>st</sup> Century Photometry, Baton Rouge, Louisiana, USA, 19.–21. Mai (Vortrag)
- Fabian Walter: Observational Evidence for Accretion on Galaxies, Charlottesville, USA, 8.–10. Okt. (Vortrag); Quasar Konferenz, KIAA Peking, China, März (Review-Vortrag); Crete Konferenz »Gas, Dust, and Star-Formation in Galaxies from the Local to Far Universe«, Kreta, Griechenland, 25.–29. Mai (Vortrag); IAU General Assembly: invited talk on »molecular deep fields«, Hawaii, USA, 3.–14. Aug. (Vortrag); Talk at ASTRON HI meeting, 8. Apr. (Kolloquium)
- Xiangxiang Xue: The Halo of the Milky Way, Koco in MPIA, Heidelberg, 26. Juni (Kolloquium)
- Ling Zhu: The CALIFA collaborate meeting, Florenz, Italien, 19.–24. Apr. (Vortrag); The SDSS IV collaborative meeting, Madrid, Spanien, 19.–24. Juli (Vortrag)
- Populärwissenschaftliche Vorträge:**
- Jorge Abreu-Vicente: Discovering the Cosmos. School: P. P. Somascos, La Guardia, Galizien, Spanien, 22. Dez.
- Coryn Bailer-Jones: Astronomical Threats to the Earth, MPIA, Juni
- Roberto Decarli: Buchi neri, Vorlesung für Schüler der Grundschule, Varedo, Italien, 13. Jan.
- Bertrand Goldman: Toutes sortes de planètes, für die Kids University des Jardin des Sciences, Universität Straßburg: ISIS (Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaires), 18. Juni; ISU (International Space University), Illkirch campus, 13. Nov.
- Roland Gredel: Das Europäische Riesenteleskop E-ELT – Auf dem Weg in ein neues Zeitalter der Astronomie, Tag der offenen Tür des MPIA, 21. Juni; Der Blick ins All mit Groß- und Weltraumteleskopen, Hohenstaufen-Gymnasium Kaiserslautern, 21. Sep.
- Thomas K. Henning: Leben auf anderen Planeten–Die Suche hat begonnen, Planetarium Mannheim, 15. Okt.; Diskussionsrunde »Ordnung im Chaos«, DAI, Haus der Kultur, Heidelberg, 3. Dez.; Die Suche nach der zweiten Erde – aktueller Stand und Aussichten für die Zukunft, Fachhochschule Aachen, 26. Nov.

- Felix Hormuth: Franken im Weltall, Sportheim Birnfeld, Birnfeld, 17. Apr.
- Klaus Jäger: Geheimnisvolle Quasare – der Lösung eines Rätsels auf der Spur, Vortrag auf dem MNU Bundeskongress, Universität Saarbrücken, 31. März; Der Himmel im Computer – Virtuelle Planetarien, Girls' Day MPIA/HdA, 23. Apr.; Das Unsichtbare sichtbar machen – Highlights aus der (Heidelberger) Trickkiste astronomischer Beobachtungen, Tag der offenen Tür, MPIA/HdA, 21. Juni; Science at MPIA, International Summer Science School Heidelberg, MPIA, 23. Juli; Wissenschaft auf dem Königstuhl, Vorstandstagung der Industrie- und Handelskammer, Haus der Astronomie, 4. Sep.; Die Jagd nach Licht – Wie Astronomen ihre fantastischen Bilder machen, Astronomie am Sonntagvormittag, HdA, 4. Okt.; Die Jagd nach Licht – Wie Astronomen ihre fantastischen Bilder machen, Astro-Tech-Kolloquium, MPIA, 16. Okt., Galaxien und Terabytes – Astronomie im Zeitalter moderner Großteleskope, Schülerpraktikum, MPIA, 19. Okt.
- Nikolay Kacharov: Origin of elements, Bulgarian Astronomy Summer School, Beli Brezi, Bulgarien, 4. Aug.
- Hubert Klahr: Planeten – die Kinder der Sterne: Die Geburt unserer Erde und ihrer Exosolaren Geschwister, Mind Akademie, Heidelberg, 24. Sep.
- Oliver Krause: Das James-Webb-Weltraumteleskop, Tag der offenen Tür des MPIA, 21. Juni
- Martin Kürster: Wie groß ist das Universum?, Tag der offenen Tür des MPIA, 21. Juni; Wie groß ist das Universum?, Faszination Astronomie, HdA, 9. Juli; Wie groß ist das Universum?, MPIA AstrotechTalk, 17. Sep.; Wie groß ist das Universum?, Rüsselsheimer Sternfreunde, 11. Dez.
- Ralf Launhardt: Das bewegte Leben der Sterne, Bundesweite Lehrerfortbildung, Haus der Astronomie, 12. Nov.
- Christoph Leinert: Mehr als Ebbe und Flut – Gezeitenkräfte in der Astronomie, Faszination Astronomie, Haus der Astronomie, 8. Okt.
- Hendrik Linz: Die Jagd nach dem langwelligen Licht – Radioastronomie heute und morgen, 16. Südtüringischer Astronomischer Tag, Schul- und Volkssternwarte K. E. Ziołkowski, Suhl, 5. Dez.
- Nadine Neumayer: Giganten der Schwerkraft: Schwarze Löcher in den Zentren von Galaxien, Haus der Astronomie, Heidelberg, 12. Feb., 26. Feb.; Tag der offenen Tür des MPIA, 21. Juni
- Markus Nielbock: Farbenspiele des Lichts – Was sie uns über die Sterne verraten, Engadiner Astronomiefreunde, Academia Engiadina, Samedan, Schweiz, 18. Apr.
- Hans-Walter Rix: DPG Spring Meeting, Kirchhoff Institut für Physik, Heidelberg, 25. März
- Dmitry A. Semenov: Molecules in space: living through diversity, Tag der offenen Tür des MPIA, 21. Juni

## VI. 4 Lehre und Service

### Lehrveranstaltungen

#### Wintersemester 2014/2015

- Coryn Bailer-Jones: Introduction to Astronomy & Astrophysics 3 (Bachelor-Pflichtseminar)
- Henrik Beuther: Königstuhl-Colloquium (Kolloquium)
- Maria Bergemann: Experimentalphysik I (Übungen)
- Roberto Decarli: The cycle of gas in galaxies, Università di Milano-Bicocca (Italy), 7.–16. Jan. (Vorlesung)
- Christian Fendt, Klaus Meisenheimer: Current research topics (IMPRS 1) (Oberseminar, zusammen mit Thorsten Lisker (ZAH/ARI))
- Christian Fendt: »Übungen zur Experimentalphysik I (Übungen)
- Thomas Henning: Physics of Star Formation (Oberseminar)
- Cornelia Jäger: »Processing of grains« und »Synthesis of cosmic dust analogs and Processing of grains«, summer school »Laboratory Astrophysics«, Tabarz, 13.–16. Okt. (Blockseminare)
- Cornelia Jäger, Harald Mutschke: Laboratory Astrophysics (Seminar)
- Knud Jahnke: Galaxienhaufen (Bachelor-Pflichtseminar, zusammen mit Thorsten Lisker (ZAH/ARI))

- Viki Joergens, Henrik Beuther: Protostars and Planets (Master-Pflichtseminar)
- Christine Maria Köpferl: Python for Scientists (Übungen)
- Andrea Macciò: Galaxy formation (Vorlesung)
- Klaus Meisenheimer: IMPRS (Seminar)
- Klaus Meisenheimer: Heraeus School, Padua (Blockvorlesung)
- Paul Mollière: Fundamentals of Simulation Methods (Übungen)
- Melissa Ness: HGSCP Graduate winter school, Österreich (Vorlesung)
- Thomas Robitaille: Programming for Scientists (Blockkurs)
- Dmitry Semenov: Kleine Körper des Sonnensystems (Master-Pflichtseminar, zusammen mit Hans-Peter Gail, ZAH/ITA)
- Daniele Sorini: Introduction to Astronomy and Astrophysics I + II (Vorlesung, Assistent)
- Athanasia Tsatsi: Astro Lab (Übungen)
- Glenn van de Ven, Andrea Macciò: Galaxies (Blockkurs mit Übungen)
- Glenn van de Ven, Elisabete da Cunha, Fabrizio Arrigoni Battaia: Galaxy Coffee (Seminar)
- Michael Walther: Cosmology (Übungen)

### **Sommersemester 2015**

Coryn Bailer-Jones: Computational Statistics and Data Analysis (MVComp2) (Vorlesung)  
 Maria Bergemann, Henrik Beuther, Reinhard Mundt: Einführung in die Astronomie und Astrophysik III (Bachelor-Seminar)  
 Christian Fendt, Nadine Neumayer, Dmitry Semenov: Current research topics (IMPRS 1) (Forschungsseminar)  
 Christian Fendt: Experimentalphysik I (Übungen)  
 Christian Fendt: Galaxies, Interstellar Medium and Black Holes (Master-Pflichtseminar)  
 Morgan Fouesneau: Computational Statistics and Data Analysis, 14. Apr.-21. Juli (MVComp2)  
 Joe Hennawi: Advanced seminar on current research topics (IMPRS 3, Forschungsseminar) (zusammen mit Frank Bigiel, ZAH)  
 Joe Hennawi: JC on circum- and intergalactic media (ENIGMA) (Forschungsseminar)  
 Thomas Henning: Physics of Star Formation (Oberseminar)  
 Knud Jahnke, Christian Fendt: Galaxies, Interstellar Medium and Black Holes (Master-Pflichtseminar)  
 Cornelia Jäger, Harald Mutschke: Laboratory Astrophysics (Seminar)  
 Thomas Robitaille: Python: Programming for Scientists (Blockkurs)  
 Eva Schinnerer, Amy Stutz, Arjen van der Wel, Henrik Beuther: Königstuhl-Colloquium (zusammen mit Andreas Koch, Stefan Wagner, ITA/LSW)  
 Dmitri Semenov, Christian Fendt, Nadine Neumayer, Glen van de Ven: Seminar on current research topics (IMPRS 2) (Forschungsseminar)

### **Wintersemester 2015/2016**

Tri L. Astraatmadja: Monte Carlo methods in astronomy, Southeast Asian Young Astronomers Collaboration (SEAYAC) 2015 Meeting, Krabi, Thailand (Workshop, Tutorial)  
 Maria Bergemann: Experimentalphysik I (Übungen)  
 Maria Bergemann: E-ELT Summer School, Erice, Sizilien, Italien, 16.–19. Okt. (Vorlesung)  
 Thomas Henning, Henrik Beuther: Physics of Star Formation (Bachelor-Seminar)  
 Cornelia Jäger, Harald Mutschke: Laboratory Astrophysics (Seminar)  
 Knud Jahnke, Hubert Klahr: Entstehung kosmischer Strukturen vom Urknall bis Heute (Bachelor-Pflichtseminar, zusammen mit Hans-Günter Ludwig, LSW)  
 Knud Jahnke: Allgemeine Relativitätstheorie: Schwarze Löcher, Haus der Astronomie (Lehrerfortbildung)  
 Viki Joergens: Protostars and Planets (Master-Pflichtseminar)  
 Jouni Kainulainen: Star Formation (Master-Pflichtseminar)  
 Nadine Neumayer: Experimentalphysik 1 (Übungen)  
 Adriana Pohl: Einführung in die Astronomie und Astrophysik I (Übungen)

Hans-Walter Rix: Experimentalphysik I (Übungsgruppe)  
 Thomas Robitaille: Python: Programming for Scientists (Blockkurs)  
 Thomas Robitaille: Python workshop, Universität Wien (Vorlesung)  
 Thomas Robitaille: TIARA summer school in Numerical Astrophysics (Vorlesung)  
 Thomas Robitaille: SAMCSS summer school on Monte-Carlo Radiative Transfer (Vorlesung)  
 Neven Tomicic: Introduction for Astronomy and astrophysics (Übungen)

### **Mitarbeit in Gremien**

Coryn Bailer-Jones: Manager des Subkonsortiums »Astrophysical Parameters« (CU8) im Gaia, Data Processing and Analysis Consortium; Mitglied des Gaia Data Processing and Analysis Consortium Executive  
 Zoltan Balog: Mitglied des NASA Astrophysics Data Analysis Program 2015 Review Panel  
 Maria Bergemann: Mitglied des ESO Panel 2015 (OPC 96); Sprecherin der Max-Planck-Forschungsgruppenleiter in the CPT-Sektion  
 Henrik Beuther: Mitglied des ALMA TAC; Vertreter des MPIA in der CPT-Sektion der MPG; Mitglied im Board der Patzer-Stiftung; Mitglied im Auswahlkomitee des Patzer-Preises; Mitglied der German SOFIA Science Working Group (GSSWG); Mitglied des APEX TAC; Gutachter bei ERC, ANR und DFG  
 Christian Fendt: Gutachter bei der L'Agence Nationale de la Recherche (ANR), France; Gutachter beim Narodowe Centrum Nauk (National Science Center), Poland  
 Wolfgang Gaessler: Mitglied im 4MOST Scientific Technical Steering Committee  
 Bertrand Goldman: Mitglied im Science Policy Oversight Committee des PanSTARRS1 consortium, Mitglied im ESO OPC Panel  
 Roland Gredel: Mitglied im ELT project science team; Mitglied im LBT scientific advisory committee; Vorsitzender des LBT queue review and advisory committee; Vorsitzender des Opticon board  
 Thomas Henning: Mitglied im Matisse Steering Committee; Mitglied im ESO Council; Mitglied in der MPI-Berufungskommission (MPI für Dynamik und Selbstorganisation); Mitglied im National Cospar Committee; Mitglied im LBT Board; Mitglied im CAHA Executive Committee; Vorsitzender der LBTB-Beteiligungsgesellschaft; Mitglied im Evaluation Panel der University of Turku; Ko-Vorsitzender des ERC Advanced Grants (Panel Universe Sciene); Mitglied der Leopoldina und Obmann des Committee for Astronomy; Mitglied des Stern-Gerlach Prize Committee; Mitglied in verschiedenen PhD committees in Deutschland, Frankreich und den Niederlanden; Herausgeber von »Sterne und Weltraum«

Cornelia Jäger: Gutachter für die DFG; Mitglied des Gremiums des DFG Priority Program »The Physics of the Interstellar Medium«; Mitglied des Strategy committee »Laboratory Astrophysics« des RDS

Klaus Jäger: Vorstandsmitglied der Astronomischen Gesellschaft (Pressereferent); Vertreter der MPIA-Institutsleitung im Rat Deutscher Sternwarten (RDS); Wissenschaftlicher Beirat der International Summer Science School Heidelberg (ISH); Mitglied der Planungsgruppe Webseite Astronomie in Deutschland; 2. Vorsitzender im Förderverein des »Haus der Astronomie«

Knud Jahnke: Mitglied im EUCLID consortium

Hubert Klahr: Mitglied in Gremien von DFG, der AvH, The Danish Council for Independent Research, Natural Science, FNRS/FRS (Belgien)

Hendrik Linz: Service im IRAM-Programm

Nicolas Martin: Mitglied des Pan-STARRS1 Science Collaboration Science Council; Mitglied des Physics Board of graduate studies (ED 182), Strasbourg University

Sharon E. Meidt: Mitglied des ESO OPC P96 panel

Nadine Neumayer: Mitglied des Organising Committee for the Physics Graduate Days, Universität Heidelberg

Jörg-Uwe Pott: Vizepräsident der European Interferometry Initiative

Hans-Walter Rix: Mitglied bei ESA-SSAC, ESA-EUCLID Science Team, ESO Visiting Committee, NOVA Visiting Committee, STScI Visiting Committee, ESA-EUCLID Board, Humboldt-Selection Committee, ESA NIRSPEC-Science Team

Gaël Rouille: Gutachter bei der National commission for scientific research in the field of physics and chemistry of the interstellar medium

Eva Schinnerer: Mitglied des NRAO VLA Sky Survey Community Review Panel

Dmitry A. Semenov: Ko-Vorsitzender im NASA »Exoplanets Research Program« (XRP) Panel; Ko-Vorsitzender der Working Group 2: »Icy chemistry«, COST Action 1401 »Our Astrochemistry Heritage«; Gutachter für ERC Starting Grants (EU); Mitglied bei ANR (France); Mitglied im NASA XRP

Gregory Stinson: Gutachter bei DFG postdoc proposals

Roy van Boekel: Mitglied im MPIA-STAC, Mitglied im belgischen VLTI-Tac

Arjen van der Wel: Vorsitz im CAHA Open Time TAC; Mitglied im HST Cycle 22 Panel; Mitglied des MPIA-STAC

Fabian Walter: Scientific Editor bei The Astrophysical Journal

Gabor Worseck: Mitglied des MPIA-STAC (CAHA und LBT)

## VI. 5 Haus der Astronomie

**Leiter:** Markus Pössel

**Sekretariat:** Sigrid Brümmer

**Wissenschaftliche Mitarbeiter:** Natalie Fischer, Olaf Fischer, Carolin Liefke, Alexander Ludwig, Markus Nielbock (seit 4/2015), Kai Noeske, Matthias Penselin, Tobias Schultz, Cecilia Scorza, Jakob Staude

Im Bereich der Durchführung von Workshops für Kindergarten und Grundschule wurden wir von Frau Esther Kolar unterstützt.

**Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte:** Jan Eberhardt (seit 5/2015), Sophia Haude, Sebastian Neu (bis 8/2015), Benjamin Nissel (6/2015), Valentina Rohnacher (11/2015), Katja Reichert, Elena Sellentin, Elisabeth Zepf (11/2015)

O. Fischer und C. Liefke: »Galaxien« (Seminar), Universität Heidelberg

### Wintersemester 2015/2016:

N. Fischer: »Grundlagen der Astronomie für die Schule«, Pädagogische Hochschule Heidelberg

O. Fischer, C. Liefke, M. Nielbock, M. Pössel und C. Scorza: »Einführung in die Astronomie für Lehramt an Gymnasien Physik« (Vorlesung, Übung und Praktikum), Universität Heidelberg

O. Fischer und C. Liefke: »Extrasolare Planeten« (Seminar), Universität Heidelberg

M. Pössel mit B. M. Schäfer: »Vom Schwarzen Loch bis zum Urknall – Einsteins Relativitätstheorie in der Astrophysik für Nicht-Physiker« (Vorlesung), Universität Heidelberg

---

### Lehrveranstaltungen

#### Sommersemester 2015:

C. Liefke: Kurs »Praktische Astronomie« im Rahmen der Studierendentage, Universität Heidelberg

---

### Mitarbeit in Gremien

Carolin Liefke ist kooptiertes Vorstandsmitglied der Vereinigung der Sternfreunde (Aufgabenbereich Jugendarbeit und Schule). Am 15.4. wurde sie in das Kuratorium der Reiff-Stiftung gewählt.

Kai Noeske ist Gründungsmitglied der »Arbeitsgemeinschaft Fulldome« der Gesellschaft deutschsprachiger Planetarien.

Markus Pössel ist National Outreach Contact für Deutschland der IAU.

Cecilia Scorza ist deutsche Koordinatorin der European Association for Astronomy Education, deutsche Koordinatorin des EU-UNAWE-Programms, Mitglied der IAU-Bildungskommission sowie der Schulkommission der Astronomischen Gesellschaft und des Office for Astronomy Development (OAD) der IAU als Beraterin für den Bereich Lateinamerika.

Das Haus der Astronomie ist deutscher Knoten des ESO Science Outreach Network (C. Liefke, M. Pössel).

### **Preise und Auszeichnungen**

»Universe in a Box« wurde von Scientix, einer Initiative der EU, mit dem Preis für das beste wissenschaftliche Material für Lehrer ausgezeichnet (5/2015).

### **Veranstaltungen**

#### **HdA-Veranstaltungen und Kooperationsveranstaltungen im HdA**

Vortragsreihe »Faszination Astronomie«, 17 Termine mit insgesamt 1830 Besuchern, 8.1.–10.12. (Organisation: C. Liefke)

»Physik am Samstagvormittag« in Zusammenarbeit mit dem MPI für Kernphysik, 7.3. (rund 70 Teilnehmer/innen) (K. Noeske)

Veranstaltung zur partiellen Sonnenfinsternis, 20.3. (C. Liefke)

Vier Familienveranstaltungen (21.3., 6.12.) und drei Sondervorträge mit insgesamt 432 Besuchern (M. Pössel, C. Liefke, N. Fischer, K. Noeske)

DAGAL-Workshop zu wissenschaftlichem Schreiben und Outreach, 23.3. (M. Pössel mit F. Mokler)

Girls' Day (HdA und Max-Planck-Institut für Astronomie, C. Liefke und M. Pössel) und Boys' Day (HdA, E. Kolar) 23.4.

Konferenz »Spektroscopy in the Local Group and Beyond«, 27.–30.4. (M. Bergemann)

LINC-NIRVANA Preliminary Acceptance Europe, 4.–7.5. (M. Kürster)

CTA-Meeting der Landessternwarte, 27.–29.5. (T. Abegg)

»FIR Fine Structure Line Workshop«, 8.–11.6. (C. Ferlinhoff, R. Decarli)

Tag der offenen Tür von HdA und MPIA: Workshops, Planetariumsvorführungen und Infostände, 21.6. (ganzes Team, Organisation: M. Pössel mit K. Jäger)

MPIA Summer Conference 2015 »A 3D View on Galaxy Evolution: from Statistics to Physics«, 6.–10.7. (E. Schinnerer u.a.)

Gemeinsame Vortragsreihe »Astronomie am Sonntagvormittag« mit dem MPIA, 4 Termine, 27.9.–18.10., mit insgesamt 430 Besuchern (M. Pössel)

Bundesweite Lehrerfortbildung zur Astronomie der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung, 12.–14.11. (O. Fischer)

Lehrerfortbildung »Astronomie auf Einsteins Spuren: Relativistische Astrophysik in der Schule« für das Kultusministerium Baden-Württemberg, 19.11. (M. Pössel, K. Noeske)

23 kleinere wissenschaftliche Treffen mit insgesamt 368 Teilnehmern

4 Fortbildungen für angehende ErzieherInnen mit 63 Teilnehmern (N. Fischer)

Fortbildung mit je 5 Terminen für Erzieherinnen, 1 Fortbildung für Grundschatzlehrer in Kooperation mit der Forscherstation Heidelberg mit 11 bzw. 16 Teilnehmern (N. Fischer)

71 Führungen durch HdA-Mitarbeiter, 30 Königstuhlführungen durch Studenten von MPIA und LSW sowie 50 durch die Astronomieschule mit insgesamt 3585 Teilnehmern

64 Workshops für Grundschule und Kindergarten mit insgesamt 1200 Kindern (N. Fischer, E. Kolar); 24 Familienworkshops mit insgesamt 248 Kindern (E. Kolar, S. Schwemmer); 25 Ferienprogramme und ähnliche Workshops mit insgesamt 312 Teilnehmern (N. Fischer, E. Kolar), 32 Workshops für die Klassenstufen 5–13 mit insgesamt 672 Schülern (A. Ludwig, M. Penselin, T. Schultz, C. Scorza)

30 organisatorische und sonstige Treffen, hauptsächlich MPIA mit ca. 400 Teilnehmern

### **Beteiligung an externen Veranstaltungen:**

Life Science Lab Heidelberg, Wochenendseminar »Kosmologie« in Landau/Pfalz, 16.–18.1. (M. Pössel mit B. M. Schäfer)

Regionale Lehrerfortbildung Unterfranken »Fernrohrführerschein« am Friedrich-Rückert-Gymnasium Ebern, 11.2. (C. Liefke)

ROTAT-Präsentation bei der Versammlung der Landesbeauftragten der Physikolympiade, 28.2. (C. Liefke)

Sonnenfinsternisbeobachtungen an verschiedenen Schulen, 20.3. (N. Fischer, O. Fischer, M. Nielbock, K. Noeske)

Mobile Lehrerfortbildung in Niedersachsen und Bremen, 8.–20.6. (O. Fischer, Benjamin Nissel)

Experimentierstation für Grundschulkinder in Kooperation mit der Astronomieschule e.V. (N. Fischer [Organisation], E. Kolar) sowie Experimentierstation, Vorträge und Workshops (O. Fischer [Organisation], K. Homann, C. Liefke, M. Nielbock, K. Noeske, M. Pössel, C. Scorza) bei den wissenschaftlichen Erlebnistagen »Explore Science« in Mannheim, 2015 unter dem Motto »Bewegung pur!«, 8.–12.7.

Leitung des Astronomiekurses bei der JuniorAkademie Baden-Württemberg in Adelsheim, 12.–14.6., 28.8.–10.9. und 16.–18.10. (C. Liefke mit D. Elsässer, Universität Bochum)

Informationsstand des HdA auf der Astro-Messe AME in Villingen-Schwenningen, 19.9. (C. Liefke)

Vorstellung neuer astronomischer Bildungsmaterialien beim UNAWE International Workshop in der Universität Leiden, Niederlande, 5.–9.10. (N. Fischer, M. Nielbock)

Vorführung und Aktionen »Infrarotlicht und Treibhaussekt« beim Internationalen Evangelischen Jugendklimagipfel, Lauterbach/Hessen, 17.10. (K. Noeske)

Workshop »Der Helioviewer – Sonnenbeobachtung mit dem Computer« bei der MINT-Tagung des MNULandesverbands Franken in Würzburg, 24.10. (C. Liefke)

Lehrerfortbildung für das Deutsche Museum, 23.–24.11. (C. Scorza)

Lehrerfortbildung für chilenische Lehrer, 1.–4.12. (C. Scorza)

Zentrale Lehrerfortbildung »Blicke zum Sternhimmel« am Landesschulzentrum für Umwelterziehung in Adelsheim, 14.–16.12. (O. Fischer, C. Liefke)

Markus Nielbock: Entwicklung von diversen Unterrichtsmaterialien im Rahmen von EU Space Awareness (mit C. Scorza).

Kai Noeske: Erstellung einer Anleitung zur sicheren Sonnenfinsternis-Beobachtung für Spiegel Online (mit N. Fischer). Betreuung des Internationalen Sommerpraktikums des HdA (gleichzeitig Praktikum der International Summer Science School der Stadt Heidelberg); 8 Teilnehmer (27.7.–15.8.).

Markus Pössel; Betreuung eines individuellen Praktikums (4.5. bis 15.8.); Betreuung von zwei Staatsexamensarbeiten: Johannes Fröschele: »Statistische Untersuchungen zur kosmischen Expansion« und Fabian Gebhart: »Adaptive Optik und die Entwicklung eines Demonstrationsexperiments«; Erstellung eines Ima-gefilms, der das Haus der Astronomie vorstellt.

Cecilia Scorza: Betreuung der Staatsexamensarbeit von Michael Czuray: »Chemische Zusammensetzung von Sternen in Kugelsternhaufen«; Betreuung von vier chilenischen Netzwerklehrern (29.11.–12.12.). Betreuung eines Praktikums zum Thema »Sternbilder im Vergleich«.

## Vorträge

Natalie Fischer: Festvortrag anlässlich der Plakettenvergabe der Forscherstation Heidelberg im Planetarium Mannheim, 9.2.; Vortrag und Zwischenbericht über die durchgeführten Aktivitäten im Rahmen der Kooperation zwischen Haus der Astronomie und der Forscherstation bei der Forscherstation Heidelberg, 26.11., AstroTech Talk HdA, 27.11.

Olaf Fischer: Posterpräsentation zum Teilprojekt »Lehrerfortbildung zur Astronomie in Chile« bei der DAAD-Veranstaltung in Gießen »Exzellenz durch Vernetzung«, 27./28.4.; Vortrag im Rahmen der Sonderausstellung »Der Osterburg Zeit geben«, Osterburg/Weida, 17.09.; »Von den Sternen zur Milchstraße und zurück«, Lehrerfortbildung in Bad Wildbad, 7.10.; »Entdeckungsmaschinen – Große Observatorien am Boden und im Weltraum«, Lehrerfortbildung in der Sternwarte Sonneberg, 10.10.; »Warum wir Kinder der Sonne sind«, Kinderakademie Eisenach, 10.10. und Kinderakademie Gera, 14.10.

Carolin Liefke: »Winter am Sternhimmel«, Kindervortrag Heppenheim, 30.1.; »Die größten Teleskope der Welt«, Kindervortrag Heppenheim, 27.3.; »Die Aktivität der Sonne«, GIZ Wettzell, 16.4.; 20.5. Vortrag »Forschen unter südlichen Sternen«, Weikersheim, 20.5.; »Frühling am Sternhimmel«, Kindervortrag Heppenheim, 22.5.; »Forschen unter südlichen Sternen«, Heppenheim, 16.6.; »Erdnahe Asteroiden«, Bozen, 6.7.; TheoPrax-Tag Festvortrag, 12.11.; »Erdnahe Asteroiden«, Mannheim, 2.12.; »Der Stern von Bethlehem«, Kindervortrag Heppenheim, 18.12.

## Weitere Aktivitäten

Natalie Fischer: Entwicklung und Testen neuer Bildungsmaterialien anlässlich der Explore Science Mitmachausstellung, dem Tag der offenen Tür (HdA und MPIA) und einem Workshop der Jungen Uni, 31 Ausleihvorgänge der »Universe in a Box«.

Olaf Fischer: Gutachten zur Dissertation (Dr. päd.) von Simon Friedrich Kraus, Universität Siegen: »Astronomie für Blinde und Sehbehinderte«; Betreuung der Staatsexamensarbeit von Jonas Hörrle: »Entfernungsmessungen in der Milchstraße und das Gaia-Projekt«; Betreuung von vier chilenischen Netzwerklehrern (29.11.–12.12.).

Carolin Liefke: Betreuung von zwei Schülern im Rahmen der Kooperationsphase des Hector-Seminars bei einem Projekt zur Bestimmung der geomagnetischen Aktivität; wissenschaftliche Mentorentätigkeit in der Astrophysik-AG des Heidelberger Life-Science Labs; Betreuung von 19, 9, 3 bzw. 19 teilnehmenden Schulen aus Deutschland bei den Asteroidensuchkampagnen der International Astronomical Search Collaboration mit dem Pan-STARRS-Teleskop PS1 vom 16.01.–20.02., 16.03.–20.4., 04.10.–03.11. und 04.11.–9.12.; Betreuung der schulischen Nutzer der Faulkes/LCOGT- und ROTAT-Remote-Teleskope; Teilnahme an der Kleinplanetentagung an der Walter-Hohmann-Sternwarte in Essen; Betreuung von vier BOGY-Praktika mit insgesamt 23 Schülern (16.–20.3., 23.–27.3., 26.–30.10., 9.–13.11.).

Markus Nielbock: »Farbenspiele des Lichts – Was sie uns über die Sterne verraten«, Academia Engiadina, Samedan, 18.4.; Vortragsreihe: »Moderne Observatorien am Boden und im Weltraum«, Lehrerfortbildung an der Sternwarte Sonneberg, 10.–12.10.; Vortrag zu »Space Awareness«, Leiden, 5.–9.10.

Kai Noeske: »Geschichte des Lichts im Universum« (MPIA, Tag der offenen Tür (21.6., 2x); Astrotech-Talk, MPIA, 2.10.); »25 Jahre Hubble-Weltraumteleskop«, Hildesheimer Gesellschaft für Astronomie, 14.10. und Ringvorlesung FH Flensburg 5.11.

Markus Pössel: »Wurmlöcher, Zeitreisen, Warpantrieb: An der Grenze der Relativitätstheorien zur Science Fiction«, DPG-Lehrerfortbildung »Einstein relativ einfach«, Bad Honnef, 21.7.; »Comparing Cosmic Expansion and Gravitational Waves«, WE Heraeus Bi-National Summer Summer »Astronomy from four perspectives«, Jena, 2.9.; »Zeitreisen – geht das wirklich?«, Back to the Future Day, HdA, 21.10; »Als Raum und Zeit flexibel wurden: 100 Jahre Allgemeine Relativitätstheorie«, HdA, 5.11. und 6.11., Planetarium am Insulaner, Berlin, 25.11.; »Models for teaching (and thinking about!) general relativity«, Models of Gravity Workshop (DFG-Graduiertenkolleg), Bremen, 10.11.; »Allgemeine Relativitätstheorie«, Fortbildung »Astronomie auf Einsteins Spuren«, HdA, 19.11.; »Wikipedia sinnvoll für die Instituts-PR nutzen«, MPG-PR-Netzwerktreffen, 11.12.

Cecilia Scorsa: Vortrag zur Bildung für das SKA Board, Brüssel, 20.1.; Präsentation über Bildung in der Astronomie am Deutschen Museum, München, 26.1.; Präsentation der Bildungsarbeit der ESO, HITS, Heidelberg, 9.2.; »Der Mensch im Kosmos«, Heidelberg, 01.03.; »Bildung und Klimawandel«, Leiden, 29.3.; »Navigation through the ages«, Leiden, 30.3.; »Islam-heritage kit«, Leiden, 31.3.; »Universe in the Box«, Siegen, 28.4.; Vortrag über Milchstraßen-Materialien, Siegen, 29.10.

## Veröffentlichungen

Czuray, Michael: »Chemische Zusammensetzung von Sternen in Kugelsternhaufen«, Staatsexamensarbeit Universität Heidelberg, 12/2015

Fischer, Olaf: »Das Projekt ALMA Mater, Teil 3: ALMA – Eine Beobachtung, die es in sich hat: Kosmischer Baustofftransport« in Wissenschaft in die Schulen! 3/2015

Fischer, Olaf: »Das Projekt ALMA Mater, Teil 4: ALMA – Eine Beobachtung, die es in sich hat: eine 'Kinderstube' für Planeten« in Wissenschaft in die Schulen! 7/2015

Hörrle, Jonas: »Entfernungsmessungen in der Milchstraße und das Gaia-Projekt«, Staatsexamensarbeit Universität Heidelberg, 12/2015

Nielbock, Markus; Liu, Y.; Joergens, V.; Bayo, A.; Wang, H.: »A homogeneous analysis of disks around brown dwarfs« in Astronomy & Astrophysics Bd. 582, Artikel-Nr. A22 (2015)

Pössel, Markus: »100 Jahre und quicklebendig. Die astronomische Bedeutung der allgemeinen Relativitätstheorie« in Sterne und Weltraum 11/2015, S. 40–47

## VI.6 Veröffentlichungen

### In Zeitschriften mit Referee-System:

- Abreu-Vicente, J., Kainulainen, J., Stutz, A., Henning, T. and Beuther, H.: Relationship between the column density distribution and evolutionary class of molecular clouds as viewed by ATLASGAL. *Astronomy and Astrophysics* 581, id. A74 (33 pp) (2015).
- Aguerri, J. A.L., Méndez-Abreu, J., Falcón-Barroso, J., Amorin, A., Barrera-Ballesteros, J., Cid Fernandes, R., García-Benito, R., García-Lorenzo, B., González Delgado, R. M., Husemann, B., Kalinova, V., Lyubenova, M., Marino, R. A., Márquez, I., Mast, D., Pérez, E., Sánchez, S. F., van de Ven, G., Walcher, C. J., Backsmann, N., Cortijo-Ferrero, C., Bland-Hawthorn, J., del Olmo, A., Iglesias-Páramo, J., Pérez, I. et al.: Bar pattern speeds in CALIFA galaxies. I. Fast bars across the Hubble sequence. *Astronomy and Astrophysics* 576, id. A102 (17 pp) (2015).
- Akiyama, E., Muto, T., Kusakabe, N., Kataoka, A., Hashimoto, J., Tsukagoshi, T., Kwon, J., Kudo, T., Kandori, R., Grady, C. A., Takami, M., Janson, M., Kuzuhara, M., Henning, T., Sitko, M. L., Carson, J. C., Mayama, S., Currie, T., Thalmann, C., Wisniewski, J., Momose, M., Ohashi, N., Abe, L., Brandner, W., Brandt, T. D. et al.: Discovery of a disk gap candidate at 20 AU in TW Hydrae. *The Astrophysical Journal Letters* 802, id. L17 (5 pp) (2015).
- Alam, S., Albareti, F. D., Allende Prieto, C., Anders, F., Anderson, S. F., Anderton, T., Andrews, B. H., Armengaud, E., Aubourg, É., Bailey, S., Basu, S., Bautista, J. E., Beaton, R. L., Beers, T. C., Bender, C. F., Berlind, A. A., Beutler, F., Bhardwaj, V., Bird, J. C., Bizyaev, D., Blake, C. H., Blanton, M. R., Blomqvist, M., Bochanski, J. J., Bolton, A. S. et al.: The eleventh and twelfth data releases of the Sloan Digital Sky Survey: Final data from SDSS-III. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 219, id. 12 (27 pp) (2015).
- Alonso-Floriano, F. J., Morales, J. C., Caballero, J. A., Montes, D., Klutsch, A., Mundt, R., Cortés-Contreras, M., Ribas, I., Reiners, A., Amado, P. J., Quirrenbach, A. and Jeffers, S. V.: CARMENES input catalogue of M dwarfs. I. Low-resolution spectroscopy with CAFOS. *Astronomy and Astrophysics* 577, id. A128 (19 pp) (2015).
- Araya, E. D., Olmi, L., Morales Ortiz, J., Brown, J. E., Hofner, P., Kurtz, S., Linz, H. and Creech-Eakman, M. J.: Formaldehyde masers: Exclusive tracers of high-mass star formation. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 221, id. 10 (11 pp) (2015).
- Arrigoni Battaia, F., Hennawi, J. F., Prochaska, J. X. and Cantalupo, S.: Deep He II and C IV spectroscopy of a giant Ly $\alpha$  Nebula: Dense compact gas clumps in the circumgalactic medium of a  $z \sim 2$  quasar. *The Astrophysical Journal* 809, id. 163 (22 pp) (2015).
- Arrigoni Battaia, F., Yang, Y., Hennawi, J. F., Prochaska, J. X., Matsuda, Y., Yamada, T. and Hayashino, T.: A deep narrowband imaging search for C IV and He II emission from Ly $\alpha$  blobs. *The Astrophysical Journal* 804, id. 26 (20 pp) (2015).
- Aubourg, É., Bailey, S., Bautista, J. E., Beutler, F., Bhardwaj, V., Bizyaev, D., Blanton, M., Blomqvist, M., Bolton, A. S., Bovy, J., Brewington, H., Brinkmann, J., Brownstein, J. R., Burden, A., Busca, N. G., Carithers, W., Chuang, C.-H., Comparat, J., Croft, R. A.C., Cuesta, A. J., Dawson, K. S., Delubac, T., Eisenstein, D. J., Font-Ribera, A., Ge, J. et al.: Cosmological implications of baryon acoustic oscillation measurements. *Physical Review D* 92, id. 123516 (2015).
- Bachelet, E., Bramich, D. M., Han, C., Greenhill, J., Street, R. A., Gould, A., D'Ago, G., AlSubai, K., Dominik, M., Figuera Jaimes, R., Horne, K., Hundertmark, M., Kains, N., Snodgrass, C., Steele, I. A., Tsapras, Y., collaboration, T. R., Albrow, M. D., Batista, V., Beaulieu, J.-P., Bennett, D. P., Brillant, S., Caldwell, J. A.R., Cassan, A., Cole, A. et al.: Red noise versus planetary interpretations in the microlensing event Ogle-2013-BLG-446. *The Astrophysical Journal* 812, id. 136 (11 pp) (2015).
- Baehr, H. and Klahr, H.: The role of the cooling prescription for disk fragmentation: Numerical convergence and critical cooling parameter in self-gravitating disks. *The Astrophysical Journal* 814, id. 155 (10 pp) (2015).
- Bailer-Jones, C.A.L.: Estimating distances from parallaxes. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 127, 994-1009 (2015).
- Bailer-Jones, C. A.L.: Close encounters of the stellar kind. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A35 (13 pp) (2015).
- Bakos, G. Á., Penev, K., Bayliss, D., Hartman, J. D., Zhou, G., Brahm, R., Mancini, L., de Val-Borro, M., Bhatti, W., Jordán, A., Rabus, M., Espinoza, N., Csabry, Z., Howard, A. W., Fulton, B. J., Buchhave, L. A., Ciceri, S., Henning, T., Schmidt, B., Isaacson, H., Noyes, R. W., Marcy, G. W., Suc, V., Howe, A. R., Burrows, A. S. et al.: HATS-7b: A hot Super Neptune transiting a quiet K dwarf star. *The Astrophysical Journal* 813, id. 111 (10 pp) (2015).
- Bañados, E., Decarli, R., Walter, F., Venemans, B. P., Farina, E. P. and Fan, X.: Bright [C II] 158  $\mu\text{m}$  emission in a quasar host galaxy at  $z=6.54$ . *The Astrophysical Journal Letters* 805, id. L8 (4 pp) (2015).
- Bañados, E., Venemans, B. P., Morganson, E., Hodge, J., Decarli, R., Walter, F., Stern, D., Schlafly, E., Farina, E. P., Greiner, J., Chambers, K. C., Fan, X., Rix, H.-W., Burgett, W. S., Draper, P. W., Flewelling, J., Kaiser, N., Metcalfe, N., Morgan, J. S., Tonry, J. L. and Wainscoat, R. J.: Constraining the radio-loud fraction of quasars at  $z > 5.5$ . *The Astrophysical Journal* 804, id. 118 (12 pp) (2015).
- Barcos-Muñoz, L., Leroy, A. K., Evans, A. S., Privon, G. C., Armus, L., Condon, J., Mazzarella, J. M., Meier, D. S., Momjian, E., Murphy, E. J., Ott, J., Reichardt, A., Sakamoto, K., Sanders, D. B., Schinnerer, E., Stierwalt, S., Surace, J. A., Thompson, T. A. and Walter, F.: High-resolution radio continuum measurements of the nuclear disks of Arp 220. *The Astrophysical Journal* 799, id. 10 (14 pp) (2015).
- Barnett, R., Warren, S. J., Banerji, M., McMahon, R. G., Hewett, P. C., Mortlock, D. J., Simpson, C., Venemans, B. P., Ota, K. and Shibuya, T.: The spectral energy distribution of the redshift 7.1 quasar ULAS J1120+0641. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A31 (10 pp) (2015).
- Barrera-Ballesteros, J. K., García-Lorenzo, B., Falcón-Barroso, J., van de Ven, G., Lyubenova, M., Wild, V., Méndez-Abreu, J., Sánchez, S. F., Márquez, I., Masegosa, J., Monreal-Ibero, A., Ziegler, B., del Olmo, A., Verdes-Montenegro, L., García-Benito, R., Husemann, B., Mast, D., Kehrig, C., Iglesias-Páramo, J., Marino, R. A., Aguerri, J. A.L., Walcher, C. J., Vilchez, J. M., Bomans, D. J., Cortijo-Ferrero, C. et al.: Tracing kinematic (mis)alignments in CALIFA merging galaxies. Stellar and ionized gas kinematic orientations at every merger stage. *Astronomy and Astrophysics* 582, id. A21 (50 pp) (2015).
- Barrera-Ballesteros, J. K., Sánchez, S. F., García-Lorenzo, B., Falcón-Barroso, J., Mast, D., García-Benito, R., Husemann, B., van de Ven, G., Iglesias-Páramo, J., Rosales-Ortega, F. F., Pérez-Torres, M. A., Márquez, I., Kehrig, C., Marino, R. A., Vilchez, J. M., Galbany, L., López-Sánchez, Á. R., Walcher, C. J. and Collaboration, C.: Central star formation and metallicity in CALIFA interacting galaxies. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. A45 (9 pp) (2015).

- Bate, M. R. and Keto, E. R.: Combining radiative transfer and diffuse interstellar medium physics to model star formation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 449, 2643-2667 (2015).
- Bayliss, D., Hartman, J. D., Bakos, G. Á., Penev, K., Zhou, G., Brahm, R., Rabus, M., Jordán, A., Mancini, L., de Val-Borro, M., Bhatti, W., Espinoza, N., Csubry, Z., Howard, A. W., Fulton, B. J., Buchhave, L. A., Henning, T., Schmidt, B., Ciceri, S., Noyes, R. W., Isaacson, H., Marcy, G. W., Suc, V., Lázár, J., Papp, I. et al.: HATS-8b: A low-density transiting Super-Neptune. *The Astronomical Journal* 150, id. 49 (9 pp) (2015).
- Becker, G. D., Bolton, J. S., Madau, P., Pettini, M., Ryan-Weber, E. V. and Venemans, B. P.: Evidence of patchy hydrogen reionization from an extreme Ly $\alpha$  trough below redshift six. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, 3402-3419 (2015).
- Beirão, P., Armus, L., Lehnert, M. D., Guillard, P., Heckman, T., Draine, B., Hollenbach, D., Walter, F., Sheth, K., Smith, J. D., Shopbell, P., Boulanger, F., Surace, J., Hoopes, C. and Engelbracht, C.: Spatially resolved Spitzer-IRS spectral maps of the superwind in M82. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 2640-2655 (2015).
- Bellazzini, M., Beccari, G., Battaglia, G., Martin, N., Testa, V., Ibata, R., Correnti, M., Cusano, F. and Sani, E.: The StEllar counterparts of COmpact high velocity clouds (SECCO) survey. I. Photos of ghosts. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A126 (24 pp) (2015).
- Bellazzini, M., Magrini, L., Mucciarelli, A., Beccari, G., Ibata, R., Battaglia, G., Martin, N., Testa, V., Fumana, M., Marchetti, A., Correnti, M. and Fraternali, F.: H II regions within a compact high velocity cloud. A nearly starless dwarf galaxy? *The Astrophysical Journal Letters* 800, id. L15 (6 pp) (2015).
- Benisty, M., Juhasz, A., Boccaletti, A., Avenhaus, H., Milli, J., Thalmann, C., Dominik, C., Pinilla, P., Buenzli, E., Pohl, A., Beuzit, J.-L., Birnstiel, T., de Boer, J., Bonnefoy, M., Chauvin, G., Christiaens, V., Garufi, A., Grady, C., Henning, T., Huelamo, N., Isella, A., Langlois, M., Ménard, F., Mouillet, D., Olofsson, J. et al.: Asymmetric features in the protoplanetary disk MWC 758. *Astronomy and Astrophysics* 578, id. L6 (7 pp) (2015).
- Bergemann, M., Kudritzki, R.-P., Gazak, Z., Davies, B. and Plez, B.: Red supergiant stars as cosmic abundance probes. III. NLTE effects in J-band magnesium lines. *The Astrophysical Journal* 804, id. 113 (13 pp) (2015).
- Bétrémieux, Y. and Kaltenegger, L.: Refraction in planetary atmospheres: improved analytical expressions and comparison with a new ray-tracing algorithm. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 1268-1283 (2015).
- Beuther, H., Henning, T., Linz, H., Feng, S., Ragan, S. E., Smith, R. J., Bihr, S., Sakai, T. and Kuiper, R.: Hierarchical fragmentation and collapse signatures in a high-mass starless region. *Astronomy and Astrophysics* 581, id. A119 (8 pp) (2015).
- Beuther, H., Ragan, S. E., Johnston, K., Henning, T., Hacar, A. and Kainulainen, J. T.: Filament fragmentation in high-mass star formation. *Astronomy and Astrophysics* 584, id. A67 (12 pp) (2015).
- Beuther, H., Ragan, S. E., Ossenkopf, V., Glover, S., Henning, T., Linz, H., Nielbock, M., Krause, O., Stutzki, J., Schilke, P. and Güsten, R.: Carbon in different phases ([CII], [CI], and CO) in infrared dark clouds: Cloud formation signatures and carbon gas fractions (Corrigendum). *Astronomy and Astrophysics* 574, id. C2 (1 pp) (2015).
- Bianchini, P., Norris, M. A., van de Ven, G. and Schinnerer, E.: Understanding the central kinematics of globular clusters with simulated integrated-light IFU observations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 365-376 (2015).
- Bianchini, P., Renaud, F., Gieles, M. and Varri, A. L.: The inefficiency of satellite accretion in forming extended star clusters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, L40-L44 (2015).
- Bigiel, F., Leroy, A. K., Blitz, L., Bolatto, A. D., da Cunha, E., Rosolowsky, E., Sandstrom, K. and Usero, A.: Dense gas fraction and star-formation efficiency variations in the Antennae galaxies. *The Astrophysical Journal* 815, id. 103 (9 pp) (2015).
- Bihr, S., Beuther, H., Linz, H., Ragan, S. E., Hennemann, M., Tackenberg, J., Smith, R. J., Krause, O. and Henning, T.: Kinematic and thermal structure at the onset of high-mass star formation. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. A51 (20 pp) (2015).
- Bihr, S., Beuther, H., Ott, J., Johnston, K. G., Brunthaler, A., Anderson, L. D., Bigiel, F., Carlhoff, P., Churchwell, E., Glover, S. C.O., Goldsmith, P. F., Heitsch, F., Henning, T., Heyer, M. H., Hill, T., Hughes, A., Klessen, R. S., Linz, H., Longmore, S. N., McClure-Griffiths, N. M., Menten, K. M., Motte, F., Nguyen-Luong, Q., Plume, R., Ragan, S. E. et al.: THOR: The HI, OH, recombination line survey of the Milky Way. The pilot study: HI observations of the giant molecular cloud W43. *Astronomy and Astrophysics* 580, id. A112 (17 pp) (2015).
- Biller, B. A., Vos, J., Bonavita, M., Buenzli, E., Baxter, C., Crossfield, I. J.M., Allers, K., Liu, M. C., Bonnefoy, M., Deacon, N., Brandner, W., Schlieder, J. E., Dupuy, T., Kopytova, T., Manjavacas, E., Allard, F., Homeier, D. and Henning, T.: Variability in a young, L/T transition planetary-mass object. *The Astrophysical Journal Letters* 813, id. L23 (6 pp) (2015).
- Bisbas, T. G., Haworth, T. J., Williams, R. J.R., Mackey, J., Tremblin, P., Raga, A. C., Arthur, S. J., Baczyński, C., Dale, J. E., Frostholm, T., Geen, S., Haugbølle, T., Hubber, D., Iliev, I. T., Kuiper, R., Rosdahl, J., Sullivan, D., Walch, S. and Wünsch, R.: STARBENCH: the D-type expansion of an H II region. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 1324-1343 (2015).
- Biscani, F. and Carloni, S.: A first-order secular theory for the post-Newtonian two-body problem with spin – II. A complete solution for the angular coordinates in the restricted case. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 446, 3062-3077 (2015).
- Boccaletti, A., Thalmann, C., Lagrange, A.-M., Janson, M., Augereau, J.-C., Schneider, G., Milli, J., Grady, C., Debes, J., Langlois, M., Mouillet, D., Henning, T., Dominik, C., Maire, A.-L., Beuzit, J.-L., Carson, J., Dohlen, K., Engler, N., Feldt, M., Fusco, T., Ginski, C., Girard, J. H., Hines, D., Kasper, M., Mawet, D. et al.: Fast-moving features in the debris disk around AU Microscopii. *Nature* 526, 230-232 (2015).
- Bonometto, S. A., Mainini, R. and Macciò, A. V.: Strongly coupled dark energy cosmologies: preserving LCDM success and easing low scale problems – I. Linear theory revisited. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 1002-1012 (2015).
- Boquien, M., Calzetti, D., Aalto, S., Boselli, A., Braine, J., Buat, V., Combes, F., Israel, F., Kramer, C., Lord, S., Relaño, M., Rosolowsky, E., Stacey, G., Tabatabaei, F., van der Tak, F., van der Werf, P., Verley, S. and Xilouris, M.: Measuring star formation with resolved observations: the test case of M 33. *Astronomy and Astrophysics* 578, id. A8 (15 pp) (2015).
- Bouchet, P., García-Marín, M., Lagage, P.-O., Amiaux, J., Auguéres, J.-L., Bauwens, E., Blommaert, J. A.D.L., Chen, C. H., Detre, Ö. H., Dicken, D., Dubreuil, D., Galdemard, P., Gastaud, R., Glasse, A., Gordon, K. D., Gougnaud, F., Guillard, P., Justtanont, K., Krause, O., Leboeuf, D., Longval, Y., Martin, L., Mazy, E., Moreau, V., Olofsson, G. et al.: The Mid-Infrared Instrument for the James Webb Space Telescope, III: MIRIM, The MIRI Image. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 127, 612-622 (2015).

- Boyajian, T., von Braun, K., Feiden, G. A., Huber, D., Basu, S., Demarque, P., Fischer, D. A., Schaefer, G., Mann, A. W., White, T. R., Maestro, V., Brewer, J., Lamell, C. B., Spada, F., López-Morales, M., Ireland, M., Farrington, C., van Belle, G. T., Kane, S. R., Jones, J., ten Brummelaar, T. A., Ciardi, D. R., McAlister, H. A., Ridgway, S., Goldfinger, P. J. et al.: Stellar diameters and temperatures – VI. High angular resolution measurements of the transiting exoplanet host stars HD 189733 and HD 209458 and implications for models of cool dwarfs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, 846–857 (2015).
- Brahm, R., Jordán, A., Hartman, J. D., Bakos, G. Á., Bayliss, D., Penev, K., Zhou, G., Ciceri, S., Rabus, M., Espinoza, N., Mancini, L., de Val-Borro, M., Bhatti, W., Sato, B., Tan, T. G., Csabry, Z., Buchhave, L., Henning, T., Schmidt, B., Suc, V., Noyes, R. W., Papp, I., Lázár, J. and Sári, P.: HATS9-b and HATS10-b: Two compact hot Jupiters in Field 7 of the K2 mission. *The Astronomical Journal* 150, id. 33 (13 pp) (2015).
- Brisbin, D., Ferkinhoff, C., Nikola, T., Parshley, S., Stacey, G. J., Spoon, H., Hailey-Dunsheath, S. and Verma, A.: Strong C<sup>+</sup> emission in galaxies at  $z \sim 1\text{--}2$ : Evidence for cold flow accretion powered star formation in the Early Universe. *The Astrophysical Journal* 799, id. 13 (18 pp) (2015).
- Brusa, M., Bongiorno, A., Cresci, G., Perna, M., Marconi, A., Mainieri, V., Maiolino, R., Salvato, M., Lusso, E., Santini, P., Comastri, A., Fiore, F., Gilli, R., La Franca, F., Lanzuisi, G., Lutz, D., Merlini, A., Mignoli, M., Onori, F., Piconcelli, E., Rosario, D., Vignali, C. and Zamorani, G.: X-shooter reveals powerful outflows in  $z \sim 1.5$  X-ray selected obscured quasi-stellar objects. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 446, 2394–2417 (2015).
- Buck, T., Macciò, A. V. and Dutton, A. A.: Evidence for early filamentary accretion from the Andromeda galaxy's thin plane of satellites. *The Astrophysical Journal* 809, id. 49 (6 pp) (2015).
- Buckle, J. V., Drabek-Maunder, E., Greaves, J., Richer, J. S., Matthews, B. C., Johnstone, D., Kirk, H., Beaulieu, S. F., Berry, D. S., Broekhoven-Fiene, H., Currie, M. J., Fich, M., Hatchell, J., Jenness, T., Mottram, J. C., Nutter, D., Pattle, K., Pineda, J. E., Salji, C., Tisi, S., Francesco, J. D., Hogerheijde, M. R., Ward-Thompson, D., Bastien, P., Butner, H. et al.: The JCMT Gould Belt Survey: SCUBA-2 observations of circumstellar discs in L 1495. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 449, 2472–2488 (2015).
- Büdenbender, A., van de Ven, G. and Watkins, L. L.: The tilt of the velocity ellipsoid in the Milky Way disc. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 956–968 (2015).
- Buenzli, E., Marley, M. S., Apai, D., Saumon, D., Biller, B. A., Crossfield, I. J. M. and Radigan, J.: Cloud structure of the nearest brown dwarfs. II. High-amplitude variability for Luhman 16 A and B in and out of the 0.99 μm FeH feature. *The Astrophysical Journal* 812, id. 163 (11 pp) (2015).
- Buenzli, E., Saumon, D., Marley, M. S., Apai, D., Radigan, J., Bedin, L. R., Reid, I. N. and Morley, C. V.: Cloud structure of the nearest brown dwarfs: Spectroscopic variability of Luhman 16AB from the Hubble Space Telescope. *The Astrophysical Journal* 798, id. 127 (13 pp) (2015).
- Bundy, K., Bershady, M. A., Law, D. R., Yan, R., Drory, N., MacDonald, N., Wake, D. A., Cherinka, B., Sánchez-Gallego, J. R., Weijmans, A.-M., Thomas, D., Tremonti, C., Masters, K., Coccato, L., Diamond-Stanic, A. M., Aragón-Salamanca, A., Avila-Reese, V., Badenes, C., Falcón-Barroso, J., Belfiore, F., Bizyaev, D., Blanc, G. A., Bland-Hawthorn, J., Blanton, M. R., Brownstein, J. R. et al.: Overview of the SDSS-IV MaNGA Survey: Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory. *The Astrophysical Journal* 798, id. 7 (24 pp) (2015).
- Cabrera, J., Csizmadia, S., Montagnier, G., Fridlund, M., Ammler-von Eiff, M., Chaintreuil, S., Damiani, C., Deleuil, M., Ferraz-Mello, S., Ferrigno, A., Gandolfi, D., Guillot, T., Guenther, E. W., Hatzes, A., Hébrard, G., Klagyivik, P., Parviainen, H., Pasternacki, T., Pätzold, M., Sebastian, D., Tadeu dos Santos, M., Wuchterl, G., Aigrain, S., Alonso, R., Almenara, J.-M. et al.: Transiting exoplanets from the CoRoT space mission. XXVII. CoRoT-28b, a planet orbiting an evolved star, and CoRoT-29b, a planet showing an asymmetric transit. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. A36 (19 pp) (2015).
- Calchi Novati, S., Gould, A., Udalski, A., Menzies, J. W., Bond, I. A., Shvartzvald, Y., Street, R. A., Hundertmark, M., Beichman, C. A., Yee, J. C., Carey, S., Poleski, R., Skowron, J., Kozłowski, S., Mróz, P., Pietrukowicz, P., Pietrzyński, G., Szymański, M. K., Soszyński, I., Ulaczyk, K., Wyrzykowski, Ł., collaboration, T. O., Albrow, M., Beaulieu, J. P., Caldwell, J. A.R. et al.: Pathway to the galactic distribution of planets: Combined Spitzer and ground-based microlens parallax measurements of 21 single-lens events. *The Astrophysical Journal* 804, id. 20 (25 pp) (2015).
- Caldú-Primo, A., Schruba, A., Walter, F., Leroy, A., Bolatto, A. D. and Vogel, S.: Spatially extended and high-velocity dispersion molecular component in spiral galaxies: Single-dish versus interferometric observations. *The Astronomical Journal* 149, id. 76 (11 pp) (2015).
- Calzetti, D., Johnson, K. E., Adamo, A., Gallagher, J. S., III, Andrews, J. E., Smith, L. J., Clayton, G. C., Lee, J. C., Sabbi, E., Ubeda, L., Kim, H., Ryon, J. E., Thilker, D., Bright, S. N., Zackrisson, E., Kennicutt, R. C., de Mink, S. E., Whitmore, B. C., Aloisi, A., Chandar, R., Cignoni, M., Cook, D., Dale, D. A., Elmegreen, B. G., Elmegreen, D. M. et al.: The brightest young star clusters in NGC 5253. *The Astrophysical Journal* 811, id. 75 (26 pp) (2015).
- Calzetti, D., Lee, J. C., Sabbi, E., Adamo, A., Smith, L. J., Andrews, J. E., Ubeda, L., Bright, S. N., Thilker, D., Aloisi, A., Brown, T. M., Chandar, R., Christian, C., Cignoni, M., Clayton, G. C., da Silva, R., de Mink, S. E., Dobbs, C., Elmegreen, B. G., Elmegreen, D. M., Evans, A. S., Fumagalli, M., Gallagher, J. S., III, Gouliermis, D. A., Grebel, E. K. et al.: Legacy Extragalactic UV Survey (LEGUS) with the Hubble Space Telescope. I. Survey description. *The Astronomical Journal* 149, id. 51 (25 pp) (2015).
- Camps, P., Misselt, K., Bianchi, S., Lunttila, T., Pinte, C., Natale, G., Juvela, M., Fischer, J., Fitzgerald, M. P., Gordon, K., Baes, M. and Steinacker, J.: Benchmarking the calculation of stochastic heating and emissivity of dust grains in the context of radiative transfer simulations. *Astronomy and Astrophysics* 580, id. A87 (21 pp) (2015).
- Caratti o Garatti, A., Stecklum, B., Linz, H., Garcia Lopez, R. and Sanna, A.: A near-infrared spectroscopic survey of massive jets towards extended green objects. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A82 (34 pp) (2015).
- Carson, D. J., Barth, A. J., Seth, A. C., den Brok, M., Cappellari, M., Greene, J. E., Ho, L. C. and Neumayer, N.: The structure of nuclear star clusters in nearby late-type spiral galaxies from Hubble Space Telescope Wide Field Camera 3 imaging. *The Astronomical Journal* 149, 170 (2015).
- Chan, T. K., Kereš, D., Oñorbe, J., Hopkins, P. F., Muratov, A. L., Faucher-Giguère, C.-A. and Quataert, E.: The impact of baryonic physics on the structure of dark matter haloes: the view from the FIRE cosmological simulations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 2981–3001 (2015).

- Chang, Y.-Y., van der Wel, A., da Cunha, E. and Rix, H.-W.: Stellar masses and star formation rates for 1M galaxies from SDSS+WISE. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 219, id. 8 (16 pp) (2015).
- Chauvin, G., Vigan, A., Bonnefoy, M., Desidera, S., Bonavita, M., Mesa, D., Boccaletti, A., Buenzli, E., Carson, J., Delorme, P., Hagelberg, J., Montagnier, G., Mordasini, C., Quanz, S. P., Segransan, D., Thalmann, C., Beuzit, J.-L., Biller, B., Covino, E., Feldt, M., Girard, J., Gratton, R., Henning, T., Kasper, M., Lagrange, A.-M. et al.: The VLT/NaCo large program to probe the occurrence of exoplanets and brown dwarfs at wide orbits. II. Survey description, results, and performances. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A127 (19 pp) (2015).
- Chen, C.-C., Smail, I., Swinbank, A. M., Simpson, J. M., Ma, C.-J., Alexander, D. M., Biggs, A. D., Brandt, W. N., Chapman, S. C., Coppin, K. E.K., Danielson, A. L.R., Dannerbauer, H., Edge, A. C., Greve, T. R., Ivison, R. J., Karim, A., Menten, K. M., Schinnerer, E., Walter, F., Wardlow, J. L., Weiß, A. and van der Werf, P. P.: An ALMA Survey of submillimeter galaxies in the Extended Chandra Deep Field South: Near-infrared morphologies and stellar sizes. *The Astrophysical Journal* 799, id. 194 (28 pp) (2015).
- Chiappini, C., Anders, F., Rodrigues, T. S., Miglio, A., Montalbán, J., Mosser, B., Girardi, L., Valentini, M., Noels, A., Morel, T., Minchev, I., Steinmetz, M., Santiago, B. X., Schultheis, M., Martig, M., da Costa, L. N., Maia, M. A.G., Allende Prieto, C., de Assis Peralta, R., Hekker, S., Themeßl, N., Kallinger, T., García, R. A., Mathur, S., Baudin, F. et al.: Young  $[\alpha/\text{Fe}]$ -enhanced stars discovered by CoRoT and APOGEE: What is their origin? *Astronomy and Astrophysics* 576, id. L12 (7 pp) (2015).
- Choi, Y., Dalcanton, J. J., Williams, B. F., Weisz, D. R., Skillman, E. D., Fouesneau, M. and Dolphin, A. E.: Testing density wave theory with resolved stellar populations around spiral arms in M81. *The Astrophysical Journal* 810, id. 9 (11 pp) (2015).
- Ciceri, S., Lillo-Box, J., Southworth, J., Mancini, L., Henning, T. and Barrado, D.: Kepler-432 b: a massive planet in a highly eccentric orbit transiting a red giant. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. L5 (4 pp) (2015).
- Ciceri, S., Mancini, L., Southworth, J., Bruni, I., Nikolov, N., D’Ago, G., Schröder, T., Bozza, V., Tregloan-Reed, J. and Henning, T.: Physical properties of the HAT-P-23 and WASP-48 planetary systems from multi-colour photometry. *Astronomy and Astrophysics* 577, id. A54 (10 pp) (2015).
- Collins, M. L.M., Martin, N. F., Rich, R. M., Ibata, R. A., Chapman, S. C., McConnachie, A. W., Ferguson, A. M., Irwin, M. J. and Lewis, G. F.: Comparing the observable properties of dwarf galaxies on and off the Andromeda plane. *The Astrophysical Journal Letters* 799, id. L13 (6 pp) (2015).
- Colombo, D., Rosolowsky, E., Ginsburg, A., Duarte-Cabral, A. and Hughes, A.: Graph-based interpretation of the molecular interstellar medium segmentation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 2067-2091 (2015).
- Conrad, A., de Kleer, K., Leisenring, J., La Camera, A., Arcidiacono, C., Bertero, M., Bocaccini, P., Defrère, D., de Pater, I., Hinz, P., Hofmann, K.-H., Kürster, M., Rathbun, J., Schertl, D., Skemer, A., Skrutskie, M., Spencer, J., Veillet, C., Weigelt, G. and Woodward, C. E.: Spatially resolved M-band emission from Io’s Loki Patera-Fizeau imaging at the 22.8 m LBT. *The Astronomical Journal* 149, id. 175 (9 pp) (2015).
- Courteau, S. and Dutton, A. A.: On the global mass distribution in disk galaxies. *The Astrophysical Journal Letters* 801, id. L20 (4 pp) (2015).
- Cox, E. G., Harris, R. J., Looney, L. W., Segura-Cox, D. M., Tobin, J., Li, Z.-Y., Tychoniec, L., Chandler, C. J., Dunham, M. M., Kratter, K., Melis, C., Perez, L. M. and Sadavoy, S. I.: High-resolution 8 mm and 1 cm polarization of IRAS 4A from the VLA Nascent Disk and Multiplicity (VANDAM) Survey. *The Astrophysical Journal Letters* 814, id. L28 (6 pp) (2015).
- Creevey, O. L., Thévenin, F., Berio, P., Heiter, U., von Braun, K., Mourard, D., Bigot, L., Boyajian, T. S., Kervella, P., Morel, P., Pichon, B., Chiavassa, A., Nardetto, N., Perraut, K., Meilland, A., Mc Alister, H. A., ten Brummelaar, T. A., Farrington, C., Sturmann, J., Sturmann, L. and Turner, N.: Benchmark stars for Gaia Fundamental properties of the Population II star HD 140283 from interferometric, spectroscopic, and photometric data. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A26 (18 pp) (2015).
- Crighton, N. H.M., Hennawi, J. F., Simcoe, R. A., Cooksey, K. L., Murphy, M. T., Fumagalli, M., Prochaska, J. X. and Shanks, T.: Metal-enriched, subkiloparsec gas clumps in the circumgalactic medium of a faint  $z = 2.5$  galaxy. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 446, 18-37 (2015).
- Crighton, N. H.M., Murphy, M. T., Prochaska, J. X., Worseck, G., Rafelski, M., Becker, G. D., Ellison, S. L., Fumagalli, M., Lopez, S., Meiksin, A. and O’Meara, J. M.: The neutral hydrogen cosmological mass density at  $z = 5$ . *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 217-234 (2015).
- Crossfield, I. J.M., Petigura, E., Schlieder, J. E., Howard, A. W., Fulton, B. J., Aller, K. M., Ciardi, D. R., Lépine, S., Barclay, T., de Pater, I., de Kleer, K., Quintana, E. V., Christiansen, J. L., Schlafly, E., Kaltenegger, L., Crepp, J. R., Henning, T., Obermeier, C., Deacon, N., Weiss, L. M., Isaacson, H. T., Hansen, B. M.S., Liu, M. C., Greene, T., Howell, S. B. et al.: A nearby M star with three transiting Super-Earths discovered by K2. *The Astrophysical Journal* 804, id. 10 (8 pp) (2015).
- Csépány, G., van den Ancker, M., Ábrahám, P., Brandner, W. and Hormuth, F.: Examining the T Tauri system with SPHERE. *Astronomy and Astrophysics* 578, id. L9 (5 pp) (2015).
- Csizmadia, S., Hatzes, A., Gandolfi, D., Deleuil, M., Bouchy, F., Fridlund, M., Szabados, L., Parviainen, H., Cabrera, J., Aigrain, S., Alonso, R., Almenara, J.-M., Baglin, A., Bordé, P., Bonomo, A. S., Deeg, H. J., Díaz, R. F., Erikson, A., Ferraz-Mello, S., Tadeu dos Santos, M., Guenther, E. W., Guillot, T., Grziwa, S., Hébrard, G., Klagyivik, P. et al.: Transiting exoplanets from the CoRoT space mission. XXVIII. CoRoT-33b, an object in the brown dwarf desert with 2:3 commensurability with its host star. *Astronomy and Astrophysics* 584, id. A13 (12 pp) (2015).
- Cunha, K., Smith, V. V., Johnson, J. A., Bergemann, M., Mézáros, S., Shetrone, M. D., Souto, D., Allende Prieto, C., Schiavon, R. P., Frinchaboy, P., Zasowski, G., Bizyaev, D., Holtzman, J., García Pérez, A. E., Majewski, S. R., Nidever, D., Beers, T., Carrera, R., Geisler, D., Gunn, J., Hearty, F., Ivans, I., Martell, S., Pinsonneault, M., Schneider, D. P. et al.: Sodium and oxygen abundances in the open cluster NGC 6791 from APOGEE H-band spectroscopy. *The Astrophysical Journal Letters* 798, id. L41 (6 pp) (2015).
- da Cunha, E., Walter, F., Smail, I. R., Swinbank, A. M., Simpson, J. M., Decarli, R., Hodge, J. A., Weiss, A., van der Werf, P. P., Bertoldi, F., Chapman, S. C., Cox, P., Danielson, A. L.R., Dannerbauer, H., Greve, T. R., Ivison, R. J., Karim, A. and Thomson, A.: An ALMA survey of sub-millimeter galaxies in the Extended Chandra Deep Field South: Physical properties derived from ultraviolet-to-radio modeling. *The Astrophysical Journal* 806, id. 110 (22 pp) (2015).

- Daddi, E., Dannerbauer, H., Liu, D., Aravena, M., Bounaud, F., Walter, F., Riechers, D., Magdis, G., Sargent, M., Béthermin, M., Carilli, C., Cibinel, A., Dickinson, M., Elbaz, D., Gao, Y., Gobat, R., Hodge, J. and Krips, M.: CO excitation of normal star-forming galaxies out to  $z=1.5$  as regulated by the properties of their interstellar medium. *Astronomy and Astrophysics* 577, id. A46 (19 pp) (2015).
- Dalcanton, J. J., Fouesneau, M., Hogg, D. W., Lang, D., Leroy, A. K., Gordon, K. D., Sandstrom, K., Weisz, D. R., Williams, B. F., Bell, E. F., Dong, H., Gilbert, K. M., Gouliermis, D. A., Guhathakurta, P., Lauer, T. R., Schruba, A., Seth, A. C. and Skillman, E. D.: The Panchromatic Hubble Andromeda Treasury. VIII. A wide-area, high-resolution map of dust extinction in M31. *The Astrophysical Journal* 814, id. 3 (47 pp) (2015).
- Damasso, M., Biazzo, K., Bonomo, A. S., Desidera, S., Lanza, A. F., Nascimbeni, V., Esposito, M., Scandariato, G., Sozzetti, A., Cosentino, R., Gratton, R., Malavolta, L., Rainer, M., Gandolfi, D., Poretti, E., Zanmar Sanchez, R., Ribas, I., Santos, N., Affer, L., Andreuzzi, G., Barbieri, M., Bedin, L. R., Benatti, S., Bernagozzi, A., Bertolini, E. et al.: The GAPS programme with HARPS-N at TNG. V. A comprehensive analysis of the XO-2 stellar and planetary systems. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A111 (24 pp) (2015).
- Damasso, M., Esposito, M., Nascimbeni, V., Desidera, S., Bonomo, A. S., Bieryla, A., Malavolta, L., Biazzo, K., Sozzetti, A., Covino, E., Latham, D. W., Gandolfi, D., Rainer, M., Petrovich, C., Collins, K. A., Boccato, C., Claudi, R. U., Cosentino, R., Gratton, R., Lanza, A. F., Maggio, A., Micela, G., Molinari, E., Pagano, I., Piotto, G. et al.: The GAPS programme with HARPS-N at TNG. IX. The multi-planet system KELT-6: Detection of the planet KELT-6 c and measurement of the Rossiter-McLaughlin effect for KELT-6 b. *Astronomy and Astrophysics* 581, id. L6 (6 pp) (2015).
- Dangi, B. B., Kim, Y. S., Krasnokutski, S. A., Kaiser, R. I. and Bauschlicher, C. W., Jr.: Toward the formation of carbonaceous refractory matter in high temperature hydrocarbon-rich atmospheres of exoplanets upon Micrometeoroid Impact. *The Astrophysical Journal* 805, id. 76 (7 pp) (2015).
- Davies, B., Kudritzki, R.-P., Gazak, Z., Plez, B., Bergemann, M., Evans, C. and Patrick, L.: Red supergiants as cosmic abundance probes: The Magellanic Clouds. *The Astrophysical Journal* 806, id. 21 (13 pp) (2015).
- de Leon, J., Takami, M., Karr, J. L., Hashimoto, J., Kudo, T., Sitko, M., Mayama, S., Kusakabe, N., Akiyama, E., Liu, H. B., Usuda, T., Abe, L., Brandner, W., Brandt, T. D., Carson, J., Currie, T., Egner, S. E., Feldt, M., Follette, K., Grady, C. A., Goto, M., Guyon, O., Hayano, Y., Hayashi, M., Hayashi, S. et al.: Near-IR high-resolution imaging polarimetry of the SU Aur disk: Clues for tidal tails? *The Astrophysical Journal Letters* 806, id. L10 (6 pp) (2015).
- De Rosa, A., Bianchi, S., Bogdanović, T., Decarli, R., Herrero-Illana, R., Husemann, B., Komossa, S., Kun, E., Loiseau, N., Paragi, Z., Perez-Torres, M., Piconcelli, E., Schawinski, K. and Vignali, C.: Multiple AGN in the crowded field of the compact group SDSS J0959+1259. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 214-221 (2015).
- De Silva, G. M., Freeman, K. C., Bland-Hawthorn, J., Martell, S., de Boer, E. W., Asplund, M., Keller, S., Sharma, S., Zucker, D. B., Zwitter, T., Anguiano, B., Bacigalupo, C., Bayliss, D., Beavis, M. A., Bergemann, M., Campbell, S., Cannon, R., Carollo, D., Casagrande, L., Casey, A. R., Da Costa, G., D'Orazi, V., Dotter, A., Duong, L., Heger, A. et al.: The GALAH survey: scientific motivation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 449, 2604-2617 (2015).
- de Swardt, B., Sheth, K., Kim, T., Pardy, S., D' Onghia, E., Wilcots, E., Hinz, J., Muñoz-Mateos, J.-C., Regan, M. W., Athanassoula, E., Bosma, A., Buta, R. J., Cisternas, M., Comerón, S., Gadotti, D. A., Gil de Paz, A., Jarrett, T. H., Elmegreen, B. G., Erroz-Ferrer, S., Ho, L. C., Knapen, J. H., Laine, J., Laurikainen, E., Madore, B. F., Meidt, S. et al.: The odd offset between the galactic disk and its bar in NGC~3906. *The Astrophysical Journal* 808, id. 90 (8 pp) (2015).
- Debattista, V. P., Ness, M., Earp, S. W.F. and Cole, D. R.: A kiloparsec-scale nuclear stellar disk in the Milky Way as a possible explanation of the high velocity peaks in the galactic bulge. *The Astrophysical Journal Letters* 812, id. L16 (5 pp) (2015).
- Delubac, T., Bautista, J. E., Busca, N. G., Rich, J., Kirkby, D., Bailey, S., Font-Ribera, A., Slosar, A., Lee, K.-G., Pieri, M. M., Hamilton, J.-C., Aubourg, É., Blomqvist, M., Bovy, J., Brinkmann, J., Carithers, W., Dawson, K. S., Eisenstein, D. J., Gontcho, S. G.A., Kneib, J.-P., Le Goff, J.-M., Margala, D., Miralda-Escudé, J., Myers, A. D., Nichol, R. C. et al.: Baryon acoustic oscillations in the Ly $\alpha$  forest of BOSS DR11 quasars. *Astronomy and Astrophysics* 574, id. A59 (17 pp) (2015).
- den Brok, M., Seth, A. C., Barth, A. J., Carson, D. J., Neumayer, N., Cappellari, M., Debattista, V. P., Ho, L. C., Hood, C. E. and McDermid, R. M.: Measuring the mass of the central black hole in the bulgeless galaxy NGC 4395 from gas dynamical modeling. *The Astrophysical Journal* 809, id. 101 (16 pp) (2015).
- Desidera, S., Covino, E., Messina, S., Carson, J., Hagelberg, J., Schlieder, J. E., Biazzo, K., Alcalá, J. M., Chauvin, G., Vigan, A., Beuzit, J. L., Bonavita, M., Bonnefoy, M., Delorme, P., D'Orazi, V., Esposito, M., Feldt, M., Girardi, L., Gratton, R., Henning, T., Lagrange, A. M., Lanzafame, A. C., Launhardt, R., Marmier, M., Melo, C. et al.: The VLT/NaCo large program to probe the occurrence of exoplanets and brown dwarfs in wide orbits. I. Sample definition and characterization. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A126 (45 pp) (2015).
- Di Matteo, P., Gómez, A., Haywood, M., Combes, F., Lehnert, M. D., Ness, M., Snaith, O. N., Katz, D. and Semelin, B.: Why the Milky Way's bulge is not only a bar formed from a cold thin disk. *Astronomy and Astrophysics* 577, id. A1 (9 pp) (2015).
- Dias-Oliveira, A., Sicardy, B., Lellouch, E., Vieira-Martins, R., Assafin, M., Camargo, J. I.B., Braga-Ribas, F., Gomes-Júnior, A. R., Benedetti-Rossi, G., Colas, F., Decock, A., Doressoundiram, A., Dumas, C., Emilio, M., Fabrega Polleri, J., Gil-Hutton, R., Gillon, M., Girard, J. H., Hau, G. K.T., Ivanov, V. D., Jehin, E., Lecacheux, J., Leiva, R., Lopez-Sistera, C., Mancini, L. et al.: Pluto's atmosphere from stellar occultations in 2012 and 2013. *The Astrophysical Journal* 811, id. 53 (20 pp) (2015).
- Domínguez-Tenreiro, R., Obreja, A., Brook, C. B., Martínez-Serrano, F. J., Stinson, G. and Serna, A.: The stellar spheroid, the disk, and the dynamics of the cosmic web. *The Astrophysical Journal Letters* 800, id. L30 (5 pp) (2015).
- Dutton, A. A., Macciò, A. V., Stinson, G. S., Gutcke, T. A., Penzo, C. and Buck, T.: The response of dark matter haloes to elliptical galaxy formation: a new test for quenching scenarios. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 2447-2464 (2015).
- Dwek, E., Staguhn, J., Arendt, R. G., Kovács, A., Decarli, R., Egami, E., Michałowski, M. J., Rawle, T. D., Toft, S. and Walter, F.: Submillimeter observations of CLASH 2882 and the evolution of dust in this galaxy. *The Astrophysical Journal* 813, id. 119 (6 pp) (2015).

- Eckert, K. D., Kannappan, S. J., Stark, D. V., Moffett, A. J., Norris, M. A., Snyder, E. M. and Hoversten, E. A.: RESOLVE survey photometry and volume-limited calibration of the photometric gas fractions Technique. *The Astrophysical Journal* 810, id. 166 (26 pp) (2015).
- Elbert, O. D., Bullock, J. S., Garrison-Kimmel, S., Rocha, M., Oñorbe, J. and Peter, A. H.G.: Core formation in dwarf haloes with self-interacting dark matter: no fine-tuning necessary. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 29–37 (2015).
- Ercolano, B., Koepferl, C., Owen, J. and Robitaille, T.: Far-infrared signatures and inner hole sizes of protoplanetary discs undergoing inside-out dust dispersal. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 3689–3695 (2015).
- Erroz-Ferrer, S., Knappen, J. H., Leaman, R., Cisternas, M., Font, J., Beckman, J. E., Sheth, K., Muñoz-Mateos, J. C., Díaz-García, S., Bosma, A., Athanassoula, E., Elmegreen, B. G., Ho, L. C., Kim, T., Laurikainen, E., Martínez-Valpuesta, I., Meidt, S. E. and Salo, H.:  $\mathrm{H}\alpha$  kinematics of S<sup>4</sup>G spiral galaxies – II. Data description and non-circular motions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 1004–1024 (2015).
- Farinato, J., Baffa, C., Baruffolo, A., Bergomi, M., Carbonaro, L., Carlotti, A., Centrone, M., Codona, J., Dima, M., Esposito, S., Fantinel, D., Farisato, G., Gaessler, W., Giallongo, E., Greggio, D., Hinz, P., Lisi, F., Magrin, D., Marafatto, L., Pedichini, F., Pinna, E., Puglisi, A., Ragazzoni, R., Salasnich, B., Stangalini, M. et al.: The NIR arm of SHARK: System for coronagraphy with high-order adaptive optics from R to K bands. *International Journal of Astrobiology* 14, 365–373 (2015).
- Feldmeier-Krause, A., Neumayer, N., Schödel, R., Seth, A., Hilker, M., de Zeeuw, P. T., Kuntschner, H., Walcher, C. J., Lützgendorf, N. and Kissler-Patig, M.: KMOS view of the Galactic centre. I. Young stars are centrally concentrated. *Astronomy and Astrophysics* 584, id. A2 (27 pp) (2015).
- Feng, F. and Bailer-Jones, C. A.L.: Obliquity and precession as pacemakers of Pleistocene deglaciations. *Quaternary Science Reviews* 122, 166–179 (2015).
- Feng, F. and Bailer-Jones, C. A.L.: Finding the imprints of stellar encounters in long-period comets. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 3267–3276 (2015).
- Feng, S., Beuther, H., Henning, T., Semenov, D., Palau, A. and Mills, E. A.C.: Resolving the chemical substructure of Orion-KL. *Astronomy and Astrophysics* 581, id. A71 (50 pp) (2015).
- Ferkinhoff, C., Brisbin, D., Nikola, T., Stacey, G. J., Sheth, K., Hailey-Dunsheath, S. and Falgarone, E.: Band-9 ALMA observations of the [N II] 122  $\mu\text{m}$  line and FIR continuum in two high-z galaxies. *The Astrophysical Journal* 806, id. 260 (15 pp) (2015).
- Ferré-Mateu, A., Mezcua, M., Trujillo, I., Balcells, M. and van den Bosch, R. C. E.: Massive relic galaxies challenge the co-evolution of super-massive black holes and their host galaxies. *The Astrophysical Journal* 808, id. 79 (10 pp) (2015).
- Flock, M., Ruge, J. P., Dzyurkevich, N., Henning, T., Klahr, H. and Wolf, S.: Gaps, rings, and non-axisymmetric structures in protoplanetary disks. From simulations to ALMA observations. *Astronomy and Astrophysics* 574, id. A68 (13 pp) (2015).
- Follette, K. B., Grady, C. A., Swaringen, J. R., Sitko, M. L., Champney, E. H., van der Marel, N., Takami, M., Kuchner, M. J., Close, L. M., Muto, T., Mayama, S., McElwain, M. W., Fukagawa, M., Maaskant, K., Min, M., Russell, R. W., Kudo, T., Kusakabe, N., Hashimoto, J., Abe, L., Akiyama, E., Brandner, W., Brandt, T. D., Carson, J., Currie, T. et al.: SEEDS adaptive optics imaging of the asymmetric transition disk Oph IRS 48 in scattered light. *The Astrophysical Journal* 798, id. 132 (17 pp) (2015).
- Fontanot, F., Macciò, A. V., Hirschmann, M., De Lucia, G., Kannan, R., Somerville, R. S. and Wilman, D.: On the dependence of galaxy morphologies on galaxy mergers. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 2968–2977 (2015).
- Foreman, G., Chu, Y.-H., Gruendl, R., Hughes, A., Fields, B. and Ricker, P.: Spatial and spectral modeling of the gamma-ray distribution in the Large Magellanic Cloud. *The Astrophysical Journal* 808, id. 44 (19 pp) (2015).
- Foreman-Mackey, D., Montet, B. T., Hogg, D. W., Morton, T. D., Wang, D. and Schölkopf, B.: A systematic search for transiting planets in the K2 data. *The Astrophysical Journal* 806, id. 215 (13 pp) (2015).
- Frasca, A., Biazzo, K., Lanzaflame, A. C., Alcalá, J. M., Brugaletta, E., Klutsch, A., Stelzer, B., Sacco, G. G., Spina, L., Jeffries, R. D., Montes, D., Alfaro, E. J., Barentsen, G., Bonito, R., Gameiro, J. F., López-Santiago, J., Pace, G., Pasquini, L., Prisinzano, L., Sousa, S. G., Gilmore, G., Randich, S., Micela, G., Bragaglia, A., Flaccomio, E. et al.: The Gaia-ESO Survey: Chromospheric emission, accretion properties, and rotation in  $\gamma$  Velorum and Chamaeleon I. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A4 (17 pp) (2015).
- French, K. D., Yang, Y., Zabludoff, A., Narayanan, D., Shirley, Y., Walter, F., Smith, J.-D. and Tremonti, C. A.: Discovery of large molecular gas reservoirs in post-starburst galaxies. *The Astrophysical Journal* 801, id. 1 (21 pp) (2015).
- Fukue, K., Matsunaga, N., Yamamoto, R., Kondo, S., Kobayashi, N., Ikeda, Y., Hamano, S., Yasui, C., Arasaki, T., Tsujimoto, T., Bono, G. and Inno, L.: Line-depth ratios in H-band spectra to determine effective temperatures of G- and K-type giants and supergiants. *The Astrophysical Journal* 812, id. 64 (10 pp) (2015).
- García-Benito, R., Zibetti, S., Sánchez, S. F., Husmann, B., de Amorim, A. L., Castillo-Morales, A., Cid Fernandes, R., Ellis, S. C., Falcón-Barroso, J., Galbany, L., Gil de Paz, A., González Delgado, R. M., Lacerda, E. A.D., López-Fernandez, R., de Lorenzo-Cáceres, A., Lyubenova, M., Marino, R. A., Mast, D., Mendoza, M. A., Pérez, E., Vale Asari, N., Aguerri, J. A.L., Ascasabar, Y., Bekeraité, S., Bland-Hawthorn, J. et al.: CALIFA, the Calar Alto Legacy Integral Field Area survey. III. Second public data release. *Astronomy and Astrophysics* 576, id. A135 (30 pp) (2015).
- García-Lorenzo, B., Márquez, I., Barrera-Ballesteros, J. K., Masegosa, J., Husmann, B., Falcón-Barroso, J., Lyubenova, M., Sánchez, S. F., Walcher, J., Mast, D., García-Benito, R., Méndez-Abreu, J., van de Ven, G., Spekkens, K., Holmes, L., Monreal-Ibero, A., del Olmo, A., Ziegler, B., Bland-Hawthorn, J., Sánchez-Blázquez, P., Iglesias-Páramo, J., Aguerri, J. A.L., Papaderos, P., Gomes, J. M., Marino, R. A. et al.: Ionized gas kinematics of galaxies in the CALIFA survey. I. Velocity fields, kinematic parameters of the dominant component, and presence of kinematically distinct gaseous systems. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A59 (43 pp) (2015).
- Garland, C. A., Pisano, D. J., Mac Low, M.-M., Kreckel, K., Rabidoux, K. and Guzmán, R.: Nearby clumpy, gas rich, star-forming galaxies: Local analogs of high-redshift clumpy galaxies. *The Astrophysical Journal* 807, id. 134 (8 pp) (2015).
- Gazak, J. Z., Kudritzki, R., Evans, C., Patrick, L., Davies, B., Bergemann, M., Plez, B., Bresolin, F., Bender, R., Wegner, M., Bonanos, A. Z. and Williams, S. J.: Red supergiants as cosmic abundance probes: The Sculptor Galaxy NGC 300. *The Astrophysical Journal* 805, id. 182 (9 pp) (2015).

- Geier, S., Fürst, F., Ziegerer, E., Kupfer, T., Heber, U., Irrgang, A., Wang, B., Liu, Z., Han, Z., Sesar, B., Levitan, D., Kotak, R., Magnier, E., Smith, K., Burgett, W. S., Chambers, K., Flewelling, H., Kaiser, N., Wainscoat, R. and Waters, C.: The fastest unbound star in our Galaxy ejected by a thermonuclear supernova. *Science* 347, 1126-1128 (2015).
- Genovali, K., Lemasle, B., da Silva, R., Bono, G., Fabrizio, M., Bergemann, M., Buonanno, R., Ferraro, I., François, P., Iannicola, G., Inno, L., Laney, C. D., Kudritzki, R.-P., Matsunaga, N., Nonino, M., Primas, F., Romaniello, M., Urbaneja, M. A. and Thévenin, F.: On the  $\alpha$ -element gradients of the Galactic thin disk using Cepheids. *Astronomy and Astrophysics* 580, id. A17 (13 pp) (2015).
- Genzel, R., Tacconi, L. J., Lutz, D., Saintonge, A., Berta, S., Magnelli, B., Combes, F., García-Burillo, S., Neri, R., Bolatto, A., Contini, T., Lilly, S., Boissier, J., Boone, F., Bouché, N., Bournaud, F., Burkert, A., Carollo, M., Colina, L., Cooper, M. C., Cox, P., Feruglio, C., Förster Schreiber, N. M., Freundlich, J., Gracia-Carpio, J. et al.: Combined CO and dust scaling relations of depletion time and molecular gas fractions with cosmic time, specific star-formation rate, and stellar mass. *The Astrophysical Journal* 800, id. 20 (25 pp) (2015).
- Gerner, T., Shirley, Y. L., Beuther, H., Semenov, D., Linz, H., Albertsson, T. and Henning, T.: Chemical evolution in the early phases of massive star formation. II. Deuterium. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. A80 (26 pp) (2015).
- Gordon, K. D., Chen, C. H., Anderson, R. E., Azzollini, R., Bergeron, L., Bouchet, P., Bouwman, J., Cracraft, M., Fischer, S., Friedman, S. D., García-Marín, M., Glasse, A., Glauser, A. M., Goodson, G. B., Greene, T. P., Hines, D. C., Khorrami, M. A., Lahuis, F., Lajoie, C.-P., Meixner, M. E., Morrison, J. E., O'Sullivan, B., Pontoppidan, K. M., Regan, M. W., Ressler, M. E. et al.: The Mid-Infrared Instrument for the James Webb Space Telescope, X: Operations and Data Reduction. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 127, 696-711 (2015).
- Gouliermis, D. A., Thilker, D., Elmegreen, B. G., Elmegreen, D. M., Calzetti, D., Lee, J. C., Adamo, A., Aloisi, A., Cignoni, M., Cook, D. O., Dale, D. A., Gallagher, J. S., Grasha, K., Grebel, E. K., Davó, A. H., Hunter, D. A., Johnson, K. E., Kim, H., Nair, P., Nota, A., Pellerin, A., Ryon, J., Sabbi, E., Sacchi, E., Smith, L. J. et al.: Hierarchical star formation across the ring galaxy NGC 6503. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 3508-3528 (2015).
- Grady, C., Fukagawa, M., Maruta, Y., Ohta, Y., Wisniewski, J., Hashimoto, J., Okamoto, Y., Momose, M., Currie, T., McElwain, M., Muto, T., Kotani, T., Kusakabe, N., Feldt, M., Sitko, M., Follette, K., Bonnefoy, M., Henning, T., Takami, M., Karr, J., Kwon, J., Kudo, T., Abe, L., Brandner, W., Brandt, T. et al.: The outer disks of Herbig stars from the UV to NIR. *Astrophysics and Space Science* 355, 253-266 (2015).
- Grasha, K., Calzetti, D., Adamo, A., Kim, H., Elmegreen, B. G., Gouliermis, D. A., Aloisi, A., Bright, S. N., Christian, C., Cignoni, M., Dale, D. A., Dobbs, C., Elmegreen, D. M., Fumagalli, M., Gallagher, J. S., III, Grebel, E. K., Johnson, K. E., Lee, J. C., Messa, M., Smith, L. J., Ryon, J. E., Thilker, D., Ubeda, L. and Wofford, A.: The spatial distribution of the young stellar clusters in the star-forming galaxy NGC 628. *The Astrophysical Journal* 815, id. 93 (17 pp) (2015).
- Green, G. M., Schlafly, E. F., Finkbeiner, D. P., Rix, H.-W., Martin, N., Burgett, W., Draper, P. W., Flewelling, H., Hodapp, K., Kaiser, N., Kudritzki, R. P., Magnier, E., Metcalfe, N., Price, P., Tonry, J. and Wainscoat, R.: A three-dimensional map of Milky Way dust. *The Astrophysical Journal* 810, id. 25 (23 pp) (2015).
- Gregersen, D., Seth, A. C., Williams, B. F., Lang, D., Dalcanton, J. J., Girardi, L., Skillman, E. D., Bell, E., Dolphin, A. E., Fouesneau, M., Guhathakurta, P., Hamren, K. M., Johnson, L. C., Kalirai, J., Lewis, A. R., Monachesi, A. and Olsen, K.: Panchromatic Hubble Andromeda Treasury. XII. Mapping stellar metallicity distributions in M31. *The Astronomical Journal* 150, id. 189 (12 pp) (2015).
- Grellmann, R., Ratzka, T., Köhler, R., Preibisch, T. and Mucciarelli, P.: New constraints on the multiplicity of massive young stars in Upper Scorpius. *Astronomy and Astrophysics* 578, id. A84 (11 pp) (2015).
- Groves, B. A., Schinnerer, E., Leroy, A., Galametz, M., Walter, F., Bolatto, A., Hunt, L., Dale, D., Calzetti, D., Croxall, K. and Kennicutt, R., Jr.: Dust continuum emission as a tracer of gas mass in galaxies. *The Astrophysical Journal* 799, id. 96 (13 pp) (2015).
- Gutcke, T. A., Fanidakis, N., Macciò, A. V. and Lacey, C.: The star formation and AGN luminosity relation: predictions from a semi-analytical model. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 3759-3767 (2015).
- Gvaramadze, V. V., Kniazev, A. Y., Bestenlehner, J. M., Bodensteiner, J., Langer, N., Greiner, J., Grebel, E. K., Berdnikov, L. N. and Beletsky, Y.: The blue supergiant MN18 and its bipolar circumstellar nebula. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 219-237 (2015).
- Hartman, J. D., Bayliss, D., Brahm, R., Bakos, G. Á., Mancini, L., Jordán, A., Penev, K., Rabus, M., Zhou, G., Butler, R. P., Espinoza, N., de Val-Borro, M., Bhatti, W., Csubry, Z., Cicero, S., Henning, T., Schmidt, B., Arriagada, P., Shectman, S., Crane, J., Thompson, I., Suc, V., Csák, B., Tan, T. G., Noyes, R. W. et al.: HATS-6b: A warm Saturn transiting an early M dwarf star, and a set of empirical relations for characterizing K and M dwarf planet hosts. *The Astronomical Journal* 149, id. 166 (20 pp) (2015).
- Hashimoto, J., Tsukagoshi, T., Brown, J. M., Dong, R., Muto, T., Zhu, Z., Wisniewski, J., Ohashi, N., kudo, T., Kusakabe, N., Abe, L., Akiyama, E., Brandner, W., Brandt, T., Carson, J., Currie, T., Egner, S., Feldt, M., Grady, C. A., Guyon, O., Hayano, Y., Hayashi, M., Hayashi, S., Henning, T., Hodapp, K. et al.: The structure of pre-transitional protoplanetary disks. II. Azimuthal asymmetries, different radial distributions of large and small dust grains in PDS 70. *The Astrophysical Journal* 799, id. 43 (12 pp) (2015).
- Hawley, J. F., Fendt, C., Hardcastle, M., Nokhrina, E. and Tchekhovskoy, A.: Disks and jets. Gravity, rotation and magnetic fields. *Space Science Reviews* 191, 441-469 (2015).
- Hegde, S., Paulino-Lima, I. G., Kent, R., Kaltenegger, L. and Rothschild, L.: Surface biosignatures of exo-Earths: Remote detection of extraterrestrial life. *PNAS* 112, 3886-3891 (2015).
- Heiderman, A. and Evans, N. J.: The Gould Belt 'MISFITS' Survey: The real solar neighborhood protostars. *The Astrophysical Journal* 806, id. 231 (13 pp) (2015).
- Heiter, U., Lind, K., Asplund, M., Barklem, P. S., Bergemann, M., Magrini, L., Masseron, T., Mikolaitis, Š., Pickering, J. C. and Ruffoni, M. P.: Atomic and molecular data for optical stellar spectroscopy. *Physica Scripta* 90, id. 054010 (5 pp) (2015).
- Heller, R., Marleau, G.-D. and Pudritz, R. E.: The formation of the Galilean moons and Titan in the Grand Tack scenario. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. L4 (4 pp) (2015).
- Hennawi, J. F., Prochaska, J. X., Cantalupo, S. and Arrigoni-Battaia, F.: Quasar quartet embedded in giant nebula reveals rare massive structure in distant universe. *Science* 348, 779-783 (2015).
- Hernitschek, N., Rix, H.-W., Bovy, J. and Morganson, E.: Estimating black hole masses in hundreds of quasars. *The Astrophysical Journal* 801, id. 45 (31 pp) (2015).

- Herpich, J., Stinson, G. S., Dutton, A. A., Rix, H.-W., Martig, M., Roškar, R., Macciò, A. V., Quinn, T. R. and Wadsley, J.: How to bend galaxy disc profiles: the role of halo spin. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 448, L99-L103 (2015).
- Herrera-Camus, R., Bolatto, A. D., Wolfire, M. G., Smith, J. D., Croxall, K. V., Kennicutt, R. C., Calzetti, D., Helou, G., Walter, F., Leroy, A. K., Draine, B., Brandl, B. R., Armus, L., Sandstrom, K. M., Dale, D. A., Aniano, G., Meidt, S. E., Boquien, M., Hunt, L. K., Galametz, M., Tabatabaei, F. S., Murphy, E. J., Appleton, P., Roussel, H., Engelbracht, C. et al.: [C II] 158  $\mu\text{m}$  emission as a star formation tracer. *The Astrophysical Journal* 800, id. 1 (22 pp) (2015).
- Herzog, A., Norris, R. P., Middelberg, E., Spitler, L. R., Leipski, C. and Parker, Q. A.: Infrared-faint radio sources remain undetected at far-infrared wavelengths. Deep photometric observations using the Herschel Space Observatory. *Astronomy and Astrophysics* 580, id. A7 (15 pp) (2015).
- Hilbig, D., Ceyhan, U., Henning, T., Fleischmann, F. and Knipp, D.: Fitting discrete aspherical surface sag data using orthonormal polynomials. *Optics Express* 23, id. 22404 (10pp) (2015).
- Ho, S., Agarwal, N., Myers, A. D., Lyons, R., Disbrow, A., Seo, H.-J., Ross, A., Hirata, C., Padmanabhan, N., O'Connell, R., Huff, E., Schlegel, D., Slosar, A., Weinberg, D., Strauss, M., Ross, N. P., Schneider, D. P., Bahcall, N., Brinkmann, J., Palanque-Delabrouille, N. and Yèche, C.: Sloan Digital Sky Survey III photometric quasar clustering: probing the initial conditions of the Universe. *Journal of Cosmology and Astro-Particle Physics* 05, id. 040 (36 pp) (2015 online).
- Hodge, J. A., Riechers, D., Decarli, R., Walter, F., Carilli, C. L., Daddi, E. and Dannerbauer, H.: The kiloparsec-scale star formation law at redshift 4: Widespread, highly efficient star formation in the dust-obscured starburst galaxy GN20. *The Astrophysical Journal Letters* 798, id. L18 (6 pp) (2015).
- Hony, S., Gouliermis, D. A., Galliano, F., Galametz, M., Cormier, D., Chen, C.-H.R., Dib, S., Hughes, A., Klessen, R. S., Roman-Duval, J., Smith, L., Bernard, J.-P., Bot, C., Carlson, L., Gordon, K., Indebetouw, R., Lebouteiller, V., Lee, M.-Y., Madden, S. C., Meixner, M., Oliveira, J., Rubio, M., Sauvage, M. and Wu, R.: Star formation rates from young-star counts and the structure of the ISM across the NGC 346/N 66 complex in the SMC. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 448, 1847-1862 (2015).
- Howes, L. M., Casey, A. R., Asplund, M., Keller, S. C., Yong, D., Nataf, D. M., Polak, R., Lind, K., Kobayashi, C., Owen, C. I., Ness, M., Bessell, M. S., da Costa, G. S., Schmidt, B. P., Tisserand, P., Udalski, A., Szymański, M. K., Soszyński, I., Pietrzyński, G., Ulaczyk, K., Wyrzykowski, Ł., Pietrukowicz, P., Skowron, J., Kozłowski, S. and Mróz, P.: Extremely metal-poor stars from the cosmic dawn in the bulge of the Milky Way. *Nature* 527, 484-487 (2015).
- Huang, X., Zheng, W., Wang, J., Ford, H., Lemze, D., Moustakas, J., Shu, X., Van der Wel, A., Zitrin, A., Frye, B. L., Postman, M., Bartelmann, M., Benítez, N., Bradley, L., Broadhurst, T., Coe, D., Donahue, M., Infante, L., Kelson, D., Koekemoer, A., Lahav, O., Medezinski, E., Moustakas, L., Rosati, P., Seitz, S. et al.: CLASH: Extreme emission-line galaxies and their implication on selection of high-redshift galaxies. *The Astrophysical Journal* 801, id. 12 (11 pp) (2015).
- Hunt, L. K., Draine, B. T., Bianchi, S., Gordon, K. D., Aniano, G., Calzetti, D., Dale, D. A., Helou, G., Hinz, J. L., Kennicutt, R. C., Roussel, H., Wilson, C. D., Bolatto, A., Boquien, M., Croxall, K. V., Galametz, M., Gil de Paz, A., Koda, J., Muñoz-Mateos, J. C., Sandstrom, K. M., Sauvage, M., Vigroux, L. and Zibetti, S.: Cool dust heating and temperature mixing in nearby star-forming galaxies. *Astronomy and Astrophysics* 576, id. A33 (23 pp) (2015).
- Ianjamasimanana, R., de Blok, W. J.G., Walter, F., Heald, G. H., Caldú-Primo, A. and Jarrett, T. H.: The radial variation of H I velocity dispersions in dwarfs and spirals. *The Astronomical Journal* 150, id. 47 (12 pp) (2015).
- Ibata, R. A., Famaey, B., Lewis, G. F., Ibata, N. G. and Martin, N.: Eppur si Muove: Positional and kinematic correlations of satellite pairs in the low Z Universe. *The Astrophysical Journal* 805, id. 67 (10 pp) (2015).
- Ikeda, H., Nagao, T., Taniguchi, Y., Matsuoka, K., Kajisawa, M., Akiyama, M., Miyaji, T., Kashikawa, N., Morokuma, T., Shioya, Y., Enoki, M., Capak, P., Koekemoer, A. M., Masters, D., Salvato, M., Sanders, D. B., Schinnerer, E. and Scoville, N. Z.: The quasar-LBG two-point angular cross-correlation function at  $z \sim 4$  in the COSMOS field. *The Astrophysical Journal* 809, id. 138 (14 pp) (2015).
- Izumi, T., Kohno, K., Aalto, S., Doi, A., Espada, D., Fathi, K., Harada, N., Hatsukade, B., Hattori, T., Hsieh, P.-Y., Ikarashi, S., Imanishi, M., Iono, D., Ishizuki, S., Krips, M., Martín, S., Matsushita, S., Meier, D. S., Nagai, H., Nakai, N., Nakajima, T., Nakanishi, K., Nomura, H., Regan, M. W., Schinnerer, E. et al.: ALMA observations of the submillimeter dense molecular gas tracers in the luminous type-1 active nucleus of NGC 7469. *The Astrophysical Journal* 811, id. 39(15 pp) (2015).
- Jackson, R. J., Jeffries, R. D., Lewis, J., Koposov, S. E., Sacco, G. G., Randich, S., Gilmore, G., Asplund, M., Binney, J., Bonifacio, P., Drew, J. E., Feltzing, S., Ferguson, A. M. N., Micela, G., Negueruela, I., Prusti, T., Rix, H.-W., Vallenari, A., Alfaro, E. J., Allende Prieto, C., Babusiaux, C., Bensby, T., Blomme, R., Bragaglia, A., Flaccomio, E. et al.: The Gaia-ESO Survey: Empirical determination of the precision of stellar radial velocities and projected rotation velocities. *Astronomy and Astrophysics* 580, id. A75 (13 pp) (2015).
- Janz, J., Forbes, D. A., Norris, M. A., Strader, J., Penny, S. J., Fagioli, M. and Romanowsky, A. J.: How elevated is the dynamical-to-stellar mass ratio of the ultracompact dwarf S999? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 449, 1716-1730 (2015).
- Jennings, Z. G., Romanowsky, A. J., Brodie, J. P., Janz, J., Norris, M. A., Forbes, D. A., Martinez-Delgado, D., Fagioli, M. and Penny, S. J.: NGC 3628-UCD1: a possible  $\omega$  Cen analog embedded in a stellar stream. *The Astrophysical Journal Letters* 812, id. L10 (6 pp) (2015).
- Jofré, P., Heiter, U., Soubiran, C., Blanco-Cuaresma, S., Masseron, T., Nordlander, T., Chemin, L., Worley, C. C., Van Eck, S., Hourihane, A., Gilmore, G., Adibekyan, V., Bergemann, M., Cantat-Gaudin, T., Delgado-Mena, E., González Hernández, J. I., Guiglion, G., Lardo, C., de Laverny, P., Lind, K., Magrini, L., Mikolaitis, S., Montes, D., Pancino, E., Recio-Blanco, A. et al.: Gaia FGK benchmark stars: abundances of  $\alpha$  and iron-peak elements. *Astronomy and Astrophysics* 582, id. A81 (49 pp) (2015).
- Johnson, L. C., Seth, A. C., Dalcanton, J. J., Wallace, M. L., Simpson, R. J., Lintott, C. J., Kapadia, A., Skillman, E. D., Caldwell, N., Fouesneau, M., Weisz, D. R., Williams, B. F., Beerman, L. C., Gouliermis, D. A. and Sarajedini, A.: PHAT Stellar Cluster Survey. II. Andromeda project cluster catalog. *The Astrophysical Journal* 802, id. 127 (22 pp) (2015).
- Johnston, K. G., Robitaille, T. P., Beuther, H., Linz, H., Boley, P., Kuiper, R., Keto, E., Hoare, M. G. and van Boekel, R.: A Keplerian-like disk around the forming O-type star AFGL 4176. *The Astrophysical Journal Letters* 813, id. L19 (5 pp) (2015).

- Juhász, A., Benisty, M., Pohl, A., Dullemond, C. P., Dominik, C. and Paardekooper, S.-J.: Spiral arms in scattered light images of protoplanetary discs: are they the signposts of planets? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 1147-1157 (2015).
- Juvela, M., Demyk, K., Doi, Y., Hughes, A., Lefèvre, C., Marshall, D. J., Meny, C., Montillaud, J., Pagani, L., Paradis, D., Ristorcelli, I., Malinen, J., Montier, L. A., Paladini, R., Pelkonen, V.-M. and Rivera-Ingraham, A.: Galactic cold cores. VI. Dust opacity spectral index. *Astronomy and Astrophysics* 584, id. A94 (134 pp) (2015).
- Kains, N., Arellano Ferro, A., Figuera Jaimes, R., Bramich, D. M., Skottfelt, J., Jørgensen, U. G., Tsapras, Y., Street, R. A., Browne, P., Dominik, M., Horne, K., Hundertmark, M., Ipatov, S., Snodgrass, C., Steele, I. A., Consortium, L. R., Alsubai, K. A., Bozza, V., Calchi Novati, S., Ciceri, S., D' Ago, G., Galianni, P., Gu, S.-H., Harpsøe, K., Hinse, T. C. et al.: A census of variability in globular cluster M 68 (NGC 4590). *Astronomy and Astrophysics* 578, id. A128 (23 pp) (2015).
- Kang, M., Choi, M., Stutz, A. M. and Tatematsu, K.: Measurement of HDCO/H<sub>2</sub>CO ratios in the envelopes of extremely cold protostars in Orion. *The Astrophysical Journal* 814, id. 31 (9 pp) (2015).
- Kannan, R., Macciò, A. V., Fontanot, F., Moster, B. P., Karman, W. and Somerville, R. S.: From discs to bulges: effect of mergers on the morphology of galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 4347-4360 (2015).
- Kanuchova, Z., Brunetto, R., Fulvio, D. and Strazzulla, G.: Near-ultraviolet bluing after space weathering of silicates and meteorites. *Icarus* 258, 289-296 (2015).
- Kapala, M. J., Sandstrom, K., Groves, B., Croxall, K., Kreckel, K., Dalcanton, J., Leroy, A., Schinnerer, E., Walter, F. and Fouesneau, M.: The survey of lines in M31 (SLIM): Investigating the origins of [C II] emission. *The Astrophysical Journal* 798, id. 24 (18 pp) (2015).
- Karman, W., Caputi, K. I., Grillo, C., Balestra, I., Rosati, P., Vanzella, E., Coe, D., Christensen, L., Koekemoer, A. M., Krühler, T., Lombardi, M., Mercurio, A., Nonino, M. and van der Wel, A.: MUSE integral-field spectroscopy towards the Frontier Fields cluster Abell S1063. I. Data products and redshift identifications. *Astronomy and Astrophysics* 574, id. A11 (11 pp) (2015).
- Karman, W., Macciò, A. V., Kannan, R., Moster, B. P. and Somerville, R. S.: Star formation in mergers with cosmologically motivated initial conditions. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 2984-3000 (2015).
- Kartaltepe, J. S., Mozena, M., Kocevski, D., McIntosh, D. H., Lotz, J., Bell, E. F., Faber, S., Ferguson, H., Koo, D., Bassett, R., Bernyk, M., Blancato, K., Bournaud, F., Cassata, P., Castellano, M., Cheung, E., Conselice, C. J., Croton, D., Dahlen, T., de Mello, D. F., DeGroot, L., Donley, J., Guedes, J., Grogin, N., Hathi, N. et al.: CANDELS visual classifications: Scheme, data release, and first results. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 221, id. 11 (17 pp) (2015).
- Kaźmierczak-Barthel, M., Semenov, D. A., van der Tak, F. F. S., Chavarría, L. and van der Wiel, M. H.D.: The HIFI spectral survey of AFGL 2591 (CHESS). III. Chemical structure of the protostellar envelope. *Astronomy and Astrophysics* 574, id. A71 (15 pp) (2015).
- Kendrew, S., Scheithauer, S., Bouchet, P., Amiaux, J., Azzollini, R., Bouwman, J., Chen, C. H., Dubreuil, D., Fischer, S., Glasse, A., Greene, T. P., Lagage, P.-O., Lahuis, F., Ronayette, S., Wright, D. and Wright, G. S.: The Mid-Infrared Instrument for the James Webb Space Telescope, IV: The Low-Resolution Spectrometer. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 127, 623-632 (2015).
- Kimura, H., Kolokolova, L., Li, A., Augereau, J.-C., Kaneda, H. and Jäger, C.: Cosmic Dust VII. Planetary and Space Science 116, 1-5 (2015).
- Klaassen, P. D., Johnston, K. G., Leurini, S. and Zapata, L. A.: The SiO outflow from IRAS 17233-3606 at high resolution. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A54 (10 pp) (2015).
- Knapen, J. H., Cisternas, M. and Querejeta, M.: Interacting galaxies in the nearby Universe: only moderate increase of star formation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 1742-1750 (2015).
- Koepferl, C. M., Robitaille, T. P., Morales, E. F.E. and Johnston, K. G.: Main-sequence stars masquerading as young stellar objects in the central molecular zone. *The Astrophysical Journal* 799, id. 53 (11 pp) (2015).
- Konishi, M., Konishi, M., Shibai, H., Sumi, T., Fukagawa, M., Matsuo, T., Samland, M. S., Yamamoto, K., Sudo, J., Itoh, Y., Arimoto, N., Kajisawa, M., Abe, L., Brandner, W., Brandt, T. D., Carson, J., Currie, T., Egner, S. E., Feldt, M., Goto, M., Grady, C. A., Guyon, O., Hashimoto, J., Hayano, Y., Hayashi, M. et al.: Indications of M-dwarf deficits in the halo and thick disk of the Galaxy. *Publications of the Astronomical Society of Japan* 67, id.113 (13 pp) (2015).
- Könyves, V., André, P., Men'shchikov, A., Palmeirim, P., Arzoumanian, D., Schneider, N., Roy, A., Didelon, P., Maury, A., Shimajiri, Y., Di Francesco, J., Bontemps, S., Peretto, N., Benedettini, M., Bernard, J.-P., Elia, D., Griffin, M. J., Hill, T., Kirk, J., Ladjelate, B., Marsh, K., Martin, P. G., Motte, F., Nguyêñ Luong, Q., Pezzuto, S. et al.: A census of dense cores in the Aquila cloud complex: SPIRE/PACS observations from the Herschel Gould Belt survey. *Astronomy and Astrophysics* 584, id. A91 (33 pp) (2015).
- Koposov, S. E., Casey, A. R., Belokurov, V., Lewis, J. R., Gilmore, G., Worley, C., Hourihane, A., Randich, S., Bensby, T., Bragaglia, A., Bergemann, M., Carraro, G., Costado, M. T., Flaccomio, E., Francois, P., Heiter, U., Hill, V., Jofre, P., Lando, C., Lanzafame, A. C., de Laverny, P., Monaco, L., Morbidelli, L., Sbordone, L., Mikolaitis, Š. et al.: Kinematics and chemistry of recently discovered Reticulum 2 and Horologium 1 dwarf galaxies. *The Astrophysical Journal* 811, id. 62 (14 pp) (2015).
- Krasnokutski, S. A. and Huisken, F.: Resonant two-photon ionization spectroscopy of Al atoms and dimers solvated in helium nanodroplets. *Journal of Chemical Physics* 142, id. 084311 (6 pp) (2015).
- Kratzer, R. M. and Richards, G. T.: Mean and extreme radio properties of quasars and the origin of radio emission. *The Astronomical Journal* 149, id. 61 (25 pp) (2015).
- Krawczyk, C. M., Richards, G. T., Gallagher, S. C., Leighly, K. M., Hewett, P. C., Ross, N. P. and Hall, P. B.: Mining for dust in type 1 quasars. *The Astronomical Journal* 149, id. 203 (20 pp) (2015).
- Kreckel, K., Croxall, K., Groves, B., van de Weygaert, R. and Pogge, R. W.: The metallicity of void dwarf galaxies. *The Astrophysical Journal Letters* 798, id. L15 (6 pp) (2015).
- Krogager, J.-K., Geier, S., Fynbo, J. P.U., Venemans, B. P., Ledoux, C., Møller, P., Noterdaeme, P., Vestergaard, M., Kangas, T., Pursimo, T., Saturni, F. G. and Smirnova, O.: The High AV Quasar Survey: Reddened quasi-stellar objects selected from optical/near-infrared Photometry—II. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 217, id. 5 (26 pp) (2015).
- Krumholz, M. R., Adamo, A., Fumagalli, M., Wofford, A., Calzetti, D., Lee, J. C., Whitmore, B. C., Bright, S. N., Grasha, K., Gouliermis, D. A., Kim, H., Nair, P., Ryon, J. E., Smith, L. J., Thilker, D., Ubeda, L. and Zackrisson, E.: Star cluster properties in

- two LEGUS galaxies computed with stochastic stellar population synthesis models. *The Astrophysical Journal* 812, id. 147 (23 pp) (2015).
- Krumpe, M., Miyaji, T., Husemann, B., Fanidakis, N., Coil, A. L. and Aceves, H.: The spatial clustering of ROSAT All-Sky Survey Active Galactic Nuclei. IV. More massive black holes reside in more massive dark matter halos. *The Astrophysical Journal* 815, id. 21 (23 pp) (2015).
- Kuiper, R., Yorke, H. W. and Turner, N. J.: Protostellar outflows and radiative feedback from massive stars. *The Astrophysical Journal* 800, id. 86 (16 pp) (2015).
- Kulkarni, G., Hennawi, J. F., Oñorbe, J., Rorai, A. and Springel, V.: Characterizing the pressure smoothing scale of the intergalactic medium. *The Astrophysical Journal* 812, id. 30 (15 pp) (2015).
- Kürster, M., Trifonov, T., Reffert, S., Kostogryz, N. M. and Rodler, F.: Disentangling 2:1 resonant radial velocity orbits from eccentric ones and a case study for HD 27894. *Astronomy and Astrophysics* 577, id. A103 (11 pp) (2015).
- Laevens, B. P.M., Martin, N. F., Bernard, E. J., Schlafly, E. F., Sesar, B., Rix, H.-W., Bell, E. F., Ferguson, A. M. N., Slater, C. T., Sweeney, W. E., Wyse, R. F.G., Huxor, A. P., Burgett, W. S., Chambers, K. C., Draper, P. W., Hodapp, K. A., Kaiser, N., Magnier, E. A., Metcalfe, N., Tonry, J. L., Wainscoat, R. J. and Waters, C.: Sagittarius II, Draco II and Laevens 3: Three new Milky Way satellites discovered in the Pan-STARRS 1 3 $\pi$  Survey. *The Astrophysical Journal* 813, id. 44 (9 pp) (2015).
- Laevens, B. P.M., Martin, N. F., Ibata, R. A., Rix, H.-W., Bernard, E. J., Bell, E. F., Sesar, B., Ferguson, A. M. N., Schlafly, E. F., Slater, C. T., Burgett, W. S., Chambers, K. C., Flewelling, H., Hodapp, K. A., Kaiser, N., Kudritzki, R.-P., Lupton, R. H., Magnier, E. A., Metcalfe, N., Morgan, J. S., Price, P. A., Tonry, J. L., Wainscoat, R. J. and Waters, C.: A new faint Milky Way satellite discovered in the Pan-STARRS1 3 $\pi$  Survey. *The Astrophysical Journal Letters* 802, id. L18 (6 pp) (2015).
- Lanzafame, A. C., Frasca, A., Damiani, F., Franciosini, E., Cottaar, M., Sousa, S. G., Tabernero, H. M., Klutsch, A., Spina, L., Biazzo, K., Prisinzano, L., Sacco, G. G., Randich, S., Brugaletta, E., Delgado Mena, E., Adibekyan, V., Montes, D., Bonito, R., Gameiro, J. F., Alcalá, J. M., González Hernández, J. I., Jeffries, R., Messina, S., Meyer, M., Gilmore, G. et al.: Gaia-ESO Survey: Analysis of pre-main sequence stellar spectra. *Astronomy and Astrophysics* 576, id. A80 (21 pp) (2015).
- Lanzuisi, G., Ranalli, P., Georgopoulos, I., Georgakakis, A., Delvecchio, I., Akylas, T., Berta, S., Bongiorno, A., Brusa, M., Cappelluti, N., Civano, F., Comastri, A., Gilli, R., Gruppioni, C., Hasinger, G., Iwasawa, K., Koekemoer, A., Lusso, E., Marchesi, S., Mainieri, V., Merlini, A., Mignoli, M., Piconcelli, E., Pozzi, F., Rosario, D. J. et al.: Compton thick AGN in the XMM-COSMOS survey. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A137 (23 pp) (2015).
- Lardo, C., Davies, B., Kudritzki, R.-P., Gazak, J. Z., Evans, C. J., Patrick, L. R., Bergemann, M. and Plez, B.: Red supergiants as cosmic abundance probes: The first direct metallicity determination of NGC 4038 in the antennae. *The Astrophysical Journal* 812, id. 160 (8 pp) (2015).
- Lee, K.-G., Hennawi, J. F., Spergel, D. N., Weinberg, D. H., Hogg, D. W., Viel, M., Bolton, J. S., Bailey, S., Pieri, M. M., Carithers, W., Schlegel, D. J., Lundgren, B., Palanque-Delabrouille, N., Suzuki, N., Schneider, D. P. and Yèche, C.: IGM constraints from the SDSS-III/BOSS DR9 Ly $\alpha$  forest transmission probability distribution function. *The Astrophysical Journal* 799, id. 196 (32 pp) (2015).
- Lee, K. I., Dunham, M. M., Myers, P. C., Tobin, J. J., Kristensen, L. E., Pineda, J. E., Vorobyov, E. I., Offner, S. S.R., Arce, H. G., Li, Z.-Y., Bourke, T. L., Jørgensen, J. K., Goodman, A. A., Sadavoy, S. I., Chandler, C. J., Harris, R. J., Kratter, K., Looney, L. W., Melis, C., Perez, L. M. and Segura-Cox, D.: Mass assembly of stellar systems and their evolution with the SMA (MASSES). Multiplicity and the physical environment in L1448N. *The Astrophysical Journal* 814, id. 114 (16 pp) (2015).
- Leigh, N. W.C., Georgiev, I. Y., Böker, T., Knigge, C. and den Brok, M.: Nuclear star cluster formation in energy-space. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 859-869 (2015).
- Lentati, L., Wagg, J., Carilli, C. L., Riechers, D., Capak, P., Walter, F., Aravena, M., da Cunha, E., Hodge, J. A., Ivison, R. J., Smail, I., Sharon, C., Daddi, E., Decarli, R., Dickinson, M., Sargent, M., Scoville, N. and Smolčić, V.: COLDz: Karl G. Jansky very large array discovery of a gas-rich galaxy in COSMOS. *The Astrophysical Journal* 800, id. 67 (5 pp) (2015).
- Leroy, A. K., Bolatto, A. D., Ostriker, E. C., Rosolowsky, E., Walter, F., Warren, S. R., Donovan Meyer, J., Hodge, J., Meier, D. S., Ott, J., Sandstrom, K., Schruba, A., Veilleux, S. and Zwaan, M.: ALMA reveals the molecular medium fueling the nearest nuclear starburst. *The Astrophysical Journal* 801, id. 25 (28 pp) (2015).
- Leroy, A. K., Walter, F., Decarli, R., Bolatto, A., Zschaechner, L. and Weiss, A.: Faint CO line wings in four star-forming (ultra)luminous infrared galaxies. *The Astrophysical Journal* 811, id. 15 (8 pp) (2015).
- Leroy, A. K., Walter, F., Martini, P., Roussel, H., Sandstrom, K., Ott, J., Weiss, A., Bolatto, A. D., Schuster, K. and Dessauges-Zavadsky, M.: The multi-phase cold fountain in M82 revealed by a wide, sensitive map of the molecular interstellar medium. *The Astrophysical Journal* 814, id. 83 (32 pp) (2015).
- Lewis, A. R., Dolphin, A. E., Dalcanton, J. J., Weisz, D. R., Williams, B. F., Bell, E. F., Seth, A. C., Simones, J. E., Skillman, E. D., Choi, Y., Fouesneau, M., Guhathakurta, P., Johnson, L. C., Kalirai, J. S., Leroy, A. K., Monachesi, A., Rix, H.-W. and Schruba, A.: The Panchromatic Hubble Andromeda Treasury. XI. The spatially resolved recent star formation history of M31. *The Astrophysical Journal* 805, id. 183 (21 pp) (2015).
- Lillo-Box, J., Barrado, D., Mancini, L., Henning, T., Figueira, P., Ciceri, S. and Santos, N.: Eclipsing binaries and fast rotators in the Kepler sample. Characterization via radial velocity analysis from Calar Alto. *Astronomy and Astrophysics* 576, id. A88 (16 pp) (2015).
- Lillo-Box, J., Barrado, D., Santos, N. C., Mancini, L., Figueira, P., Ciceri, S. and Henning, T.: Kepler-447b: A hot-Jupiter with an extremely grazing transit. *Astronomy and Astrophysics* 577, id. A105 (9 pp) (2015).
- Liu, Y., Joergens, V., Bayo, A., Nielbock, M. and Wang, H.: A homogeneous analysis of disks around brown dwarfs. *Astronomy and Astrophysics* 582, id. A22 (20 pp) (2015).
- Lobo Gomes, A., Klahr, H., Uribe, A. L., Pinilla, P. and Surville, C.: Vortex formation and evolution in planet harboring disks under thermal relaxation. *The Astrophysical Journal* 810, id. 94 (13 pp) (2015).
- Lobo Gomes, A., Magalhães, A. M., Pereyra, A. and Rodrigues, C. V.: A new optical polarization catalog for the Small Magellanic Cloud: The magnetic field structure. *The Astrophysical Journal* 806, id. 94 (19 pp) (2015).
- Lusso, E., Worseck, G., Hennawi, J. F., Prochaska, J. X., Vignali, C., Stern, J. and O'Meara, J. M.: The first ultraviolet quasar-stacked spectrum at  $z \sim 2.4$  from WFC3. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 449, 4204-4220 (2015).

- Lützgendorf, N., Gebhardt, K., Baumgardt, H., Noyola, E., Neumayer, N., Kissler-Patig, M. and de Zeeuw, T.: Re-evaluation of the central velocity-dispersion profile in NGC 6388. *Astronomy and Astrophysics* 581, id. A1 (8 pp) (2015).
- Macciò, A. V., Mainini, R., Penzo, C. and Bonometto, S. A.: Strongly coupled dark energy cosmologies: preserving  $\Lambda$ CDM success and easing low-scale problems – II. Cosmological simulations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 1371–1378 (2015).
- Maire, A.-L., Skemer, A. J., Hinz, P. M., Desidera, S., Esposito, S., Gratton, R., Marzari, F., Skrutskie, M. F., Biller, B. A., Defrère, D., Bailey, V. P., Leisenring, J. M., Apai, D., Bonnefoy, M., Brandner, W., Buenzli, E., Claudi, R. U., Close, L. M., Crepp, J. R., De Rosa, R. J., Eisner, J. A., Fortney, J. J., Henning, T., Hofmann, K.-H., Kopytova, T. G. et al.: The LEECH Exoplanet Imaging Survey. Further constraints on the planet architecture of the HR 8799 system (Corrigendum). *Astronomy and Astrophysics* 579, id. C2 (2 pp) (2015).
- Maire, A.-L., Skemer, A. J., Hinz, P. M., Desidera, S., Esposito, S., Gratton, R., Marzari, F., Skrutskie, M. F., Biller, B. A., Defrère, D., Bailey, V. P., Leisenring, J. M., Apai, D., Bonnefoy, M., Brandner, W., Buenzli, E., Claudi, R. U., Close, L. M., Crepp, J. R., De Rosa, R. J., Eisner, J. A., Fortney, J. J., Henning, T., Hofmann, K.-H., Kopytova, T. G. et al.: The LEECH Exoplanet Imaging Survey. Further constraints on the planet architecture of the HR 8799 system. *Astronomy and Astrophysics* 576, id. A133 (10 pp) (2015).
- Mallick, K. K., Ojha, D. K., Tamura, M., Linz, H., Samal, M. R. and Ghosh, S. K.: Study of morphology and stellar content of the Galactic H II region IRAS 16148-5011. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, 2307–2321 (2015).
- Mancini, L., Esposito, M., Covino, E., Raia, G., Southworth, J., Tregloan-Reed, J., Biazzo, K., Bonomo, A. S., Desidera, S., Lanza, A. F., Maciejewski, G., Poretti, E., Sozzetti, A., Borsa, F., Bruni, I., Ciceri, S., Claudi, R., Cosentino, R., Gratton, R., Martinez Fiorenzano, A. F., Lodato, G., Lorenzi, V., Marzari, F., Murabito, S., Affer, L. et al.: The GAPS Programme with HARPS-N at TNG. VIII. Observations of the Rossiter-McLaughlin effect and characterisation of the transiting planetary systems HAT-P-36 and WASP-11/HAT-P-10. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. A136 (15 pp) (2015).
- Mancini, L., Giacobbe, P., Littlefair, S. P., Southworth, J., Bozza, V., Damasso, M., Dominik, M., Hundertmark, M., Jørgensen, U. G., Juncher, D., Popovas, A., Rabus, M., Rahvar, S., Schmidt, R. W., Skottfelt, J., Snodgrass, C., Sozzetti, A., Alsubai, K., Bramich, D. M., Calchi Novati, S., Ciceri, S., D’Ago, G., Figuera Jaimes, R., Galianni, P., Gu, S.-H. et al.: Rotation periods and astrometric motions of the Luhman 16AB brown dwarfs by high-resolution lucky-imaging monitoring. *Astronomy and Astrophysics* 584, id. A104 (9 pp) (2015).
- Mancini, L., Hartman, J. D., Penev, K., Bakos, G. Á., Brahm, R., Ciceri, S., Henning, T., Csabry, Z., Bayliss, D., Zhou, G., Rabus, M., de Val-Borro, M., Espinoza, N., Jordán, A., Suc, V., Bhatti, W., Schmidt, B., Sato, B., Tan, T. G., Wright, D. J., Tinney, C. G., Addison, B. C., Noyes, R. W., Lázár, J., Papp, I. et al.: HATS-13b and HATS-14b: two transiting hot Jupiters from the HATSouth survey. *Astronomy and Astrophysics* 580, id. A63 (13 pp) (2015).
- Mann, A. W., Feiden, G. A., Gaidos, E., Boyajian, T. and von Braun, K.: How to constrain your M dwarf: Measuring effective temperature, bolometric luminosity, mass, and radius. *The Astrophysical Journal* 804, id. 64 (38 pp) (2015).
- Mann, A. W. and von Braun, K.: Revised filter profiles and zero points for broadband photometry. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 127, 102–125 (2015).
- Mao, S. A., Zweibel, E., Fletcher, A., Ott, J. and Tabatabaei, F.: Properties of the magneto-ionic medium in the halo of M51 revealed by wide-band polarimetry. *The Astrophysical Journal* 800, id. 92 (19 pp) (2015).
- Martig, M., Rix, H.-W., Aguirre, V. S., Hekker, S., Mosser, B., Elsworth, Y., Bovy, J., Stello, D., Anders, F., García, R. A., Tayar, J., Rodrigues, T. S., Basu, S., Carrera, R., Ceillier, T., Chaplin, W. J., Chiappini, C., Frinchaboy, P. M., García-Hernández, D. A., Hearty, F. R., Holtzman, J., Johnson, J. A., Majewski, S. R., Mathur, S., Mészáros, S. et al.: Young  $\alpha$ -enriched giant stars in the solar neighbourhood. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 2230–2243 (2015).
- Martin, N. F., Nidever, D. L., Besla, G., Olsen, K., Walker, A. R., Vivas, A. K., Gruendl, R. A., Kaleida, C. C., Muñoz, R. R., Blum, R. D., Saha, A., Conn, B. C., Bell, E. F., Chu, Y.-H., Cioni, M.-R.L., de Boer, T. J.L., Gallart, C., Jin, S., Kunder, A., Majewski, S. R., Martinez-Delgado, D., Monachesi, A., Monelli, M., Monteagudo, L., Noël, N. E.D. et al.: Hydra II: A faint and compact Milky Way dwarf galaxy found in the survey of the Magellanic Stellar History. *The Astrophysical Journal Letters* 804, id. L5 (6 pp) (2015).
- Martín, S., Kohno, K., Izumi, T., Krips, M., Meier, D. S., Aladro, R., Matsushita, S., Takano, S., Turner, J. L., Espada, D., Nakajima, T., Terashima, Y., Fathi, K., Hsieh, P.-Y., Imanishi, M., Lundgren, A., Nakai, N., Schinnerer, E., Sheth, K. and Wiklind, T.: Multimolecule ALMA observations toward the Seyfert 1 galaxy NGC 1097. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A116 (13 pp) (2015).
- Martín-Navarro, I., Vazdekis, A., La Barbera, F., Falcón-Barroso, J., Lyubenova, M., van de Ven, G., Ferreras, I., Sánchez, S. F., Trager, S. C., García-Benito, R., Mast, D., Mendoza, M. A., Sánchez-Blázquez, P., González Delgado, R., Walcher, C. J. and Team, T. C.: IMF–METALLICITY: A tight local relation revealed by the CALIFA survey. *The Astrophysical Journal Letters* 806, id. L31 (5 pp) (2015).
- Marton, G., Kiss, C., Balog, Z., Lellouch, E., Verebelyi, E. and Klaas, U.: Search for signatures of dust in the Pluto-Charon system using Herschel/PACS observations. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. L9 (5 pp) (2015).
- Meidt, S. E., Hughes, A., Dobbs, C. L., Pety, J., Thompson, T. A., García-Burillo, S., Leroy, A. K., Schinnerer, E., Colombo, D., Querejeta, M., Kramer, C., Schuster, K. F. and Dumas, G.: Short GMC lifetimes: An observational estimate with the PdBI Arcsecond Whirlpool Survey (PAWS). *The Astrophysical Journal* 806, id. 72 (13 pp) (2015).
- Meidt, S. E., Schinnerer, E., García-Burillo, S., Hughes, A., Colombo, D., Pety, J., Dobbs, C. L., Schuster, K. F., Kramer, C., Leroy, A. K., Dumas, G. and Thompson, T. A.: Erratum: »Gas Kinematics on GMC scales in M51 with PAWS: cloud stabilization through dynamical pressure« (2013, ApJ, 779, 45). *The Astrophysical Journal* 804, id. 78 (1 pp) (2015).
- Meier, D. S., Walter, F., Bolatto, A. D., Leroy, A. K., Ott, J., Rosolowsky, E., Veilleux, S., Warren, S. R., Weiß, A., Zwaan, M. A. and Zschaechner, L. K.: ALMA multi-line imaging of the nearby starburst NGC 253. *The Astrophysical Journal* 801, id. 63 (19 pp) (2015).
- Meixner, M., Panuzzo, P., Roman-Duval, J., Engelbracht, C., Babler, B., Seale, J., Hony, S., Montiel, E., Sauvage, M., Gordon, K., Misselt, K., Okumura, K., Chanial, P., Beck, T., Bernard, J.-P.,

- Bolatto, A., Bot, C., Boyer, M. L., Carlson, L. R., Clayton, G. C., Chen, C.-H.R., Cormier, D., Fukui, Y., Galametz, M., Galliano, F. et al.: Erratum: »The Herschel Inventory of the Agents of Galaxy Evolution (Heritage) in the Magellanic Clouds, a Herschel Open Time Key Program« (2013, AJ, 146, 62). *The Astronomical Journal* 149, id. 88 (2 pp) (2015).
- Menu, J., van Boekel, R., Henning, T., Leinert, C., Waelkens, C. and Waters, L. B.F.M.: The structure of disks around intermediate-mass young stars from mid-infrared interferometry. Evidence for a population of group II disks with gaps. *Astronomy and Astrophysics* 581, id. A107 (25 pp) (2015).
- Mesa, D., Gratton, R., Zurlo, A., Vigan, A., Claudi, R. U., Alberi, M., Antichi, J., Baruffolo, A., Beuzit, J.-L., Boccaletti, A., Bonnefoy, M., Costille, A., Desidera, S., Dohlen, K., Fantinel, D., Feldt, M., Fusco, T., Giro, E., Henning, T., Kasper, M., Langlois, M., Maire, A.-L., Martinez, P., Moeller-Nilsson, O., Mouillet, D. et al.: Performance of the VLT Planet Finder SPHERE. II. Data analysis and results for IFS in laboratory. *Astronomy and Astrophysics* 576, id. A121 (13 pp) (2015).
- Metchev, S. A., Heinze, A., Apai, D., Flateau, D., Radigan, J., Burgasser, A., Marley, M. S., Artigau, É., Plavchan, P. and Goldman, B.: Weather on Other Worlds. II. Survey results: Spots are ubiquitous on L and T dwarfs. *The Astrophysical Journal* 799, id. 154 (23 pp) (2015).
- Mezcua, M., Prieto, M. A., Fernández-Ontiveros, J. A., Tristram, K., Neumayer, N. and Kotilainen, J. K.: The warm molecular gas and dust of Seyfert galaxies: two different phases of accretion? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 4128-4144 (2015).
- Miettinen, O., Novak, M., Smolčić, V., Schinnerer, E., Sargent, M., Murphy, E. J., Aravena, M., Bondi, M., Carilli, C. L., Karim, A., Salvato, M. and Zamorani, G.: (Sub)millimetre interferometric imaging of a sample of COSMOS/AzTEC submillimetre galaxies. II. The spatial extent of the radio-emitting regions. *Astronomy and Astrophysics* 584, id. A32 (18 pp) (2015).
- Miettinen, O., Smolčić, V., Novak, M., Aravena, M., Karim, A., Masters, D., Riechers, D. A., Bussmann, R. S., McCracken, H. J., Ilbert, O., Bertoldi, F., Capak, P., Feruglio, C., Halliday, C., Kartaltepe, J. S., Navarrete, F., Salvato, M., Sanders, D., Schinnerer, E. and Sheth, K.: (Sub)millimetre interferometric imaging of a sample of COSMOS/AzTEC submillimetre galaxies. I. Multiwavelength identifications and redshift distribution. *Astronomy and Astrophysics* 577, id. A29 (32 pp) (2015).
- Miguel, Y., Kaltenegger, L., Linsky, J. L. and Rugheimer, S.: The effect of Lyman  $\alpha$  radiation on mini-Neptune atmospheres around M stars: application to GJ 436b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 446, 345-353 (2015).
- Minchev, I., Martig, M., Streich, D., Scannapieco, C., de Jong, R. S. and Steinmetz, M.: On the formation of galactic thick disks. *The Astrophysical Journal Letters* 804, id. L9 (5 pp) (2015).
- Mislis, D., Mancini, L., Tregloan-Reed, J., Ciceri, S., Southworth, J., D’Ago, G., Bruni, I., Baştürk, Ö., Alsubai, K. A., Bachelet, E., Bramich, D. M., Henning, T., Hinse, T. C., Iannella, A. L., Parley, N. and Schroeder, T.: High-precision multiband time series photometry of exoplanets Qatar-1b and TrES-5b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 448, 2617-2623 (2015).
- Moffett, A. J., Kannappan, S. J., Berlind, A. A., Eckert, K. D., Stark, D. V., Hendel, D., Norris, M. A. and Grogan, N. A.: ECO and RESOLVE: galaxy disk growth in environmental context. *The Astrophysical Journal* 812, id. 89 (25 pp) (2015).
- Mollière, P., van Boekel, R., Dullemond, C., Henning, T. and Mordasini, C.: Model atmospheres of irradiated exoplanets: The influence of stellar parameters, metallicity, and the C/O ratio. *The Astrophysical Journal* 813, id. 47 (28 pp) (2015).
- Momose, M., Morita, A., Fukagawa, M., Muto, T., Takeuchi, T., Hashimoto, J., Honda, M., Kudo, T., Okamoto, Y. K., Kanagawa, K. D., Tanaka, H., Grady, C. A., Sitko, M. L., Akiyama, E., Currie, T., Follette, K. B., Mayama, S., Kusakabe, N., Abe, L., Brandner, W., Brandt, T. D., Carson, J. C., Egner, S., Feldt, M., Goto, M. et al.: Detailed structure of the outer disk around HD 169142 with polarized light in H-band. *Publications of the Astronomical Society of Japan* 67, id. 83 (16 pp) (2015).
- Montet, B. T., Morton, T. D., Foreman-Mackey, D., Johnson, J. A., Hogg, D. W., Bowler, B. P., Latham, D. W., Bieryla, A. and Mann, A. W.: Stellar and planetary properties of K2 Campaign 1 candidates and validation of 17 planets, including a planet receiving Earth-like insolation. *The Astrophysical Journal* 809, id. 25 (15 pp) (2015).
- Moór, A., Henning, T., Juhász, A., Ábrahám, P., Balog, Z., Kóspál, Á., Pascucci, I., Szabó, G. M., Vavrek, R., Curé, M., Csengeri, T., Grady, C., Güsten, R. and Kiss, C.: Discovery of molecular gas around HD 131835 in an APEX molecular line survey of bright debris disks. *The Astrophysical Journal* 814, id. 42 (16 pp) (2015).
- Moór, A., Kóspál, Á., Ábrahám, P., Apai, D., Balog, Z., Grady, C., Henning, T., Juhász, A., Kiss, C., Krivov, A. V., Pawellek, N. and Szabó, G. M.: Stirring in massive, young debris discs from spatially resolved Herschel images. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, 577-597 (2015).
- Morata, O., Palau, A., González, R. F., de Gregorio-Monsalvo, I., Ribas, Á., Perger, M., Bouy, H., Barrado, D., Eiroa, C., Bayo, A., Huélamo, N., Morales-Calderón, M. and Rodríguez, L. F.: First detection of thermal radiojets in a sample of proto-brown dwarf candidates. *The Astrophysical Journal* 807, id. 55 (15 pp) (2015).
- Mordasini, C., Mollière, P., Dittkrist, K.-M., Jin, S. and Alibert, Y.: Global models of planet formation and evolution. *International Journal of Astrobiology* 14, 201-232 (2015).
- Morganson, E., Green, P. J., Anderson, S. F., Ruan, J. J., Myers, A. D., Eracleous, M., Kelly, B., Badenes, C., Bañados, E., Blanton, M. R., Bershadsky, M. A., Borissova, J., Brandt, W. N., Burgett, W. S., Chambers, K., Draper, P. W., Davenport, J. R.A., Flewelling, H., Garnavich, P., Hawley, S. L., Hodapp, K. W., Isler, J. C., Kaiser, N., Kinemuchi, K., Kudritzki, R. P. et al.: The Time Domain Spectroscopic Survey: Variable selection and anticipated results. *The Astrophysical Journal* 806, id. 244 (22 pp) (2015).
- Mortlock, A., Conselice, C. J., Hartley, W. G., Duncan, K., Lani, C., Ownsworth, J. R., Almaini, O., Wel, A.v.d., Huang, K.-H., Ashby, M. L.N., Willner, S. P., Fontana, A., Dekel, A., Koekemoer, A. M., Ferguson, H. C., Faber, S. M., Grogan, N. A. and Kocevski, D. D.: Deconstructing the galaxy stellar mass function with UKIDSS and CANDELS: the impact of colour, structure and environment. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, 2-24 (2015).
- Muñoz-Mateos, J. C., Sheth, K., Regan, M., Kim, T., Laine, J., Erroz-Ferrer, S., Gil de Paz, A., Comeron, S., Hinz, J., Laurikainen, E., Salo, H., Athanassoula, E., Bosma, A., Bouquin, A. Y.K., Schinnerer, E., Ho, L., Zaritsky, D., Gadotti, D. A., Madore, B., Holwerda, B., Menéndez-Delmestre, K., Knapen, J. H., Meidt, S., Querejeta, M., Mizusawa, T. et al.: The Spitzer Survey of Stellar Structure in Galaxies (S<sup>4</sup>G): Stellar masses, sizes, and radial profiles for 2352 nearby galaxies. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 219, id. 3 (22 pp) (2015).

- Murphy, E. J., Dong, D., Leroy, A. K., Momjian, E., Condon, J. J., Helou, G., Meier, D. S., Ott, J., Schinnerer, E. and Turner, J. L.: Microwave continuum emission and dense gas tracers in NGC 3627: Combining Jansky VLA and ALMA observations. *The Astrophysical Journal* 813, id. 118 (9 pp) (2015).
- Myers, A. D., Palanque-Delabrouille, N., Prakash, A., Pâris, I., Yeche, C., Dawson, K. S., Bovy, J., Lang, D., Schlegel, D. J., Newman, J. A., Petitjean, P., Kneib, J.-P., Laurent, P., Percival, W. J., Ross, A. J., Seo, H.-J., Tinker, J. L., Armengaud, E., Bernstein, J., Burtin, E., Cai, Z., Comparat, J., Kasliwal, M., Kulkarni, S. R., Laher, R. et al.: The SDSS-IV Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Quasar target selection. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 221, id. 27 (24 pp) (2015).
- Narayanan, D., Turk, M., Feldmann, R., Robitaille, T., Hopkins, P., Thompson, R., Hayward, C., Ball, D., Faucher-Giguère, C.-A. and Kereš, D.: The formation of submillimetre-bright galaxies from gas infall over a billion years. *Nature* 525, 496-499 (2015).
- Naslim, N., Kemper, F., Madden, S. C., Hony, S., Chu, Y.-H., Galliano, F., Bot, C., Yang, Y., Seok, J., Oliveira, J. M., van Loon, J. T., Meixner, M., Li, A., Hughes, A., Gordon, K. D., Otsuka, M., Hirashita, H., Morata, O., Lebouteiller, V., Indebetouw, R., Srinivasan, S., Bernard, J.-P. and Reach, W. T.: Molecular hydrogen emission in the interstellar medium of the Large Magellanic Cloud. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 446, 2490-2504 (2015).
- Nataf, D. M., Udalski, A., Skowron, J., Szymański, M. K., Kubak, M., Pietrzyński, G., Soszyński, I., Ulaczyk, K., Wyrzykowski, Ł., Poleski, R., Athanassoula, E., Ness, M., Shen, J. and Li, Z.-Y.: The X-shaped Milky Way bulge in OGLE-III photometry and in N-body models. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, 1535-1549 (2015).
- Navarrete, C., Contreras Ramos, R., Catelan, M., Clement, C. M., Gran, F., Alonso-García, J., Angeloni, R., Hempel, M., Dékány, I. and Minniti, D.: Updated census of RR Lyrae stars in the globular cluster ω Centauri (NGC 5139). *Astronomy and Astrophysics* 577, id. A99 (13 pp) (2015).
- Ness, M., Hogg, D. W., Rix, H.-W., Ho, A. Y.Q. and Zasowski, G.: The Cannon: A data-driven approach to stellar label determination. *The Astrophysical Journal* 808, id. 16 (21 pp) (2015).
- Ninan, J. P., Ojha, D. K., Baug, T., Bhatt, B. C., Mohan, V., Ghosh, S. K., Men'shchikov, A., Anupama, G. C., Tamura, M. and Henning, T.: V899 Mon: An outbursting protostar with a peculiar light curve, and its transition phases. *The Astrophysical Journal* 815, id. 4 (19 pp) (2015).
- Noël, N. E.D., Conn, B. C., Read, J. I., Carrera, R., Dolphin, A. and Rix, H.-W.: The MAGellanic Inter-Cloud (MAGIC) project – II. Slicing up the bridge. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 4222-4235 (2015).
- Norris, M. A., Escudero, C. G., Faifer, F. R., Kannappan, S. J., Forte, J. C. and van den Bosch, R. C. E.: An extended star formation history in an ultra-compact dwarf. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 3615-3626 (2015).
- Ober, F., Wolf, S., Uribe, A. L. and Klahr, H. H.: Tracing planet-induced structures in circumstellar disks using molecular lines. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. A105 (19 pp) (2015).
- Oh, S.-H., Hunter, D. A., Brinks, E., Elmegreen, B. G., Schruba, A., Walter, F., Rupen, M. P., Young, L. M., Simpson, C. E., Johnson, M. C., Herrmann, K. A., Ficut-Vicas, D., Cigan, P., Heesen, V., Ashley, T. and Zhang, H.-X.: High-resolution mass models of dwarf galaxies from LITTLE THINGS. *The Astronomical Journal* 149, id. 180 (96 pp) (2015).
- Oñorbe, J., Boylan-Kolchin, M., Bullock, J. S., Hopkins, P. F., Kereš, D., Faucher-Giguère, C.-A., Quataert, E. and Murray, N.: Forged in FIRE: cusps, cores and baryons in low-mass dwarf galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 2092-2106 (2015).
- Ormel, C. W., Kuiper, R. and Shi, J.-M.: Hydrodynamics of embedded planets' first atmospheres – I. A centrifugal growth barrier for 2D flows. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 446, 1026-1040 (2015).
- Ormel, C. W., Shi, J.-M. and Kuiper, R.: Hydrodynamics of embedded planets' first atmospheres – II. A rapid recycling of atmospheric gas. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, 3512-3525 (2015).
- Pacifci, C., da Cunha, E., Charlot, S., Rix, H.-W., Fumagalli, M., Wel, A.v.d., Franx, M., Maseda, M. V., van Dokkum, P. G., Brammer, G. B., Momcheva, I., Skelton, R. E., Whitaker, K., Leja, J., Lundgren, B., Kassin, S. A. and Yi, S. K.: On the importance of using appropriate spectral models to derive physical properties of galaxies at  $0.7 < z < 2.8$ . *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, 786-805 (2015).
- Pattle, K., Ward-Thompson, D., Kirk, J. M., White, G. J., Drabek-Maunder, E., Buckle, J., Beaulieu, S. F., Berry, D. S., Broekhoven-Fiene, H., Currie, M. J., Fich, M., Hatchell, J., Kirk, H., Jenness, T., Johnstone, D., Mottram, J. C., Nutter, D., Pineda, J. E., Quinn, C., Salji, C., Tisi, S., Walker-Smith, S., Francesco, J. D., Hogerheijde, M. R., André, P. et al.: The JCMT Gould Belt Survey: first results from the SCUBA-2 observations of the Ophiuchus molecular cloud and a virial analysis of its prestellar core population. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 450, 1094-1122 (2015).
- Pérez, L. M., Chandler, C. J., Isella, A., Carpenter, J. M., Andrews, S. M., Calvet, N., Corder, S. A., Deller, A. T., Dullemond, C. P., Greaves, J. S., Harris, R. J., Henning, T., Kwon, W., Lazio, J., Linz, H., Mundy, L. G., Ricci, L., Sargent, A. I., Storm, S., Tazzari, M., Testi, L. and Wilner, D. J.: Grain growth in the circumstellar disks of the young stars CY Tau and DoAr 25. *The Astrophysical Journal* 813, id. 41 (17 pp) (2015).
- Pirzkal, N., Coe, D., Frye, B. L., Brammer, G., Moustakas, J., Rothberg, B., Broadhurst, T. J., Bouwens, R., Bradley, L., van der Wel, A., Kelson, D. D., Donahue, M., Zitrin, A., Moustakas, L. and Barker, E.: Not in our backyard: Spectroscopic support for the CLASH  $z = 11$  candidate MACS 0647-JD. *The Astrophysical Journal* 804, id. 11 (7 pp) (2015).
- Piso, A.-M.A., Öberg, K. I., Birnstiel, T. and Murray-Clay, R. A.: C/O and snowline locations in protoplanetary disks: The effect of radial drift and viscous gas accretion. *The Astrophysical Journal* 815, id. 109 (14 pp) (2015).
- Podigachoski, P., Barthel, P., Haas, M., Leipski, C. and Wilkes, B.: The unification of powerful quasars and radio galaxies and their relation to other massive galaxies. *The Astrophysical Journal Letters* 806, id. L11 (5 pp) (2015).
- Podigachoski, P., Barthel, P. D., Haas, M., Leipski, C., Wilkes, B., Kuraszkiewicz, J., Westhues, C., Willner, S. P., Ashby, M. L.N., Chini, R., Clements, D. L., Fazio, G. G., Labiano, A., Lawrence, C., Meisenheimer, K., Peletier, R. F., Siebenmorgen, R. and Verdoes Kleijn, G.: Star formation in  $z > 1$  3CR host galaxies as seen by Herschel. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A80 (28 pp) (2015).
- Pohl, A., Pinilla, P., Benisty, M., Ataiee, S., Juhász, A., Dullemond, C. P., Van Boekel, R. and Henning, T.: Scattered light images of spiral arms in marginally gravitationally unstable discs with an embedded planet. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 1768-1778 (2015).

- Popping, G., Caputi, K. I., Trager, S. C., Somerville, R. S., Dekel, A., Kassin, S. A., Kocevski, D. D., Koekemoer, A. M., Faber, S. M., Ferguson, H. C., Galametz, A., Grogin, N. A., Guo, Y., Lu, Y., Wel, A.v.d. and Weiner, B. J.: The inferred evolution of the cold gas properties of CANDELS galaxies at  $0.5 < z < 3.0$ . *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 2258-2276 (2015).
- Pota, V., Brodie, J. P., Bridges, T., Strader, J., Romanowsky, A. J., Villaume, A., Jennings, Z., Faifer, F. R., Pastorello, N., Forbes, D. A., Campbell, A., Usher, C., Foster, C., Spitler, L. R., Caldwell, N., Forte, J. C., Norris, M. A., Zepf, S. E., Beasley, M. A., Gebhardt, K., Hanes, D. A., Sharples, R. M. and Arnold, J. A.: A SLUGGS and Gemini/GMOS combined study of the elliptical galaxy M60: wide-field photometry and kinematics of the globular cluster system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 450, 1962-1983 (2015).
- Potrick, K. and Huisken, F.: Photoluminescence properties of silicon nanocrystals interacting with gold nanoparticles via exciton-plasmon coupling. *Physical Review B* 91, id.125306 (7 pp) (2015).
- Price-Whelan, A. M., Johnston, K. V., Sheffield, A. A., Laporte, C. F.P. and Sesar, B.: A reinterpretation of the Triangulum-Andromeda stellar clouds: a population of halo stars kicked out of the Galactic disc. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 676-685 (2015).
- Quanz, S. P., Crossfield, I., Meyer, M. R., Schmalzl, E. and Held, J.: Direct detection of exoplanets in the 3–10  $\mu\text{m}$  range with E-ELT/METIS. *International Journal of Astrobiology* 14, 279-289 (2015).
- Querejeta, M., Eliche-Moral, M., Tapia, T., Borlaff, A., van de Ven, G., Lyubenova, M., Martig, M., Falcón-Barroso, J., Méndez-Abreu, J., Zamorano, J. and Gallego, J.: Creating S0s with major mergers: A 3D view. *Galaxies* 3, 202-211 (2015).
- Querejeta, M., Eliche-Moral, M. C., Tapia, T., Borlaff, A., Rodríguez-Pérez, C., Zamorano, J. and Gallego, J.: Formation of S0 galaxies through mergers. Bulge-disc structural coupling resulting from major mergers. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A78 (23 pp) (2015).
- Querejeta, M., Eliche-Moral, M. C., Tapia, T., Borlaff, A., van de Ven, G., Lyubenova, M., Martig, M., Falcón-Barroso, J. and Méndez-Abreu, J.: Formation of S0 galaxies through mergers. Explaining angular momentum and concentration change from spirals to S0s. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. L2 (6 pp) (2015).
- Querejeta, M., Meidt, S. E., Schinnerer, E., Cisternas, M., Muñoz-Mateos, J. C., Sheth, K., Knapen, J., van de Ven, G., Norris, M. A., Peletier, R., Laurikainen, E., Salo, H., Holwerda, B. W., Athanassoula, E., Bosma, A., Groves, B., Ho, L. C., Gadotti, D. A., Zaritsky, D., Regan, M., Hinz, J., Gil de Paz, A., Menendez-Delmestre, K., Seibert, M., Mizusawa, T. et al.: The Spitzer Survey of Stellar Structure in Galaxies (S<sup>4</sup>G): Precise stellar mass distributions from automated dust correction at 3.6  $\mu\text{m}$ . *The Astrophysical Journal Supplement Series* 219, id. 5 (19 pp) (2015).
- Raettig, N., Klahr, H. and Lyra, W.: Particle trapping and streaming instability in vortices in protoplanetary disks. *The Astrophysical Journal* 804, id. 35 (16 pp) (2015).
- Ragan, S. E., Henning, T., Beuther, H., Linz, H. and Zahorecz, S.: Fragmentation and kinematics of dense molecular cores in the filamentary infrared-dark cloud G011.11-0.12. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A119 (9 pp) (2015).
- Rebull, L. M., Stauffer, J. R., Cody, A. M., Günther, H. M., Hillenbrand, L. A., Poppenhaeger, K., Wolk, S. J., Hora, J., Hernandez, J., Bayo, A., Covey, K., Forbrich, J., Gutermuth, R., Morales-Calderón, M., Plavchan, P., Song, I., Bouy, H., Terebey, S., Cuillandre, J. C. and Allen, L. E.: YSOVAR: Mid-infrared variability in NGC 1333. *The Astronomical Journal* 150, id. 175 (37 pp) (2015).
- Rezaei Kh., S., Bailer-Jones, C. A.L. and Hanson, R. J.: Getting ready for Gaia: three-dimensional modeling of dust in the Milky Way. *Memorie della Societa Astronomica Italiana* 86, 642-645 (2015).
- Rich, E. A., Wisniewski, J. P., Mayama, S., Brandt, T. D., Hashimoto, J., Kudo, T., Kusakabe, N., Espaillat, C., Abe, L., Akiyama, E., Brandner, W., Carson, J. C., Currie, T., Egner, S., Feldt, M., Follette, K., Goto, M., Grady, C. A., Guyon, O., Hayano, Y., Hayashi, M., Hayashi, S. S., Henning, T., Hodapp, K. W., Ishii, M. et al.: Near-IR polarized scattered light imagery of the DoAr 28 transitional disk. *The Astronomical Journal* 150, id. 86 (9 pp) (2015).
- Richards, G. T., Myers, A. D., Peters, C. M., Krawczyk, C. M., Chase, G., Ross, N. P., Fan, X., Jiang, L., Lacy, M., McGreer, I. D., Trump, J. R. and Riegel, R. N.: Bayesian high-redshift quasar classification from optical and mid-IR photometry. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 219, id. 39 (21 pp) (2015).
- Ricker, G. R., Winn, J. N., Vanderspek, R., Latham, D. W., Bakos, G. Á., Bean, J. L., Berta-Thompson, Z. K., Brown, T. M., Buchhave, L., Butler, N. R., Butler, R. P., Chaplin, W. J., Charbonneau, D., Christensen-Dalsgaard, J., Clampin, M., Deming, D., Doty, J., De Lee, N., Dressing, C., Dunham, E. W., Endl, M., Fressin, F., Ge, J., Henning, T., Holman, M. J. et al.: Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems* 1, id. 014003 (2015 online).
- Rieke, G. H., Wright, G. S., Böker, T., Bouwman, J., Colina, L., Glasse, A., Gordon, K. D., Greene, T. P., Güdel, M., Henning, T., Justtanont, K., Lagage, P.-O., Meixner, M. E., Nørgaard-Nielsen, H.-U., Ray, T. P., Ressler, M. E., van Dishoeck, E. F. and Waelkens, C.: The mid-infrared instrument for the James Webb Space Telescope, I: Introduction. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 127, 584-594 (2015).
- Riviere-Marichalar, P., Bayo, A., Kamp, I., Vicente, S., Williams, J. P., Barrado, D., Eiroa, C., Duchêne, G., Montesinos, B., Mathews, G., Podio, L., Dent, W. R.F., Huélamo, N. and Merín, B.: Herschel-PACS observations of [OI] and H<sub>2</sub>O in Chamaeleon II. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A19 (10 pp) (2015).
- Robles, S., Domínguez-Tenreiro, R., Oñorbe, J. and Martínez-Serrano, F. J.: Lagrangian volume deformations around simulated galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 486-507 (2015).
- Roccatagliata, V., Dale, J. E., Ratzka, T., Testi, L., Burkert, A., Koepferl, C., Sicilia-Aguilar, A., Eiroa, C. and Gaczkowski, B.: A network of filaments detected by Herschel in the Serpens core. A laboratory to test simulations of low-mass star formation. *Astronomy and Astrophysics* 584, id. A119 (16 pp) (2015).
- Rosario, D. J., McIntosh, D. H., van der Wel, A., Kartaltepe, J., Lang, P., Santini, P., Wuyts, S., Lutz, D., Rafelski, M., Villforth, C., Alexander, D. M., Bauer, F. E., Bell, E. F., Berta, S., Brandt, W. N., Conselice, C. J., Dekel, A., Faber, S. M., Ferguson, H. C., Genzel, R., Grogin, N. A., Kocevski, D. D., Koekemoer, A. M., Koo, D. C., Lotz, J. M. et al.: The host galaxies of X-ray selected active galactic nuclei to  $z = 2.5$ : Structure, star formation, and their relationships from CANDELS and Herschel/PACS. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A85 (24 pp) (2015).
- Rosenberg, M. J.F., van der Werf, P. P., Aalto, S., Armus, L., Charmandaris, V., Díaz-Santos, T., Evans, A. S., Fischer, J., Gao, Y., González-Alfonso, E., Greve, T. R., Harris, A. I., Henkel, C., Israel, F. P., Isaak, K. G., Kramer, C., Meijerink, R., Naylor, D. A., Sanders, D. B., Smith, H. A., Spaans, M., Spinoglio, L., Stacey, G. J., Veenendaal, I., Veilleux, S. et al.: The Herschel Comprehensive

- (U)LIRG Emission Survey (HERCULES): CO ladders, fine structure lines, and neutral gas cooling. *The Astrophysical Journal* 801, id. 72 (18 pp) (2015).
- Ross, N. P., Hamann, F., Zakamska, N. L., Richards, G. T., Villforth, C., Strauss, M. A., Greene, J. E., Alexandroff, R., Brandt, W. N., Liu, G., Myers, A. D., Pâris, I. and Schneider, D. P.: Extremely red quasars from SDSS, BOSS and WISE: classification of optical spectra. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 3932-3952 (2015).
- Rouillé, G., Kirchhuebel, T., Rink, M., Gruenewald, M., Kröger, J., Forker, R. and Fritz, T.: Identification of vibrational excitations and optical transitions of the organic electron donor tetraphenyldibenzo-periflanthene (DBP). *Physical Chemistry Chemical Physics* 17, 30404-30416 (2015).
- Rouillé, G., Krasnokutski, S. A., Fulvio, D., Jäger, C., Henning, T., Garcia, G. A., Tang, X.-F. and Nahon, L.: Dissociative photoionization of polycyclic aromatic hydrocarbon molecules carrying an ethynyl group. *The Astrophysical Journal* 810, id. 114 (9 pp) (2015).
- Rowlands, K., Wild, V., Nesvadba, N., Sibthorpe, B., Mortier, A., Lehnert, M. and da Cunha, E.: The evolution of the cold interstellar medium in galaxies following a starburst. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 448, 258-279 (2015).
- Rubin, K. H.R., Hennawi, J. F., Prochaska, J. X., Simcoe, R. A., Myers, A. and Lau, M. W.: Dissecting the gaseous halos of  $z \sim$  damped Ly $\alpha$  systems with close quasar pairs. *The Astrophysical Journal* 808, id. 38 (30 pp) (2015).
- Ruchti, G. R., Read, J. I., Feltzing, S., Serenelli, A. M., McMillan, P., Lind, K., Bensby, T., Bergemann, M., Asplund, M., Vallenari, A., Flaccomio, E., Pancino, E., Korn, A. J., Recio-Blanco, A., Bayo, A., Carraro, G., Costado, M. T., Damiani, F., Heiter, U., Hourihane, A., Jofré, P., Kordopatis, G., Lardo, C., de Laverny, P., Monaco, L. et al.: The Gaia-ESO Survey: a quiescent Milky Way with no significant dark/stellar accreted disc. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 450, 2874-2887 (2015).
- Rugheimer, S., Kaltenegger, L., Segura, A., Linsky, J. and Mohanty, S.: Effect of UV radiation on the spectral fingerprints of Earth-like planets orbiting M stars. *The Astrophysical Journal* 809, id. 57 (16 pp) (2015).
- Rumble, D., Hatchell, J., Gutermuth, R. A., Kirk, H., Buckle, J., Beaulieu, S. F., Berry, D. S., Broekhoven-Fiene, H., Currie, M. J., Fich, M., Jenness, T., Johnstone, D., Mottram, J. C., Nutter, D., Pattle, K., Pineda, J. E., Quinn, C., Salji, C., Tisi, S., Walker-Smith, S., Francesco, J. D., Hogerheijde, M. R., Ward-Thompson, D., Allen, L. E., Cieza, L. A. et al.: The JCMT Gould Belt Survey: evidence for radiative heating in Serpens MWC 297 and its influence on local star formation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 448, 1551-1573 (2015).
- Ryś, A., Koleva, M., Falcón-Barroso, J., Vazdekis, A., Lisker, T., Peletier, R. and van de Ven, G.: Virgo cluster and field dwarf ellipticals in 3D – III. Spatially and temporally resolved stellar populations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 1888-1901 (2015).
- Sabri, T., Baratta, G. A., Jäger, C., Palumbo, M. E., Henning, T., Strazzulla, G. and Wendler, E.: A laboratory study of ion-induced erosion of ice-covered carbon grains. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A76 (11 pp) (2015).
- Sadavoy, S. I., Shirley, Y., Di Francesco, J., Henning, T., Currie, M. J., André, P. and Pezzuto, S.: The kinematic and chemical properties of a potential core-forming clump: Perseus B1-E. *The Astrophysical Journal* 806, id. 38 (16 pp) (2015).
- Safron, E. J., Fischer, W. J., Megeath, S. T., Furlan, E., Stutz, A. M., Stanke, T., Billot, N., Rebull, L. M., Tobin, J. J., Ali, B., Allen, L. E., Booker, J., Watson, D. M. and Wilson, T. L.: Hops 383: an outbursting class 0 protostar in Orion. *The Astrophysical Journal Letters* 800, id. L5 (6 pp) (2015).
- Salji, C. J., Richer, J. S., Buckle, J. V., Hatchell, J., Kirk, H., Beaulieu, S. F., Berry, D. S., Broekhoven-Fiene, H., Currie, M. J., Fich, M., Jenness, T., Johnstone, D., Mottram, J. C., Nutter, D., Pattle, K., Pineda, J. E., Quinn, C., Tisi, S., Walker-Smith, S., Francesco, J. D., Hogerheijde, M. R., Ward-Thompson, D., Bastien, P., Butner, H., Chen, M. et al.: The JCMT Gould Belt Survey: constraints on prestellar core properties in Orion A North. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 449, 1769-1781 (2015).
- Salo, H., Laurikainen, E., Laine, J., Comerón, S., Gadotti, D. A., Buta, R., Sheth, K., Zaritsky, D., Ho, L., Knapen, J., Athanassoula, E., Bosma, A., Laine, S., Cisternas, M., Kim, T., Muñoz-Mateos, J. C., Regan, M., Hinz, J. L., Gil de Paz, A., Menendez-Delmestre, K., Mizusawa, T., Erroz-Ferrer, S., Meidt, S. E. and Querejeta, M.: The Spitzer Survey of Stellar Structure in Galaxies (S<sup>4</sup>G): Multi-component decomposition strategies and data release. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 219, id. 4 (45 pp) (2015).
- Sánchez, S. F., Pérez, E., Rosales-Ortega, F. F., Miralles-Caballero, D., López-Sánchez, A. R., Iglesias-Páramo, J., Marino, R. A., Sánchez-Menguiano, L., García-Benito, R., Mast, D., Mendoza, M. A., Papaderos, P., Ellis, S., Galbany, L., Kehrig, C., Monreal-Ibero, A., González Delgado, R., Mollá, M., Ziegler, B., de Lorenzo-Cáceres, A., Mendez-Abreu, J., Bland-Hawthorn, J., Bekeraite, S., Roth, M. M., Pasquali, A. et al.: Imprints of galaxy evolution on H II regions. Memory of the past uncovered by the CALIFA survey. *Astronomy and Astrophysics* 574, id. A47 (17 pp) (2015).
- Sanderson, R. E., Helmi, A. and Hogg, D. W.: Action-space clustering of tidal streams to infer the galactic potential. *The Astrophysical Journal* 801, id. 98 (18 pp) (2015).
- Sandoval, M. A., Vo, R. P., Romanowsky, A. J., Strader, J., Choi, J., Jennings, Z. G., Conroy, C., Brodie, J. P., Foster, C., Villaume, A., Norris, M. A., Janz, J. and Forbes, D. A.: Hiding in plain sight: Record-breaking compact stellar systems in the Sloan Digital Sky Survey. *The Astrophysical Journal Letters* 808, id. L32 (7 pp) (2015).
- Santucci, R. M., Placco, V. M., Rossi, S., Beers, T. C., Reggiani, H. M., Lee, Y. S., Xue, X.-X. and Carollo, D.: The frequency of field blue-straggler stars in the thick disk and halo system of the Galaxy. *The Astrophysical Journal* 801, id. 116 (13 pp) (2015).
- Sargent, M. T., Daddi, E., Bournaud, F., Onodera, M., Feruglio, C., Martig, M., Gobat, R., Dannerbauer, H. and Schinnerer, E.: A direct constraint on the gas content of a massive, passively evolving elliptical galaxy at  $z = 1.43$ . *The Astrophysical Journal Letters* 806, id. L20 (6 pp) (2015).
- Saulder, C., van den Bosch, R. C. E. and Mieske, S.: Dozens of compact and high velocity-dispersion, early-type galaxies in Sloan Digital Sky Survey. *Astronomy and Astrophysics* 578, id. A134 (36 pp) (2015).
- Schlafly, E. F., Green, G., Finkbeiner, D. P., Rix, H.-W., Burgett, W. S., Chambers, K. C., Draper, P. W., Kaiser, N., Martin, N. F., Metcalfe, N., Morgan, J. S., Price, P. A., Tonry, J. L., Wainscoat, R. J. and Waters, C.: Three-dimensional dust mapping reveals that Orion forms part of a large ring of dust. *The Astrophysical Journal* 799, id. 116 (12 pp) (2015).
- Schmidtbreick, L., Shara, M., Tappert, C., Bayo, A. and Ederoclite, A.: On the absence of nova shells. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 449, 2215-2218 (2015).

- Schnüller, K., Pott, J.-U., Rix, H.-W., Peterson, B. M., De Rosa, G. and Shappee, B.: Monitoring the temperature and reverberation delay of the circumnuclear hot dust in NGC 4151. *Astronomy and Astrophysics* 578, id. A57 (18 pp) (2015).
- Scholz, R.-D., Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Röser, S. and Schilbach, E.: Global survey of star clusters in the Milky Way. IV. 63 new open clusters detected by proper motions. *Astronomy and Astrophysics* 581, id. A39 (15 pp) (2015).
- Scolnic, D., Casertano, S., Riess, A., Rest, A., Schlafly, E., Foley, R. J., Finkbeiner, D., Tang, C., Burgett, W. S., Chambers, K. C., Draper, P. W., Flewelling, H., Hodapp, K. W., Huber, M. E., Kaiser, N., Kudritzki, R. P., Magnier, E. A., Metcalfe, N. and Stubbs, C. W.: Supercal: cross-calibration of multiple photometric systems to improve cosmological measurements with type Ia supernovae. *The Astrophysical Journal* 815, id. 117 (15 pp) (2015).
- Scoville, N., Sheth, K., Walter, F., Manohar, S., Zschaechner, L., Yun, M., Koda, J., Sanders, D., Murchikova, L., Thompson, T., Robertson, B., Genzel, R., Hernquist, L., Tacconi, L., Brown, R., Narayanan, D., Hayward, C. C., Barnes, J., Kartaltepe, J., Davies, R., van der Werf, P. and Fomalont, E.: ALMA imaging of HCN, CS, and dust in Arp 220 and NGC 6240. *The Astrophysical Journal* 800, id. 70 (17 pp) (2015).
- Seidel, M. K., Cacho, R., Ruiz-Lara, T., Falcón-Barroso, J., Pérez, I., Sánchez-Blázquez, P., Vogt, F. P.A., Ness, M., Freeman, K. and Aniyan, S.: Dissecting galactic bulges in space and time – I. The importance of early formation scenarios versus secular evolution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 446, 2837–2860 (2015).
- Senchyna, P., Johnson, L. C., Dalcanton, J. J., Beerman, L. C., Fouesneau, M., Dolphin, A., Williams, B. F., Rosenfield, P. and Larsen, S. S.: Panchromatic Hubble Andromeda Treasury. XIV. The period-age relationship of Cepheid variables in M31 star clusters. *The Astrophysical Journal* 813, id. 31 (8 pp) (2015).
- Sesar, B., Bovy, J., Bernard, E. J., Caldwell, N., Cohen, J. G., Fouesneau, M., Johnson, C. I., Ness, M., Ferguson, A. M. N., Martin, N. F., Price-Whelan, A. M., Rix, H.-W., Schlafly, E. F., Burgett, W. S., Chambers, K. C., Flewelling, H., Hodapp, K. W., Kaiser, N., Magnier, E. A., Platais, I., Tonry, J. L., Waters, C. and Wyse, R. F.G.: The nature and orbit of the Ophiuchus stream. *The Astrophysical Journal* 809, id. 59 (16 pp) (2015).
- Shaw, A. W., Knigge, C., Meisenheimer, K. and Ibanez, J. M.: NIR observations of V404 Cyg with PANIC. *The Astronomer's Telegram* 7738, 1 (2015).
- Sheikhnezami, S. and Fendt, C.: Wobbling and precessing jets from warped disks in binary systems. *The Astrophysical Journal* 814, id. 113 (20 pp) (2015).
- Shirley, Y. L.: The critical density and the effective excitation density of commonly observed molecular dense gas tracers. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 127, 299–310 (2015).
- Sicilia-Aguilar, A., Fang, M., Roccatagliata, V., Collier Cameron, A., Kóspál, Á., Henning, T., Ábrahám, P. and Sipos, N.: Accretion dynamics of EX Lupi in quiescence. The star, the spot, and the accretion column. *Astronomy and Astrophysics* 580, id. A82 (33 pp) (2015).
- Sicilia-Aguilar, A., Roccatagliata, V., Getman, K., Rivière-Marichalar, P., Birnstiel, T., Merín, B., Fang, M., Henning, T., Eiroa, C. and Currie, T.: The Herschel/PACS view of the Cep OB2 region: Global protoplanetary disk evolution and clumpy star formation. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A19 (39 pp) (2015).
- Skottfelt, J., Bramich, D. M., Figuera Jaimes, R., Jørgensen, U. G., Kains, N., Arellano Ferro, A., Alsubai, K. A., Bozza, V., Calchi Novati, S., Ciceri, S., D'Ago, G., Dominik, M., Galianni, P., Gu, S.-H., Harpsøe, K. B.W., Haugbølle, T., Hinse, T. C., Hundertmark, M., Juncher, D., Korhonen, H., Liebig, C., Mancini, L., Popovas, A., Rabus, M., Rahvar, S. et al.: Searching for variable stars in the cores of five metal-rich globular clusters using EMCCD observations. *Astronomy and Astrophysics* 573, id. A103 (23 pp) (2015).
- Skowron, J., Shin, L.-G., Udalski, A., Han, C., Sumi, T., Shvartzvald, Y., Gould, A., Dominis Prester, D., Street, R. A., Jørgensen, U. G., Bennett, D. P., Bozza, V., Szymański, M. K., Kubiak, M., Pietrzyński, G., Soszyński, I., Poleski, R., Kozłowski, S., Pietrukowicz, P., Ulaczyk, K., Wyrzykowski, Ł., Collaboration, O., Abe, F., Bhattacharya, A., Bond, I. A. et al.: OGLE-2011-BLG-0265Lb: A Jovian microlensing planet orbiting an M dwarf. *The Astrophysical Journal* 804, id. 33 (12 pp) (2015).
- Smolčić, V., Karim, A., Miettinen, O., Novak, M., Magnelli, B., Riechers, D. A., Schinnerer, E., Capak, P., Bondi, M., Ciliegi, P., Aravena, M., Bertoldi, F., Bourke, S., Banfield, J., Carilli, C. L., Civano, F., Ilbert, O., Intema, H. T., Le Fèvre, O., Finoguenov, A., Hallinan, G., Klöckner, H.-R., Koekemoer, A., Laigle, C., Masters, D. et al.: Physical properties of  $z > 4$  submillimeter galaxies in the COSMOS field. *Astronomy and Astrophysics* 576, id. A127 (14 pp) (2015).
- Southworth, J., Mancini, L., Ciceri, S., Budaj, J., Dominik, M., Figuera Jaimes, R., Haugbølle, T., Jørgensen, U. G., Popovas, A., Rabus, M., Rahvar, S., von Essen, C., Schmidt, R. W., Wertz, O., Alsubai, K. A., Bozza, V., Bramich, D. M., Calchi Novati, S., D'Ago, G., Hinse, T. C., Henning, T., Hundertmark, M., Juncher, D., Korhonen, H., Skottfelt, J. et al.: High-precision photometry by telescope defocusing – VII. The ultrashort period planet WASP-103. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 447, 711–721 (2015).
- Southworth, J., Mancini, L., Tregloan-Reed, J., Calchi Novati, S., Ciceri, S., D'Ago, G., Delrez, L., Dominik, M., Evans, D. F., Gillon, M., Jehin, E., Jørgensen, U. G., Haugbølle, T., Lendl, M., Arena, C., Barbieri, L., Barbieri, M., Corfini, G., Lopresti, C., Marchini, A., Marino, G., Alsubai, K. A., Bozza, V., Bramich, D. M., Jaimes, R. F. et al.: Larger and faster: revised properties and a shorter orbital period for the WASP-57 planetary system from a pro-am collaboration. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 3094–3107 (2015).
- Sozzetti, A., Bonomo, A. S., Biazzo, K., Mancini, L., Damasso, M., Desidera, S., Gratton, R., Lanza, A. F., Poretti, E., Rainer, M., Malavolta, L., Affer, L., Barbieri, M., Bedin, L. R., Boccato, C., Bonavita, M., Borsa, F., Ciceri, S., Claudi, R. U., Gandolfi, D., Giacobbe, P., Henning, T., Knapic, C., Latham, D. W., Lodato, G. et al.: The GAPS programme with HARPS-N at TNG. VI. The curious case of TrES-4b. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. L15 (10 pp) (2015).
- Stark, C. W., Font-Ribera, A., White, M. and Lee, K.-G.: Finding high-redshift voids using Lyman  $\alpha$  forest tomography. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 4311–4323 (2015).
- Stark, C. W., White, M., Lee, K.-G. and Hennawi, J. F.: Protocluster discovery in tomographic Ly $\alpha$  forest flux maps. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 311–327 (2015).
- Stefan, I. I., Carilli, C. L., Wagg, J., Walter, F., Riechers, D. A., Bertoldi, F., Green, D. A., Fan, X., Menten, K. and Wang, R.: Imaging the cold molecular gas in SDSS J1148 + 5251 at  $z = 6.4$ . *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 1713–1718 (2015).

- Steinacker, J., Andersen, M., Thi, W.-F., Paladini, R., Juvela, M., Bacmann, A., Pelkonen, V.-M., Pagani, L., Lefèvre, C., Henning, T. and Noriega-Crespo, A.: Grain size limits derived from 3.6  $\mu\text{m}$  and 4.5  $\mu\text{m}$  coreshine. *Astronomy and Astrophysics* 582, id. A70 (23 pp) (2015).
- Stern, J., Hennawi, J. F. and Pott, J.-U.: Spatially resolving the kinematics of the < 100  $\mu\text{as}$  quasar broad-line region using spectroastrometry. *The Astrophysical Journal* 804, id. 57 (14 pp) (2015).
- Stinson, G. S., Dutton, A. A., Wang, L., Macciò, A. V., Herpich, J., Bradford, J. D., Quinn, T. R., Wadsley, J. and Keller, B.: NIHAO III: the constant disc gas mass conspiracy. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 1105–1116 (2015).
- Stolte, A., Hußmann, B., Olczak, C., Brandner, W., Habibi, M., Ghez, A. M., Morris, M. R., Lu, J. R., Clarkson, W. I. and Anderson, J.: Circumstellar discs in Galactic centre clusters: Disc-bearing B-type stars in the Quintuplet and Arches clusters. *Astronomy and Astrophysics* 578, id. A4 (41 pp) (2015).
- Stutz, A. M. and Kainulainen, J.: Evolution of column density distributions within Orion A. *Astronomy and Astrophysics* 577, id. L6 (9 pp) (2015).
- Su, K. Y.L., Morrison, S., Malhotra, R., Smith, P. S., Balog, Z. and Rieke, G. H.: Debris distribution in HD 95086 – A young analog of HR 8799. *The Astrophysical Journal* 799, id. 146 (13 pp) (2015).
- Sun, M., Trump, J. R., Brandt, W. N., Luo, B., Alexander, D. M., Jahnke, K., Rosario, D. J., Wang, S. X. and Xue, Y. Q.: Evolution in the back hole–galaxy scaling relations and the duty cycle of nuclear activity in star-forming galaxies. *The Astrophysical Journal* 802, id. 14 (19 pp) (2015).
- SunPy Community, T., Mumford, S. J., Christe, S., Pérez-Suárez, D., Ireland, J., Shih, A. Y., Inglis, A. R., Liedtke, S., Hewett, R. J., Mayer, F., Hughitt, K., Freij, N., Meszaros, T., Bennett, S. M., Malocha, M., Evans, J., Agrawal, A., Leonard, A. J., Robitaille, T. P., Mampaey, B., Iván Campos-Rozo, J. and Kirk, M. S.: SunPy – Python for solar physics. *Computational Science and Discovery* 8, id. 014009 (23 pp) (2015).
- Surville, C. and Barge, P.: Quasi-steady vortices in protoplanetary disks. I. From dwarfs to giants. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. A100 (15 pp) (2015).
- Swinbank, A. M., Vernet, J. D.R., Smail, I., De Breuck, C., Bacon, R., Contini, T., Richard, J., Röttgering, H. J.A., Urrutia, T. and Venemans, B.: Mapping the dynamics of a giant Ly $\alpha$  halo at  $z=4.1$  with MUSE: the energetics of a large-scale AGN-driven outflow around a massive, high-redshift galaxy. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 449, 1298–1308 (2015).
- Taniguchi, Y., Kajisawa, M., Kobayashi, M. A.R., Nagao, T., Shioya, Y., Scoville, N. Z., Sanders, D. B., Capak, P. L., Koekemoer, A. M., Toft, S., McCracken, H. J., Le Fèvre, O., Tasca, L., Sheth, K., Renzini, A., Lilly, S., Carollo, M., Kovač, K., Ilbert, O., Schinnerer, E., Fu, H., Tresse, L., Griffiths, R. E. and Civano, F.: Discovery of massive, mostly star formation quenched galaxies with extremely large Ly $\alpha$  equivalent widths at  $z \sim 3$ . *The Astrophysical Journal Letters* 809, id. L7 (6 pp) (2015).
- Taniguchi, Y., Kajisawa, M., Kobayashi, M. A.R., Shioya, Y., Nagao, T., Capak, P. L., Aussel, H., Ichikawa, A., Murayama, T., Scoville, N. Z., Ilbert, O., Salvato, M., Sanders, D. B.B., Mobasher, B., Miyazaki, S., Komiyama, Y., Le Fèvre, O., Tasca, L., Lilly, S., Carollo, M., Renzini, A., Rich, M., Schinnerer, E., Kaifu, N., Karoji, H. et al.: The Subaru COSMOS 20: Subaru optical imaging of the HST COSMOS field with 20 filters. *Publications of the Astronomical Society of Japan* 67, id. 104 (14 pp) (2015).
- Teague, R., Semenov, D., Guilloteau, S., Henning, T., Dutrey, A., Wakelam, V., Chapillon, E. and Pietu, V.: Chemistry in disks. IX. Observations and modelling of HCO $^+$  and DCO $^+$  in DM Tauri. *Astronomy and Astrophysics* 574, id. A137 (12 pp) (2015).
- Teske, J. K., Ghezzi, L., Cunha, K., Smith, V. V., Schuler, S. C. and Bergemann, M.: Abundance differences between exoplanet binary host stars XO-2N and XO-2S – Dependence on stellar parameters. *The Astrophysical Journal Letters* 801, id. L10 (6 pp) (2015).
- Testi, L., Skemer, A., Henning, T., Bailey, V., Defrère, D., Hinz, P., Leisenring, J., Vaz, A., Esposito, S., Fontana, A., Marconi, A., Skrutskie, M. and Veillet, C.: Hunting for planets in the HL Tau disk. *The Astrophysical Journal Letters* 812, id. L38 (5 pp) (2015).
- Thalmann, C., Mulders, G. D., Janson, M., Olofsson, J., Benisty, M., Avenhaus, H., Quanz, S. P., Schmid, H. M., Henning, T., Buenzli, E., Ménard, F., Carson, J. C., Garufi, A., Messina, S., Dominik, C., Leisenring, J., Chauvin, G. and Meyer, M. R.: Optical imaging polarimetry of the LkCa 15 protoplanetary disk with SPHERE ZIMPOL. *The Astrophysical Journal Letters* 808, id. L41 (7 pp) (2015).
- Thomas, B., Jenness, T., Economou, F., Greenfield, P., Hirst, P., Berry, D. S., Bray, E., Gray, N., Muna, D., Turner, J., de Val-Borro, M., Santander-Vela, J., Shupe, D., Good, J., Berriman, G. B., Kitaeff, S., Fay, J., Laurino, O., Alexov, A., Landry, W., Masters, J., Brazier, A., Schaaf, R., Edwards, K., Redman, R. O. et al.: Learning from FITS: Limitations in use in modern astronomical research. *Astronomy and Computing* 12, 133–145 (2015).
- Tobin, J. J., Dunham, M. M., Looney, L. W., Li, Z.-Y., Chandler, C. J., Segura-Cox, D., Sadavoy, S. I., Melis, C., Harris, R. J., Perez, L. M., Kratter, K., Jørgensen, J. K., Plunkett, A. L. and Hull, C. L.H.: The VLA Nascent Disk and Multiplicity (VANDAM) Survey of Perseus protostars. Resolving the sub-arcsecond binary system in NGC 1333 IRAS2A. *The Astrophysical Journal* 798, id. 61 (13 pp) (2015).
- Tobin, J. J., Stutz, A. M., Megeath, S. T., Fischer, W. J., Henning, T., Ragan, S. E., Ali, B., Stanke, T., Manoj, P., Calvet, N. and Hartmann, L.: Characterizing the youngest Herschel-detected protostars. I. Envelope structure revealed by CARMA dust continuum observations. *The Astrophysical Journal* 798, id. 128 (17 pp) (2015).
- Toloba, E., Guhathakurta, P., Boselli, A., Peletier, R. F., Emsellem, E., Lisker, T., van de Ven, G., Simon, J. D., Falcón-Barroso, J., Adams, J. J., Benson, A. J., Boissier, S., den Brok, M., Gorgas, J., Hensler, G., Janz, J., Laurikainen, E., Paudel, S., Ryś, A. and Salo, H.: Stellar kinematics and structural properties of Virgo Cluster dwarf early-type galaxies from the SMAKCED Project. III. Angular momentum and constraints on formation scenarios. *The Astrophysical Journal* 799, id. 172 (12 pp) (2015).
- Toloba, E., Guhathakurta, P., Peletier, R. F., Boselli, A., Lisker, T., Falcón-Barroso, J., Simon, J. D., van de Ven, G., Paudel, S., Emsellem, E., Janz, J., den Brok, M., Gorgas, J., Hensler, G., Laurikainen, E., Niemi, S.-M., Ryś, A. and Salo, H.: Erratum: »Stellar kinematics and structural properties of Virgo Cluster dwarf early-type galaxies from the SMAKCED project. II. The survey and a systematic analysis of kinematic anomalies and asymmetries« (2014, ApJS, 215, 17). *The Astrophysical Journal Supplement Series* 217, id. 19 (2 pp) (2015).
- Tregloan-Reed, J., Southworth, J., Burgdorf, M., Novati, S. C., Dominik, M., Finet, F., Jørgensen, U. G., Maier, G., Mancini, L., Prof, S., Ricci, D., Snodgrass, C., Bozza, V., Browne, P., Dodds, P., Gerner, T., Harpsøe, K., Hinse, T. C., Hundertmark, M., Kains,

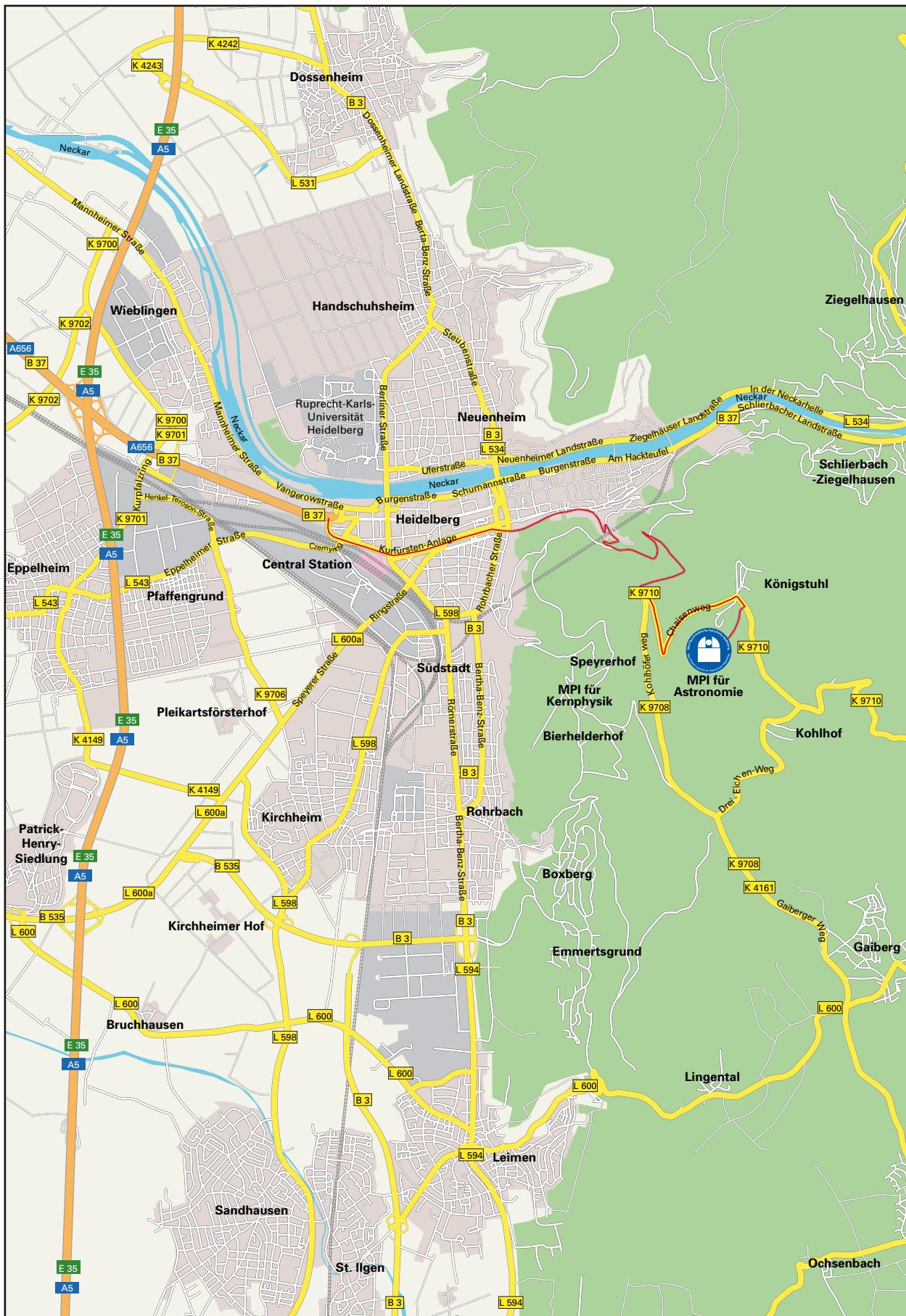
- N., Kerins, E., Liebig, C., Penny, M. T., Rahvar, S., Sahu, K. et al.: Transits and starspots in the WASP-6 planetary system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 450, 1760–1769 (2015).
- Tsatsi, A., Macciò, A. V., van de Ven, G. and Moster, B. P.: A new channel for the formation of kinematically decoupled cores in early-type galaxies. *The Astrophysical Journal Letters* 802, id. L3 (7 pp) (2015).
- Tudorica, A., Georgiev, I. Y. and Chies-Santos, A. L.: Optical-near-IR analysis of globular clusters in the IKN dwarf spheroidal: a complex star formation history. *Astronomy and Astrophysics* 581, id. A84 (11 pp) (2015).
- Usero, A., Leroy, A. K., Walter, F., Schruba, A., García-Burillo, S., Sandstrom, K., Bigiel, F., Brinks, E., Kramer, C., Rosolowsky, E., Schuster, K.-F. and de Blok, W. J.G.: Variations in the star formation efficiency of the dense molecular gas across the disks of star-forming galaxies. *The Astronomical Journal* 150, id. 115 (40 pp) (2015).
- van den Bosch, R. C. E., Gebhardt, K., Gültekin, K., Yıldırım, A. and Walsh, J. L.: Hunting for supermassive black holes in nearby galaxies with the Hobby-Eberly Telescope. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 218, id. 10 (13 pp) (2015).
- van der Laan, T. P. R., Armus, L., Beirao, P., Sandstrom, K., Groves, B., Schinnerer, E., Draine, B. T., Smith, J. D., Galametz, M., Wolfire, M., Croxall, K., Dale, D., Herrera Camus, R., Calzetti, D. and Kennicutt, R. C.: Heating and cooling of the neutral ISM in the NGC 4736 circumnuclear ring. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A83 (9 pp) (2015).
- van Dokkum, P. G., Nelson, E. J., Franx, M., Oesch, P., Momcheva, I., Brammer, G., Förster Schreiber, N. M., Skelton, R. E., Whitaker, K. E., van der Wel, A., Bezanson, R., Fumagalli, M., Illingworth, G. D., Kriek, M., Leja, J. and Wuyts, S.: Forming compact massive galaxies. *The Astrophysical Journal* 813, id. 23 (37 pp) (2015).
- Vazquez, B., Galiani, P., Richmond, M., Robinson, A., Axon, D. J., Horne, K., Almeyda, T., Fausnaugh, M., Peterson, B. M., Bottorff, M., Gallimore, J., Eltizur, M., Netzer, H., Storchi-Bergmann, T., Marconi, A., Capetti, A., Batcheldor, D., Buchanan, C., Stirpe, G., Kishimoto, M., Packham, C., Perez, E., Tadhunter, C., Upton, J. and Estrada-Carpenter, V.: Spitzer Space Telescope measurements of dust reverberation lags in the Seyfert 1 Galaxy NGC 6418. *The Astrophysical Journal* 801, id. 127 (11 pp) (2015).
- Veljanoski, J., Ferguson, A. M. N., Mackey, A. D., Huxor, A. P., Hurley, J. R., Bernard, E. J., Côté, P., Irwin, M. J., Martin, N. F., Burgett, W. S., Chambers, K. C., Flewelling, H., Kudritzki, R. and Waters, C.: The globular cluster system of NGC 6822. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 320–332 (2015).
- Venemans, B.: Cosmology: A giant in the young Universe. *Nature* 518, 490–491 (2015).
- Venemans, B. P., Bañados, E., Decarli, R., Farina, E. P., Walter, F., Chambers, K. C., Fan, X., Rix, H.-W., Schlafly, E., McMahon, R. G., Simcoe, R., Stern, D., Burgett, W. S., Draper, P. W., Flewelling, H., Hodapp, K. W., Kaiser, N., Magnier, E. A., Metcalfe, N., Morgan, J. S., Price, P. A., Tonry, J. L., Waters, C., AlSayyad, Y., Banerji, M. et al.: The identification of Z-dropouts in Pan-STARRS1: Three quasars at  $6.5 < z < 6.7$ . *The Astrophysical Journal Letters* 801, id. L11 (7 pp) (2015).
- Venemans, B. P., Verdoes Kleijn, G. A., Mwebaze, J., Valentijn, E. A., Bañados, E., Decarli, R., de Jong, J. T.A., Findlay, J. R., Kuijken, K. H., Barbera, F. L., McFarland, J. P., McMahon, R. G., Napolitano, N., Sikkema, G. and Sutherland, W. J.: First discoveries of  $z \sim 6$  quasars with the Kilo-Degree Survey and VISTA Kilo-Degree Infrared Galaxy survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 2259–2266 (2015).
- Villar Martín, M., Bellocchi, E., Stern, J., Ramos Almeida, C., Tadhunter, C. and González Delgado, R.: Deconstructing the narrow-line region of the nearest obscured quasar. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 439–456 (2015).
- Walsh, J. L., van den Bosch, R. C. E., Gebhardt, K., Yıldırım, A., Gültekin, K., Husemann, B. and Richstone, D. O.: The black hole in the compact, high-dispersion galaxy NGC 1271. *The Astrophysical Journal* 808, id. 183 (16 pp) (2015).
- Wang, L., Dutton, A. A., Stinson, G. S., Macciò, A. V., Penzo, C., Kang, X., Keller, B. W. and Wadsley, J.: NIHAO project – I. Reproducing the inefficiency of galaxy formation across cosmic time with a large sample of cosmological hydrodynamical simulations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 454, 83–94 (2015).
- Weisz, D. R., Johnson, L. C., Foreman-Mackey, D., Dolphin, A. E., Beerman, L. C., Williams, B. F., Dalcanton, J. J., Rix, H.-W., Hogg, D. W., Fouesneau, M., Johnson, B. D., Bell, E. F., Boyer, M. L., Gouliermis, D., Guhathakurta, P., Kalirai, J. S., Lewis, A. R., Seth, A. C. and Skillman, E. D.: The high-mass stellar initial mass function in M31 clusters. *The Astrophysical Journal* 806, id. 198 (13 pp) (2015).
- Wells, M., Pel, J.-W., Glasse, A., Wright, G. S., Aitink-Kroes, G., Azzollini, R., Beard, S., Brandl, B. R., Gallie, A., Geers, V. C., Glauser, A. M., Hastings, P., Henning, T., Jager, R., Justtanont, K., Kruizinga, B., Lahuis, F., Lee, D., Martinez-Delgado, I., Martínez-Galarza, J. R., Meijers, M., Morrison, J. E., Müller, F., Nakos, T., O'Sullivan, B. et al.: The Mid-Infrared Instrument for the James Webb Space Telescope, VI: The Medium Resolution Spectrometer. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 127, 646–664 (2015).
- Wheeler, C., Oñorbe, J., Bullock, J. S., Boylan-Kolchin, M., Elbert, O. D., Garrison-Kimmel, S., Hopkins, P. F. and Kereš, D.: Sweating the small stuff: simulating dwarf galaxies, ultra-faint dwarf galaxies, and their own tiny satellites. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 453, 1305–1316 (2015).
- Whitaker, K. E., Franx, M., Bezanson, R., Brammer, G. B., van Dokkum, P. G., Kriek, M. T., Labbé, I., Leja, J., Momcheva, I. G., Nelson, E. J., Rigby, J. R., Rix, H.-W., Skelton, R. E., van der Wel, A. and Wuyts, S.: Galaxy structure as a driver of the star formation sequence slope and scatter. *The Astrophysical Journal Letters* 811, id. L12 (7 pp) (2015).
- Williams, B. F., Dalcanton, J. J., Dolphin, A. E., Weisz, D. R., Lewis, A. R., Lang, D., Bell, E. F., Boyer, M., Fouesneau, M., Gilbert, K. M., Monachesi, A. and Skillman, E.: A global star-forming episode in M31 2–4 Gyr ago. *The Astrophysical Journal* 806, id. 48 (9 pp) (2015).
- Wöllert, M. and Brandner, W.: A Lucky Imaging search for stellar sources near 74 transit hosts. *Astronomy and Astrophysics* 579, id. A129 (6 pp) (2015).
- Wöllert, M., Brandner, W., Bergfors, C. and Henning, T.: A Lucky Imaging search for stellar companions to transiting planet host stars. *Astronomy and Astrophysics* 575, id. A23 (5 pp) (2015).
- Wright, G. S., Wright, D., Goodson, G. B., Rieke, G. H., Aitink-Kroes, G., Amiaux, J., Aricha-Yanguas, A., Azzollini, R., Banks, K., Barrado-Navascués, D., Belenguer-Davila, T., Bloemhart, J. A.D.L., Bouchet, P., Brandl, B. R., Colina, L., Detre, Ö., Diaz-Catala, E., Eccleston, P., Friedman, S. D., García-Marín, M., Güdel, M., Glasse,

- A., Glauser, A. M., Greene, T. P., Groeziinger, U. et al.: The Mid-Infrared Instrument for the James Webb Space Telescope, II: Design and build. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 127, 595-611 (2015).
- Xue, X.-X., Rix, H.-W., Ma, Z., Morrison, H., Bovy, J., Sesar, B. and Janesh, W.: The radial profile and flattening of the Milky Way's stellar halo to 80 kpc from the SEGUE K-giant Survey. *The Astrophysical Journal* 809, id. 144 (17 pp) (2015).
- Yang, H., Apai, D., Marley, M. S., Saumon, D., Morley, C. V., Buenzli, E., Artigau, É., Radigan, J., Metchev, S., Burgasser, A. J., Mohanty, S., Lowrance, P. J., Showman, A. P., Karalidi, T., Flateau, D. and Heinze, A. N.: HST rotational spectral mapping of two L-type brown dwarfs: Variability in and out of water bands indicates high-altitude haze layers. *The Astrophysical Journal Letters* 798, id. L13 (5 pp) (2015).
- Yıldırım, A., van den Bosch, R. C. E., van de Ven, G., Husemann, B., Lyubenova, M., Walsh, J. L., Gebhardt, K. and Gültæk, K.: MRK 1216 and NGC 1277 – an orbit-based dynamical analysis of compact, high-velocity dispersion galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 452, 1792-1816 (2015).
- Zafar, T., Møller, P., Watson, D., Fynbo, J. P.U., Krogager, J.-K., Zafar, N., Saturni, F. G., Geier, S. and Venemans, B. P.: Extinction curve template for intrinsically reddened quasars. *Astronomy and Astrophysics* 584, id. A100 (8 pp) (2015).
- Zhao-Geisler, R., Köhler, R., Kemper, F., Kerschbaum, F., Mayer, A., Quirrenbach, A. and Lopez, B.: Spectro-imaging of the asymmetric inner molecular and dust shell region of the Mira variable W Hya with MIDI/VLTI. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 127, 732-741 (2015).
- Zhou, G., Bayliss, D., Hartman, J. D., Rabus, M., Bakos, G. Á., Jordán, A., Brahm, R., Penev, K., Csabry, Z., Mancini, L., Espinoza, N., de Val-Borro, M., Bhatti, W., Cicero, S., Henning, T., Schmidt, B., Murphy, S. J., Butler, R. P., Arriagada, P., Shectman, S., Crane, J., Thompson, I., Suc, V. and Noyes, R. W.: A 0.24+0.18 M&sun; double-lined eclipsing binary from the HATSouth survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 2263-2277 (2015).
- Zhukovska, S., Petrov, M. and Henning, T.: Can star cluster environment affect dust input from massive AGB stars? *The Astrophysical Journal* 810, id. 128 (14 pp) (2015).
- Zinchenko, I., Liu, S.-Y., Su, Y.-N., Salii, S. V., Sobolev, A. M., Zemlyanukha, P., Beuther, H., Ojha, D. K., Samal, M. R. and Wang, Y.: The disk-outflow system in the S255IR area of high-mass star formation. *The Astrophysical Journal* 810, id. 10 (18 pp) (2015).
- Zitrin, A., Fabris, A., Merten, J., Melchior, P., Meneghetti, M., Koekemoer, A., Coe, D., Maturi, M., Bartelmann, M., Postman, M., Umetsu, K., Seidel, G., Sendra, I., Broadhurst, T., Balestra, I., Biviano, A., Grillo, C., Mercurio, A., Nonino, M., Rosati, P., Bradley, L., Carrasco, M., Donahue, M., Ford, H., Frye, B. L. et al.: Hubble Space Telescope combined strong and weak lensing analysis of the CLASH sample: Mass and magnification models and systematic uncertainties. *The Astrophysical Journal* 801, id. 44 (21 pp) (2015).
- Zschaechner, L. K. and Rand, R. J.: The H I kinematics of NGC 4013: A steep and radially shallowing extra-planar rotational lag. *The Astrophysical Journal* 808, id. 153 (14 pp) (2015).
- Zschaechner, L. K., Rand, R. J. and Walterbos, R.: Investigating disk-halo flows and accretion: A kinematic and morphological analysis of extra-planar H I in NGC 3044 and NGC 4302. *The Astrophysical Journal* 799, id. 61 (21 pp) (2015).

## VI.7 Zusammenarbeit mit Firmen

ADDITIVE, Friedrichsdorf	CHG Meridian, Weingarten	Engelbert Strauss, Biebergemünd
Adolf Pfeiffer, Mannheim	ColorDruck Solutions, Leimen	Europcar Inter Rent, Hamburg
ADR, Thomery	Computacenter, Ludwigshafen	EUROstor, Filderstadt
Aerotech, Nürnberg	COMTRONIC, Heiligkreuzsteinach	Farnell, Oberhaching
ALPHA Übersetzungen, Heidelberg	Conrad Electronic, Wernberg-Köblitz	Faulhaber GmbH & Co, Schönaich
Alternate, Linden	Cryophysics, Darmstadt	Federal Express Europe, Kelsterbach
AMERICA II EUROPE, Mönchengladbach	CWS-boco Deutschland, Dreieich	FEGA & Schmitt, Ansbach
AMETEK, Meerbusch	D.H. Frank, Nußloch	Fels Fritz Fachspedition, Heidelberg
Amphenol AIR, Saarlouis	Danneowitz, Gelnhausen	FlowCAD, Feldkirchen
asknet, Karlsruhe	dataTec, Reutlingen	FPS-Werkzeugmaschinen, Warngau
AVIS, Oberursel	Dehn + Söhne, Neumarkt	Frankfurter Allgemeine Zeitung, Frankfurt am Main
AXON'KABEL, Leonberg	Dell GmbH, Frankfurt am Main	Fraunhofer IOF, Jena
B.E.S.T., Forst	DELTA-V, Wuppertal	Friedrich Heuser, Heidelberg
Backup Solutions, Stuttgart	Deti, Meckesheim	Fritz Zugck, Leimen
Baier Digitaldruck, Heidelberg	DHL Express, Köln	Gabler Werbeagentur, München
Bechtle ÖA direkt, Neckarsulm	Dipl.-Ing. Robert Baust, Heidelberg	GAD Elektronik, Plankstadt
BG ETEM, Köln	Discipulus, Heidelberg	Ganter, Walldorf
Bildungshaus Kloster Schöntal, Schöntal	Distrelec Schuricht, Bremen	Geier Metall-u.Stahlhandel, Mannheim
Blickle Räder+Rollen, Rosenfeld	DMG, Leonberg	Gleich Service-Center, Kaltenkirchen
Börsig, Neckarsulm	Dörfler Dachtechnik, Oftersheim	Glenair Electronic, Bad Homburg
Breer Gebäudereinigung, Heidelberg	DPV Elektronik, Eppingen	Gummispezialhaus Martin Körner, Eppelheim
Bürklin, Oberhaching	EBSCO Information Services, Berlin	Güniker + Heck, Mannheim
Büro-Mix, Mannheim	Edmund Optics, Karlsruhe	Gutfleisch, Heidelberg
BVS, Stuttgart	Edwards, Kirchheim	Häfele, Aulendorf
CADFEM, Grafing	EFB-Elektronik, Bielefeld	Hagemeyer Deutschland, Heidelberg
Carl Roth, Karlsruhe	Elektro-Steidl, Weinheim	

Hahn & Kolb, Ludwigsburg	Lagrange TWM, Mannheim	Radiant Zemax Europe, Stansted
Hamamatsu, Herrsching	Lapp Kabel, Stuttgart	Reichelt Elektronik, Sande
Handwerkskammer Mannheim, Mannheim	Laub Druck, Elztal-Dallau	Rhein Neckar BUSINESS Travel, Heidelberg
Harald Tränkle, Heidelberg	LD Didactic, Hürth	Rhein-Neckar-Zeitung, Heidelberg
Haufe Service Center, Freiburg i. Br.	Lehmans Fachbuchhandlung, Heidelberg	RS Components, Mörfelden-Walldorf
HDI Global, Hannover	Lemo Elektronik, München	Rudolf Hehr, Heidelberg
Hebezone, Hanau	Linde, Mainz-Kostheim	Sanitär Raess, Heidelberg
HELUKABEL, Hemmingen	Losberger Modular Systems, Mannheim	SAUTER-Cumulus, Freiburg
Hoffmann Göppingen, Göppingen	LWS-Technik, Heilbronn	Schenker Deutschland, Mannheim
Hoffmann Wekzeuge, Nürnberg	LYRECO Deutschland, Barsinghausen	Schenker Spezialverkehre, Hannover
Horn, Stutensee	Maas International, Bruchsal	Schulz Versorgungstechnik, Heidelberg
Hupkens Industrial Models, NK Maastricht	Maschinenfabrik Berthold Hermle, Gosheim	Siemens, Mannheim
HWP Architekturbüro, Heidelberg	Massmann, Hamburg	Sky Blue Microsystems, München
IBV – Ingenieurbüro, Heidelberg	Mayer Omnibusbetrieb, Neckargemünd-	Sonepar Deutschland, Hannover
IGEFA, Ahrensfelde/OT Blumberg	Dilsberg	SPHINX, Laudenbach
ILFA Feinstleitertechnik, Hannover	Metallbau GLAWION, Eberswalde	Springer, Heidelberg
Ingenieurbüro Manfred Steinbach, Jena	Metalux Metallveredelungs, Altlußheim	Stadt Heidelberg, Heidelberg
Ingenieurbüro Schlossmacher, Unterschleißheim	MICROSTAXX, München	Stäubli Tec Systems, Bayreuth
INNEO Solutions, Ellwangen	Möller-Wedel Optical, Wedel b. Hamburg	Süddeutsche Zeitung, München
INTOS ELECTRONIC, Gießen	Mura Metallbau, Viernheim	Tautz Druckluft+Sandstrahltech, Mannheim
IOP Publishing, Bristol	National Instruments, München	Technik Direkt, Würzburg
Jacobi Elokal, Altlußheim	Neumann Rupert Druckerei, Heidelberg	tfi Ingenieure Elektrotechnik, Mannheim
Johann A. Meyer, Wildau	Newport Spectra-Physics, Darmstadt	The MathWorks, Ismaning
JUMO GmbH & Co, Fulda	norelem Normelemente, Markgröningen	The Sheridan Press, Boston
Jungheinrich, Hamburg	Ocean Optics B.V., Ostfildern	Theile Büro-Systeme, Speyer
K.-H.Weidler, Weinheim	Oerlikon, Köln	Thermodyne, Osnabrück
KA-WE, Schwetzingen	OMEGA Engineering, Deckenpfronn	Thorlabs, Dachau
Kai Ortlieb Buchbinderei, Eppelheim	OWIS, Staufen	Tischer Gastro, Heidelberg
KAISER + KRAFT, Stuttgart	Pascal Krämer, Neckarsteinach	TNT Express, Troisdorf
Karl Scholl, Heidelberg	PENTAIR, Straubenhardt	Total Walther, Langen
Kniel, Karlsruhe	Pfeiffer & May, Heidelberg	Trinos Vakuum-Systeme, Göttingen
KOCO MOTION, Dauchingen	PFEIFFER VACUUM, Asslar	TÜV Süd, Mannheim
Konica Minolta Businesss, Mannheim	Phoenix Contact, Blomberg	United Parcel Service, Neuss
Körber TH., Sensbachtal/Odw.	Physik Instrumente (PI), Karlsruhe	Vacom, Jena
Kroschke, Braunschweig	Phytron-Elektronik, Gröbenzell	Vigot, Bremen
L. Funk & Söhne, München	POG Präzisionsoptik Gera GmbH, Gera	Witzenmann, Pforzheim
L. + H. Hochstein, Heidelberg	pro-com DATENSYSTEME, Eislingen	Witzenmann Rhein-Ruhr, Xanten
	Profimess, Bremerhaven	Zoltan Hubert, Leimen





---

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT