

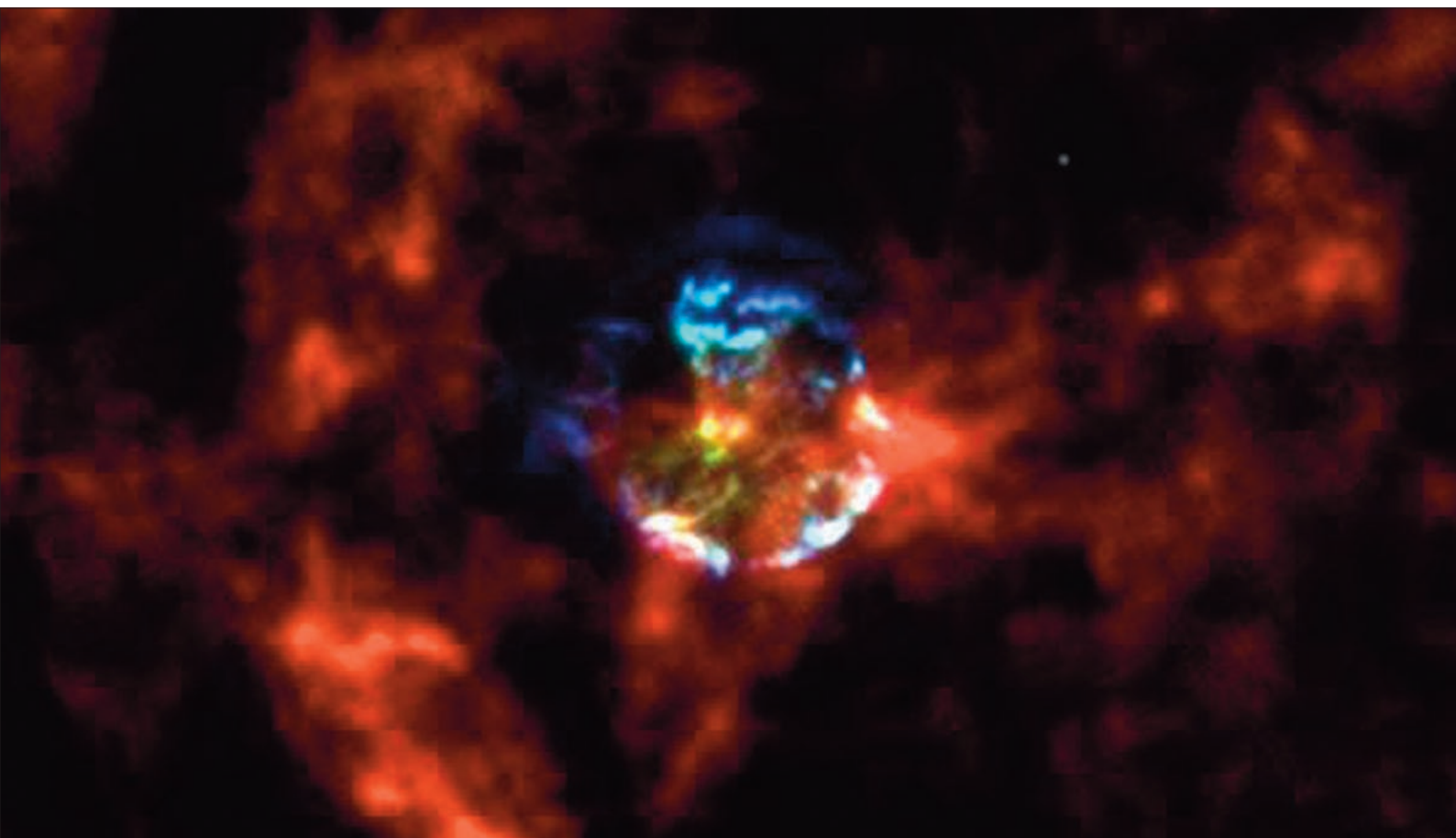
Max-Planck-Institut für Astronomie

Heidelberg-Königstuhl



Jahresbericht

2009



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Zum Titelbild:

Ein frühes Ergebnis der HERSCHEL-Mission.

Der galaktische Supernova-Überrest Cassiopeia A in einem Komposit aus PACS-Aufnahmen bei 70 Mikrometer (blau kodiert), 100 Mikrometer (grün) und 160 Mikrometer Wellenlänge (rot). In dieser Darstellung erscheint der warme Staub innerhalb des Überrests bläulich-weiß, während der kältere interstellare Staub aus der Umgebung rot leuchtet. Die neuen Daten beantworten eine alte Frage: Wieviel Staub entsteht in einem Supernova-Überrest? Die Antwort lautet: Es sind nur 0,07 Sonnenmassen! Mehr dazu auf Seite 34 - 39 (Kap. II.4).

Bild: Oliver Krause et al. / MPA / PACS / ESA

Max-Planck-Institut für Astronomie

Heidelberg-Königstuhl

Jahresbericht

2009



Max-Planck-Institut für Astronomie

Wissenschaftliche Mitglieder, Kollegium, Direktoren:

Prof. Thomas Henning (Geschäftsführender Direktor)

Prof. Hans-Walter Rix

<i>Wissenschaftlicher Referent:</i>	Dr. Klaus Jäger	(Telefon: 0049 6221 528 379)
<i>Öffentlichkeitsarbeit (Leitung):</i>	Dr. Jakob Staude	(Telefon: 0049 6221 528 229)
<i>Verwaltung (Leitung):</i>	Mathias Voss	(Telefon: 0049 6221 528 230)
<i>Haus der Astronomie:</i>	Dr. Markus Pössel	(Telefon: 0049 6221 528 261)

Emeritierte wissenschaftliche Mitglieder:

Prof. Immo Appenzeller

Prof. Karl-Heinz Böhm, Seattle

Prof. George H. Herbig, Honolulu

Prof. Guido Münch

Auswärtige wissenschaftliche Mitglieder:

Prof. Steven V. W. Beckwith, Baltimore

Prof. Willy Benz, Bern

Prof. Rafael Rebolo, Teneriffa

Fachbeirat:

Prof. Rolf-Peter Kudritzki, Honolulu (Vorsitz)

Prof. Ewine van Dishoeck, Leiden

Dr. Philip John Puxley, Arlington

Prof. Dieter Reimers, Hamburg

Prof. Anneila I. Sargent, Pasadena

Prof. Sabine Schindler, Innsbruck

Prof. Stephan Sheckman, Pasadena

Prof. Rens Waters, Amsterdam

Prof. Robert Williams, Baltimore

Prof. Harold Yorke, Pasadena

Kuratorium:

MinDirig. i.R. Dr. Hermann-Friedrich Wagner, Bonn (Vorsitz)

Dr. Ludwig Baumgarten, Bonn

Prof. Bernhard Eitel, Heidelberg

Dr. Reinhold Ewald, Weißling

Dr. Michael Kaschke, Oberkochen

MinDirig. Dr. Heribert Knorr, Stuttgart

Prof. Karlheinz Meier, Heidelberg

Dipl.-Ing. Matthias Nagel, Bonn

Stefan Plenz, Wiesloch

Gerold Reichle, Bonn

Prof. Roland Sauerbrey, Dresden

Dr. h.c. Klaus Tschira, Heidelberg

Prof. Andreas Tünnermann, Jena

Dipl.-Phys. Ranga Yogeshwar, Köln

Mitarbeiter:

Im Berichtsjahr waren insgesamt 344 Mitarbeiter (einschließlich der Drittmittelbeschäftigten) am Institut tätig, darunter 230 Wissenschaftler, davon 56 Nachwuchswissenschaftler und 91 Doktoranden.

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

Telefon: 0049 6221 5280

Fax: 0049 6221 528 246

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: 0034 950 230 988, 0034 950 632 500

Fax: 0034 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: 0049 3641 947 354

Fax: 0049 3641 947 308

E-mail: friedrich.huisken@uni-jena.de

© 2010 Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg

Herausgeber: Jakob Staude, Thomas Henning, Hans-Walter Rix, Klaus Jäger, Axel M. Quetz

Bilder: MPIA und andere

Graphik, Bildbearbeitung und Layout: Karin Meißner, Carmen Müllerthann

Übersetzung: Baker & Harrison, München

Druck: Druckerei & Verlag Steinmeier GmbH & Co. KG, D – 86738 Deiningen

ISSN 1437-2924; Internet: ISSN 1617-0490

Inhalt

Vorwort	5	IV. Instrumente und Projekte	93
I. Allgemeines	6	IV.1 Instrumente und Projekte für das LBT	93
I.1 Wissenschaftliche Zielsetzung	6	LUCIFER 1 und 2	93
I.2 Observatorien – Teleskope – Instrumente	10	LINC-NIRVANA	95
I.3 Nationale und Internationale Zusammenarbeit	18	ARGOS	97
I.4 Lehre und Öffentlichkeitsarbeit. Das neue »Haus der Astronomie«	22	IV.2 METIS – Phase-A-Studie für das E-ELT	98
II. Highlights	24	Wissenschaftliche Zielsetzung	98
II.1 In welchen Molekülwolken entstehen Sterne?	24	Technische Fähigkeiten	99
II.2 Wo wurden die Kometenkristalle gebacken?	27	Aktueller Stand	100
II.3 Erste direkte Abbildung eines kühlen Planeten bei einem sonnenähnlichen Stern	31	IV.3 PANIC – Weitfeld-Kamera für den Calar Alto ..	101
II.4 Erste Ergebnisse der HERSCHEL-Mission	34	IV.4 Spezielle Entwicklungen in den technischen Abteilungen	103
II.5 Galaktischer Kannibalismus: Sternströme rund um die Andromeda-Galaxie	40	Ultrapräzise Metalloptik	103
II.6 Maximale Sternenstehung im jungen Kosmos ...	42	Messinstrumente	104
II.7 Gibt es genügend viele kleine Galaxien?.....	46	Kryokühlsysteme für Infrarot-Instrumente	105
II.8 Die Bedeutung der Zusammenstöße von Galaxien für die Sternentstehung im Kosmos	51	Infrarot-Detektorsysteme	108
III. Ausgewählte Forschungsgebiete	55	V. Menschen und Ereignisse	109
III.1 Gas in protoplanetaren Scheiben	55	V.1 Tagungen des MPIA	109
III.2 Frühphasen der Entstehung massearmer Sterne	65	V.2 Aktivitäten zum »Jahr der Astronomie«	112
III.3 Quasare als kosmologische Sonden	73	V.3 Das Haus der Astronomie	115
III.4 Sternpopulationen in Galaxien	86	V.4 Preise und Auszeichnungen	118
		V.5 Astronomische Entwicklungen in der MPG Erinnerungen von Reimar Lüst.....	121
		V.6 »Mit dem Haus der Astronomie geht ein Traum in Erfüllung« – ein Gespräch mit Eckart Würzner	124
		V.7 Nachrufe	127
		Personal	130
		Arbeitsgruppen	132
		Lehrveranstaltungen	133
		Mitarbeit in Gremien	134
		Weitere Aktivitäten am Institut	135
		Preise	136
		Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Wissenschaft, Beruf und Familie	136
		Zusammenarbeit mit Firmen	137
		Tagungen, Vorträge	141
		Veröffentlichungen	149

Vorwort

In diesem Jahresbericht werden die wissenschaftlichen Aktivitäten des Heidelberger Max-Planck-Instituts für Astronomie (MPIA) beschrieben. Er richtet sich sowohl an unsere Kollegen weltweit, als auch an das interessierte Publikum.

Das Jahr 2009 hat auf Gebieten, die von der Struktur des Kosmos bis zu der Erforschung von Exoplaneten reichen, eine Fülle wissenschaftlicher Ergebnisse gebracht.

Es gab exzellente Fortschritte in der Entwicklung zukunftsweisender neuer Einrichtungen und Instrumente. Mit den Arbeiten am Large Binocular Telescope, einschließlich der ersten Beobachtungen mit dem neuen Infrarot-Instrument LUCIFER, an den VLT- und VLTI-Instrumenten der zweiten Generation und an der Instrumentierung des JWST wurden Grundlagen für zukünftige astronomische Entdeckungen geschaffen. Erste Studien zur Instrumentierung des European Extremely Large Telescope (E-ELT) wurden in Angriff genommen.

Ein besonderer Höhepunkt war der erfolgreiche Start der HERSCHEL-Mission und die problemlose Inbetriebnahme des PACS-Instruments. Dieses Observatorium wird uns einen neuen Blick in das staubige Universum erlauben.

Am 13. Oktober haben die Bauaktivitäten am »Haus der Astronomie«, dem neuen Zentrum für Öffentlichkeitsarbeit, wissenschaftliche Kommunikation und Bildung auf dem Gelände des MPIA, mit einem festlichen Ersten Spatenstich begonnen.

Zusätzlich zu den kurzen Darstellungen einer Vielfalt laufender wissenschaftlicher Projekte und ihrer Ergebnisse berichten wir ausführlicher über einige ausgewählte Forschungsfelder am Institut.

Wir hoffen, den Lesern dieses Jahresberichts ein Bild von der Forschung und der Arbeit am MPIA zu vermitteln.

Thomas Henning, Hans-Walter Rix

Heidelberg, im August 2010

I. Allgemeines

I.1 Wissenschaftliche Zielsetzung

Die Arbeit des Max-Planck-Instituts für Astronomie (Abb. I.1) dient dem Ziel, die Natur und Entwicklung der Planeten, Sterne, Galaxien und des Universums als Ganzes zu erforschen und zu verstehen. Dieses Ziel verfolgen wir mit der Entwicklung und dem Einsatz von Teleskopen und Messinstrumenten, mit der Planung und Ausführung vielfältiger Beobachtungsprogramme, sowie mit der physikalischen Analyse und theoretischen Modellierung der beobachteten Phänomene. Das MPIA konzentriert seine Beobachtungen auf den optischen und infraroten Spektralbereich und ist führend in der instrumentellen Entwicklung sowohl für bodengebundene als auch für weltraumgestützte Observatorien.

Die Forschung am Institut ist in zwei wissenschaftlichen Abteilungen organisiert: Galaxien und Kosmologie, sowie Planeten- und Sternentstehung. Zusätzlich zu den fest angestellten Mitarbeitern in diesen Abteilungen bestehen sieben selbstständige Nachwuchsgruppen – drei

von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierte Emmy-Noether-Gruppen und vier Nachwuchsgruppen der Max-Planck-Gesellschaft. Im Berichtsjahr waren insgesamt 56 Post-Docs und Gastwissenschaftler sowie 91 Doktoranden und 17 Diplom- und Master-Studenten am Institut tätig. Es besteht eine enge Zusammenarbeit in Forschung und Lehre mit dem Zentrum für Astronomie an der Universität Heidelberg (ZAH), zum Beispiel im Rahmen der International Max Planck Research School (IMPRS) for Astronomy and Cosmic Physics.

Die Hauptarbeitsgebiete beider Abteilungen haben zahlreiche wissenschaftliche und praktische Aspekte gemeinsam. Offensichtlich ist die Sternentstehung mit der Entstehung und Entwicklung der Galaxien eng verknüpft. Aber auch die Anforderungen an die Messinstrumente sind in beiden Abteilungen sehr ähnlich, etwa in Bezug auf die benötigte hohe räumliche Auflösung oder auf den hohen Stellenwert umfassender Durchmusterungen und der Beobachtungsmöglichkeiten im infraroten Spektralbereich.

Abb. I.1: Das Hauptgebäude des MPIA.



Galaxien und Kosmologie

Das Reich der Galaxien

Wir wissen, dass das Universum gleich nach dem Urknall recht »einfach« und nahezu homogen aufgebaut war, während es heute innerhalb eines weiten Bereiches physikalischer Größenordnungen mit einer reichhaltigen hierarchischen Struktur aufwartet: von der filamentartigen Anordnung der Galaxien über sehr große Entfernungen hinweg (dem »kosmischen Netz«) bis herab zu den einzelnen Galaxien, den Sternhaufen, den Sternen und deren Planeten. Die Bildung dieser reichhaltigen Strukturen lässt sich allerdings nur verstehen, wenn man annimmt, dass sie durch Gravitationsinstabilitäten angetrieben wird, die in einer dominanten, aber bis heute noch nicht identifizierten »Dunklen Materie« auftreten.

Die Galaxien, so wie wir sie im heutigen Universum sehen, stellen in dieser hierarchischen Ordnung eine mittlere Ebene dar und bestehen aus Millionen bis Milliarden von Sternen, sowie aus interstellarem Gas und Staub, eingebettet in Halos aus Dunkler Materie. Wie Edwin Hubble schon vor 70 Jahren feststellte, zeigen diese »Weltein Inseln« in ihrem Erscheinungsbild und in ihrer Struktur bei Weitem nicht die Vielfalt, die zunächst physikalisch möglich erscheint. Einerseits scheint die Vielfalt der Galaxien groß zu sein, denn als Objektklasse umspannen sie zehn Größenordnungen in ihren stellaren Massen, und die Zahl der neu entstehenden Sterne variiert in der gleichen Breite; die physischen Größen verschiedener Galaxien variieren immerhin um einen Faktor 100; während einige Galaxien in ihrem Zentrum offenbar kein Schwarzes Loch besitzen, beträgt die Masse dieses zentralen Schwarzen Loches bei anderen Galaxien mehr als eine Milliarde Sonnenmassen. Andererseits haben gerade die Beobachtungen der letzten 15 Jahre gezeigt, dass nur ein winziger Bruchteil der denkbaren Kombinationen der charakteristischen Größen (Masse und Alter der Sterne, Größe, zentrales Schwarzes Loch, usw.) tatsächlich im Universum verwirklicht sind. Praktisch alle Größen korrelieren stark miteinander: Massereiche Galaxien sind groß; massereiche Galaxien enthalten praktisch keine jungen Sterne; das zentrale Schwarze Loch enthält einen konstanten Massenbruchteil der zehn Millionen Mal größeren sphärischen Sternverteilung. Während Spiralgalaxien unter den größeren Galaxien der häufigste Galaxientyp sind, kommen sie unter den massereichsten Sternsystemen nicht vor.

Das bedeutet: Das »Reich der Galaxien« (»the realm of galaxies«, wie Edwin Hubble es genannt hat) ist in hohem Maße geordnet. Wie diese Ordnung aus den Zufallsfluktuationen nach dem Urknall entstanden ist, ist die Grundfrage der Galaxienentwicklung und eine zentrale Frage der Kosmologie.

Grundsätzlich gibt es drei Möglichkeiten, die so eingeschränkte Vielfalt der Galaxien zu erklären: Entwe-

der die beobachteten Galaxien stellen die einzig stabilen Konfigurationen dar. Oder die kosmologischen Anfangsbedingungen erlauben nur die Entstehung der Galaxien, die wir beobachten. Oder der gesamte Prozess der Galaxienentstehung führt aufgrund verschiedener Rückkopplungsprozesse zu einer begrenzten Vielfalt von Ergebnissen.

Welche Fragen möchten wir beantworten?

Zahlreiche der am MPIA durchgeführten Projekte widmen sich der Frage, welche dieser drei Mechanismen wo eine Rolle spielen. Einige der spezifischen Fragen, die wir in dieser Abteilung bearbeiten, sind:

- Während welcher kosmischen Epoche sind die meisten Sterne entstanden?
- Warum hat die Bildung neuer Sterne seit sechs Milliarden Jahren abgenommen? Erleben wir heute das Ende der kosmischen Sternentstehung?
- Wie sind die Schwarzen Löcher in den Zentren der Galaxien entstanden und gewachsen? Warum kann man aus der gesamten Größe einer Galaxie die Eigenschaften des winzigen Schwarzen Loches in ihrem Zentrum vorhersagen?
- Wann und durch welche Prozesse werden Struktur und Morphologie der Galaxien bestimmt?
- Was ist der Zustand des interstellaren Mediums, des Rohstoffes, aus dem sich neue Sterne bilden?
- Was ist der Zustand des intergalaktischen Mediums im Raum zwischen den Galaxien, wo sich die meisten Atome des Universums befinden?
- Können die vielfältigen Beobachtungen im Rahmen eines umfassenden Modells *ab initio* verstanden werden?
- Wie ist das Milchstraßensystem, der Rosetta-Stein für die Entwicklung der Galaxien, entstanden?

Was tun wir, um die Antworten zu finden?

Die am MPIA verfolgten Ansätze, um diese Fragen anzugehen, umfassen drei Aspekte: die detaillierte Untersuchung einzelner Galaxien im gegenwärtigen Universum; die direkte Untersuchung von Galaxien in früheren kosmischen Epochen durch die Beobachtung weit entfernter (hochrotverschobener) Objekte; und den Vergleich von Beobachtungen mit physikalischen Modellen. Die Beobachtungen auf diesem Gebiet erfordern Durchmusterungsteleskope, Fernrohre möglichst großer Öffnung (um möglichst viele Photonen der schwächsten Lichtquellen zu sammeln), und interferometrische Techniken, um die höchstmögliche räumliche Auflösung zu erreichen. Für umfassende Studien der Galaxienentwicklung sind Beobachtungen in allen Spektralbereichen, vom Radio- bis hin zum Röntgenbereich, erforderlich.

Das Institut hat sich maßgeblich an mehreren Durchmusterungen beteiligt, die Durchbrüche erbracht haben

oder zu erbringen versprechen: der Sloan Digital Sky Survey (SDSS und SEGUE) zur Untersuchung des Milchstraßensystems und der Lokalen Gruppe, sowie dessen jetzt startendes Nachfolgeprojekt PanSTARRS-1, ergänzt durch die im Vorjahr in Betrieb genommenen LBC-Kameras am LBT; die Durchmusterung COMBO-17 zur Entwicklung der Galaxien, durchgeführt mit dem 2,2-m-Teleskop auf La Silla; Folgebeobachtungen zu diesen Durchmusterungsprogrammen am VLT und bald auch am LBT; die beiden Weltraumteleskope SPITZER (mit seinen Instrumenten IRAC und MIPS) und HERSCHEL (mit PACS) dienen zur Untersuchung der Sternentstehung und des Interstellaren Mediums, ergänzt durch das VLA, das Interferometer auf dem Plateau de Bure, APEX und bald auch ALMA im Radio- und Submillimeterwellenbereich. In der Abteilung Galaxien und Kosmologie wird wahrlich Multiwellenlängen-Astrophysik betrieben.

Entstehung von Sternen und Planeten

Das Verbindungsglied zwischen Sternen und Galaxien

Die Entstehung von Sternen ist ein fundamentaler Prozess im Universum. Sie bestimmt die Struktur und die chemische Zusammensetzung ganzer Galaxien. Die Entstehung einzelner Sterne lässt sich am besten in den nahen Molekülwolken unserer Galaxis studieren. Die Untersuchung der Sternentstehung in anderen Galaxien zeigt uns den Ablauf dieses Prozesses unter Bedingungen, die von denen in unserer Galaxis sehr verschieden sein können. Unsere Untersuchungen in den Magellanschen Wolken zeigen, wie die Häufigkeiten der schweren Elemente (der sogenannten »Metalle«) den Sternentstehungsprozess beeinflussen – dieser Faktor spielte bei der Sternentstehung im frühen Universum gewiss eine bedeutende Rolle.

Sterne entstehen in den dichten und kalten Kernen von Molekülwolken, die gravitationsinstabil werden und im Allgemeinen in Fragmente zerfallen, aus denen Doppel- und Mehrfachsysteme entstehen. In welcher Weise Magnetfelder und Turbulenzen das Einsetzen der Sternentstehung beeinflussen, ist eine der zentralen offenen Fragen, die es zu beantworten gilt. Sie hängt direkt mit der unterschiedlichen Form der anfänglichen (sub)stellaren Massenfunktion in unterschiedlichen Umgebungen zusammen. Dynamische Wechselwirkungen in Mehrfachsystemen spielen möglicherweise eine entscheidende Rolle bei der Entstehung Brauner Zwerge. Die Entstehung massereicher Sterne geschieht in Sternhaufen und führt zu komplexen Sternentstehungsgebieten. Die schnelle Entwicklung massereicher Protosterne und die damit verbundenen energiereichen

Phänomene erschweren die Identifikation der Entstehungswege massereicher Sterne erheblich.

Blick hinter den Vorhang ...

Die frühesten Phasen der Sternentstehung sind hinter enormen Mengen von Staub und Gas verborgen und können nur mittels empfindlicher Beobachtungen im fernen Infrarot und im (Sub-) Millimeterwellenbereich untersucht werden. In späteren Entwicklungsstadien leuchten die Objekte im mittleren und nahen Infrarot, und schließlich werden sie im optischen Spektralbereich sichtbar. Deshalb überdecken unsere Beobachtungsprogramme einen weiten Wellenlängenbereich, mit besonderem Schwerpunkt im Infraroten und bei (Sub-)Millimeterwellen.

Die Entstehung von Planeten und Planetensystemen ist ein natürliches Nebenprodukt der Entstehung massereicher Sterne. Aufgrund der Drehimpulserhaltung geschieht die Akkretion von Materie auf den zentralen Protostern hauptsächlich aus einer zirkumstellaren Scheibe. Scheiben um T-Tauri-Sterne sind die natürlichen Geburtsstätten von Planetensystemen, ähnlich dem Sonnensystem vor 4,5 Milliarden Jahren. Während der aktiven Akkretionsphase werden bipolare molekulare Ausflüsse und ionisierte Jets erzeugt, die ihrerseits für die Entwicklung der Stern-Scheiben-Systeme eine wichtige Rolle spielen. Wir beginnen gegenwärtig damit, protoplanetare Scheiben als Labore zu nutzen, in denen wir die Bildung unseres Sonnensystems und der vielfältigen anderen bisher entdeckten Planetensysteme untersuchen können.

Die Forschung der Abteilung Planeten- und Sternentstehung konzentriert sich auf die Entschlüsselung der frühesten Phasen im Leben der Sterne, sowohl am oberen als auch am unteren Ende des Massenspektrums. Beobachtungen mit Hilfe von Weltraumobservatorien wie SPITZER, HST und HERSCHEL, wie auch an erdgebundenen Infrarot- und (Sub-) Millimeter-Teleskopen erlauben den Nachweis und die Charakterisierung massereicher Protosterne und ihrer Entwicklung. Mit der energischen Nutzung der Submillimeter-Observatorien bereitet sich die Abteilung auf die Nutzung des Atacama Large Millimeter Array (ALMA) vor, das demnächst in Betrieb gehen wird.

Die Untersuchung Brauner Zwerge, die erstmals 1995 entdeckt wurden, ist ein weiteres wichtiges Forschungsgebiet. Wie entstehen Braune Zwerge? Sind auch substellare junge Objekte von Staub- und Gasscheiben umgeben? Wie oft kommen sie in Doppelsystemen vor, und wie lässt sich ihre Masse genau bestimmen? Wie setzt sich ihre Atmosphäre zusammen? Dies sind einige der brennenden Fragen, mit denen sich die Forscher am MPIA befassen.

Die Entstehung von Planetensystemen und die Suche nach Exoplaneten

Mit der Entdeckung der ersten extrasolaren Planeten um sonnenähnliche Sterne im Jahre 1995 trat die Erforschung der Planetenentstehung in protoplanetaren Scheiben in eine neue Phase stürmischer Entwicklung ein. Die Abteilung ist gut gerüstet, um auf diesem Gebiet eine bedeutende Rolle zu spielen, mit einer Kombination von Infrarot- und Millimeterwellen-Beobachtungen, numerischen (magneto-) hydrodynamischen Modellrechnungen und Studien des Strahlungstransports. Die am Weltraumteleskop HUBBLE gewonnenen Bilder und die Fülle der von SPITZER gelieferten Daten verschaffen uns neue Einblicke in die frühesten Stadien der Planetenbildung. Die Erhöhung der räumlichen Auflösung durch unsere Entwicklungen in der adaptiven Optik und durch Infrarot-Interferometrie an Großteleskopen und mit großen Basislinien, sowie der Einsatz von Interferometern im Millimeterwellenbereich verschaffen uns Einblicke in die Struktur und Entwicklung der Scheiben auf räumlichen Skalen, die bereits für die Planetenentstehung relevant sind. Die Entwicklung der zirkumstellaren Gasscheiben wird mit hochauflösender Infrarotspektroskopie untersucht, die Akkretionsphänomene mit Multiobjektspektroskopie.

Wir haben neue Beobachtungsprogramme in Angriff genommen mit dem Ziel, extrasolare Planeten durch direkte Abbildung, nach der Transitmethode und auf astrometrischem Wege zu finden. Mit dem Spectral

Differential Imager (SDI) am VLT stellen wir an der hochauflösenden Infrarotkamera mit adaptiver Optik NACO ein neues Abbildungsverfahren mit hohem Kontrast bereit. Gegenwärtig ist das System leistungsfähiger als jedes andere Instrument dieser Art und bereitet den Weg für das Instrument SPHERE der ESO. Die Abteilung beteiligt sich aktiv am Planetensuchprogramm SEEDS mit dem SUBARU-Teleskop auf Hawaii.

Das theoretische Programm der Abteilung Planeten- und Sternentstehung ist konzentriert auf komplexe numerische Simulationen zur Entwicklung protoplanetarer Scheiben, einschließlich des Zusammenspiels von Strahlung, Dynamik, Chemie und Entwicklung der Staubteilchen. Die Entstehung massereicher Sterne ist ein weiterer Gegenstand theoretischer Studien. Programme zur Berechnung des Strahlungstransports in mehreren Dimensionen, sowohl für Moleküllinien als auch für das Kontinuum der Staubemission, wurden in der Abteilung entwickelt. Die theoretischen Studien sind auch mit den verschiedenen Beobachtungsprogrammen eng verzahnt.

Das Verständnis vieler der mikrophysikalischen Prozesse und der Zusammensetzung von Staub und Gas während der Planeten- und Sternentstehung erfordert gezielte Laboruntersuchungen. Eine entsprechende Arbeitsgruppe »Laborastrophysik« gehört zu unserer Abteilung und befindet sich im Institut für Festkörperphysik der Universität Jena. Diese Gruppe untersucht die spektroskopischen Eigenschaften von Nanoteilchen sowie von Molekülen, insbesondere PAH's, in der Gasphase.

I.2 Observatorien – Teleskope – Instrumente

Das MPIA war mit dem Aufbau und Betrieb zweier groß-er bodengebundener Observatorien befasst. In den 70er und 80er Jahren war der Aufbau des Calar-Alto-Observatoriums, nach wie vor die größte Sternwarte des europäischen Kontinents, eine zentrale Aufgabe des MPIA: Das 2,2- und das 3,5-m-Teleskop werden nach wie vor für moderne Beobachtungsprogramme eingesetzt; seit 2004 wird das Observatorium als Centro Astronomico Hispano-Alemán (CAHA), eine Organisation spanischen Rechts, gemeinsam von der Max-Planck-Gesellschaft und dem Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) betrieben.

Seit 1997 koordiniert das MPIA die deutsche Beteiligung am Large Binocular Telescope (LBT) auf dem Mt. Graham in der Nähe von Tucson, Arizona; die zweite Primärfokus-Kamera wurde Ende 2007 am Teleskop installiert und im Laufe des Jahres 2008 in Betrieb genommen; mittlerweile wird sie für wissenschaftlichen

Beobachtungsprogramme angeboten. Im Jahr 2008 wurde das Instrument LUCIFER 1, das gemeinsam mit der Landessternwarte Heidelberg, dem MPI für extraterrestrische Physik, dem Astronomischen Institut der Ruhr-Universität Bochum und der Hochschule Mannheim entwickelt wurde, am Teleskop installiert und mit der Inbetriebnahme begonnen. Erste Testbeobachtungen mit diesem Nah-Infrarot-Multi-Objekt-Spektrometer erfolgten im Dezember 2009. Das MPIA setzt auch sein 2,2-m-Teleskop ein, das auf dem Berg La Silla in Chile von der Europäischen Südsternwarte (Eso) betrieben wird. Nach einer neuen Vereinbarung zwischen MPG und Eso können Wissenschaftler der MPG seit dem 1. April 2009 an diesem Teleskop 75 Prozent (statt früher 25 Prozent) der Beobachtungszeit nutzen.

Abb. I.2: Luftaufnahme des Calar-Alto-Observatoriums.



Die am Institut entwickelten und gebauten Instrumente werden sowohl für erdgebundene als auch für weltraumgestützte Beobachtungen eingesetzt. Beide Beobachtungsarten ergänzen einander heute in idealer Weise. Die erdgebundenen Teleskope haben meist größere Primärspiegel und damit eine größere Lichtsammelleistung als Weltraumteleskope. Bei Einsatz moderner Techniken wie adaptiver Optik und Interferometrie, an deren Entwicklung das MPIA an vorderster Front arbeitet, erzielen sie auch eine höhere räumliche Auflösung. Weltraumteleskope sind hingegen unerlässlich bei Beobachtungen in Wellenlängenbereichen, in denen die Erdatmosphäre die einfallende Strahlung absorbiert oder einen störenden Hintergrund erzeugt, wie dies z.B. in weiten Teilen des infraroten Spektralbereiches der Fall ist.

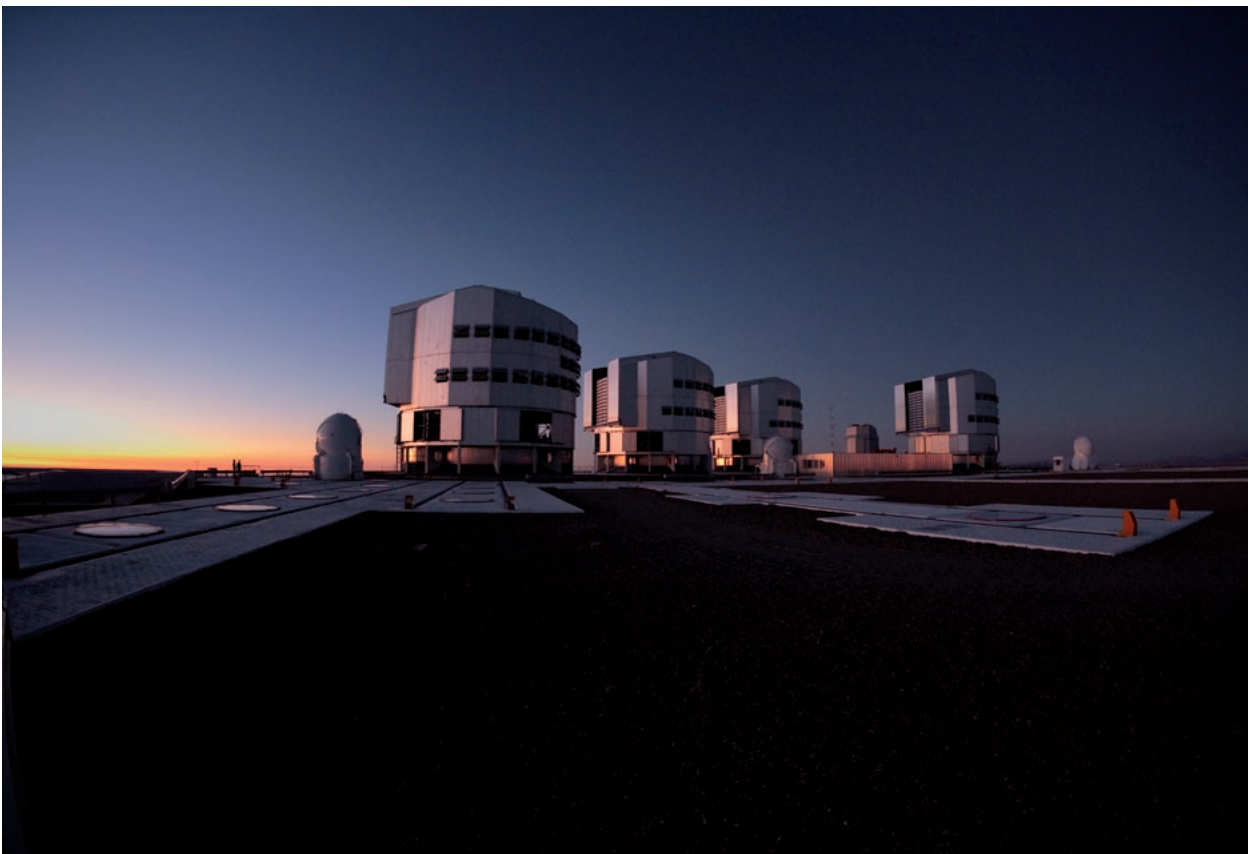
An der Entwicklung der Infrarotastronomie hat das MPIA seit deren Pionierzeit in den siebziger Jahren erfolgreich teilgenommen. So entstand ISOPHOT, eines von vier Messinstrumenten des weltweit ersten Infrarot-Weltraumobservatoriums Iso der Europäischen Weltraumbehörde ESA, unter der Federführung des Instituts. Iso lieferte von 1996 bis 1998 hervorragende Daten, insbesondere in dem bis dahin nicht zugänglichen Bereich des fernen Infrarot. Das hierbei gewonnene Know-how setzen die Wissenschaftler am Institut bei jetzt laufenden

Projekten, wie den Weltraumteleskopen HERSCHEL und James Webb Space Telescope (JWST) ein. Astronomen des MPIA sind gegenwärtig auch am US-amerikanischen Infrarotobservatorium SPITZER aktiv mit Beobachtungsprogrammen beteiligt.

Ende 2009 lieferte HERSCHEL die ersten, innerhalb einer Reihe wissenschaftlicher Schlüsselprojekte mit Beteiligung des MPIA gesammelten Daten. Die Qualität dieser Daten ist exzellent – auf dieser Grundlage wird im Sommer 2010 ein Sonderheft von A&A mit den ersten HERSCHEL-Ergebnissen erscheinen.

Die Instrumente der neuen Generation für Teleskope der 8-m-Klasse und für Weltraumobservatorien sind zu komplex und zu teuer, als dass sie in einem einzelnen Institut von der Größe des MPIA entwickelt werden könnten. Deshalb ist das Institut heute an einer Reihe internationaler Kollaborationen zum Bau neuer Großteleskope und wissenschaftlicher Instrumente beteiligt. Damit ist der Zugang zu den bedeutendsten Observatorien der Erde gewährleistet. Auf der Südhalbkugel ist dies das Very Large Telescope (VLT) der Eso in Chile mit seinen vier 8,2-Meter-Teleskopen, die sich zu einer leistungsstarken interferometrischen Anordnung zusammenschließen lassen. Auf der Nordhalbkugel ist das MPIA am Large Binocular Telescope (LBT) in Arizona beteiligt. Dieses außergewöhnliche Teleskop verfügt über zwei 8,4-Meter-Spiegel auf einer gemeinsamen Montierung und ist damit das weltweit größte Einzelteleskop. Mit

Abb. I.3: Das Very Large Telescope in den chilenischen Anden. (Bild: Eso)



dem laufenden regulären wissenschaftlichen Betrieb beider Primärfokus-Kameras und dem Beginn der wissenschaftlichen Testbeobachtungen mit dem Nah-Infrarot-Multi-Objekt-Spektrometer LUCIFER 1 im Dezember ist das LBT zu einem produktiven Großteleskop ersten Ranges geworden. Im Jahr 2007 wurde das MPIA der wichtigste Partner der Universität Hawaii in der PANSTARRS-1-Kollaboration (PS 1). Damit hat das Institut uneingeschränkten Zugang zu den Daten, die mit einem 1,8-m-Weitfeld-Teleskop auf Haleakala, einem Vulkan der Hawaii-Insel Maui, gesammelt werden. Die weltweit größte Gigapixel-Kamera für dieses Projekt wurde im August 2007 ans Teleskop gebracht.

Diese Kollaborationen versetzen das MPIA in die Lage, den Nord- und Südhimmel mit erstklassigen Großteleskopen zu erforschen. Gleichzeitig beteiligt sich das Institut aktiv an Studien zur Instrumentierung von Observatorien der nächsten Generation, den sogenannten Extremely Large Telescopes (ELT).

Bodengebundene Astronomie – Instrumentierung

Gegenwärtig konzentrieren sich die Projekte des MPIA im Bereich der Instrumentierung bodengebundener Teleskope auf Instrumente für das VLT-Interferometer (VLTI) der Eso, hochgenaue Abbildungssysteme für LBT und VLT, sowie Durchmusterungsinstrumente für den Calar Alto. Das MPIA ist auch an Studien für die zukünftige Instrumentierung des Europäischen ELT (E-ELT) beteiligt.

Instrumente für das VLTI

Im August 2008 wurden die differenziellen optischen Verzögerungsstrecken des Dual-feed-Systems PRIMA am VLTI auf dem Cerro Paranal in Chile installiert. Sie wurden vom MPIA zusammen mit dem Observatoire de Genève und der Landessternwarte Heidelberg gebaut. Gegenwärtig wird PRIMA aktiv in Betrieb genommen. Im damit verbundenen Forschungsprojekt ESPRI sollen die Verzögerungsstrecken dazu dienen, den Winkelabstand der untersuchten Sterne von einem Referenzstern mit Mikrobogensekunden-Genauigkeit zu messen. Damit wird die dynamische Bestimmung der Massen extrasolarer Planeten aufgrund präziser astrometrischer Messungen der Reflexbewegungen ihrer Zentralsterne möglich.

Das MPIA beteiligt sich am Bau von MATISSE und GRAVITY, Instrumenten der zweiten Generation für das VLTI. MATISSE ist ein Nachfolger des am MPIA gebauten Instruments MIDI, das seit September 2003 mit großem Erfolg auf dem Paranal betrieben wird. Das MATISSE-Konsortium besteht aus neun vom Observatoire de la Côte d'Azur geführten Instituten. MATISSE wird im mittleren Infrarot arbeiten und das Licht aller vier 8,2-m-Teleskope des VLT zur Abbildung mit Winkelauflösung im Bereich von 10 bis 20 Millibogensekunden zusam-

menführen. Die wissenschaftlichen Anwendungen reichen von der Struktur aktiver Galaxienkerne (AGN) bis zur Entstehung von Planetensystemen und massereichen Sternen und zur Untersuchung zirkumstellarer Umgebungen.

GRAVITY ist der Nachfolger von PRIMA. Wie MATISSE wird das Instrument das Licht aller vier 8,2-m-Teleskope des VLT zusammenführen, allerdings im nahen Infrarot. Das GRAVITY-Konsortium wird vom MPI für Extraterrestrische Physik in Garching geleitet. Neben dem MPIA sind das Observatoire de Paris und die Universität Köln beteiligt. Unterstützt von einer hochleistungsfähigen adaptiven Optik, wird GRAVITY in einem zwei Bogensekunden großen Bildfeld Präzisionsastrometrie kleinster Winkel und die phasenreferenzierte Abbildung schwacher Lichtquellen ermöglichen. Damit können die Bewegungsabläufe innerhalb weniger Vielfacher des Ereignishorizonts um das Schwarze Loch im Galaktischen Zentrum untersucht und die Allgemeine Relativitätstheorie im Grenzfall starker Felder getestet werden. Andere Anwendungen betreffen den direkten Nachweis von Schwarzen Löchern intermediärer Masse in Galaxien, die dynamische Massenbestimmung extrasolarer Planeten, den Urprung protostellarer Jets und die Abbildung von Sternen und leuchtendem Gas in den durch Staub verdunkelten Umgebungen aktiver Galaxienkerne und Sternentstehungsgebiete, oder von protoplanetaren Scheiben.

Hochgenaue Abbildungssysteme

LUCIFER 1, die erste von zwei identischen tiefgeköhlten Kameras und Multiobjekt-Spektrographen für das LBT zum Einsatz im mittleren Infrarot, wurde im August 2008 vom MPIA zum Mount Graham gebracht. Dieses Instrument wurde gemeinsam mit der Landessternwarte Heidelberg, dem MPE in Garching, der Universität Bochum und der Fachhochschule für Technik und Gestaltung in Mannheim gebaut und steht seit Dezember 2009 für den wissenschaftlichen Einsatz bereit. Im seeingbegrenzten Modus besitzt es ein 4×4 Quadratbogenminuten großes Gesichtsfeld. Sobald die adaptiven Sekundärspiegel am LBT arbeiten werden, kann für beide LUCIFER-Instrumente in einem $0,5 \times 0,5$ großen Gesichtsfeld mit beugungsbegrenzter Auflösung gerechnet werden. Mit adaptiver Optik wird auch eine spektrale Auflösung von mehreren 10 000 erreichbar sein. Die wissenschaftlichen Anwendungen der vielseitigen LUCIFER-Instrumente sind zahlreich, etwa die Untersuchung von Sternentstehungsgebieten in nahen Galaxien.

Das größte Instrumentierungsprojekt des Instituts ist der Strahlvereiniger LINC-NIRVANA für das LBT im nahen Infrarot, der gegenwärtig in der Integrationshalle des MPIA gebaut wird. Bei diesem Projekt leitet das MPIA als PI-Institut ein Konsortium, zu dem die italienischen Observatorien (INAF), das MPIfR in Bonn



Abb. I.4: Das Gebäude des Large Binocular Telescope (LBT) auf dem Mount Graham in Arizona. (Bild: LBTO)

und die Universität Köln gehören. Gegenwärtig werden die einzelnen Untersysteme von den verschiedenen Projektpartnern nach Heidelberg geliefert, und LINC-NIRVANA wird im MPIA integriert und getestet. Über die kohärente Zusammenführung der Strahlengänge beider Hauptspiegel mittels Fizeau-Interferometrie wird LINC-NIRVANA bei Wellenlängen von 1 bis $2,4\,\mu\text{m}$ in einem $10'',5 \times 10'',5$ großen Gesichtsfeld beugungsbegrenzte Bilder liefern, wobei die räumliche Auflösung der eines 23-m-Teleskops entsprechen wird. Multikonjugierte adaptive Optik mit bis zu 20 natürlichen Leitsternen wird eine weitgehende Himmelsüberdeckung gewährleisten. Aufgrund seines großen Gesichtsfelds und seiner astrometrischen Qualitäten reichen die Anwendungsmöglichkeiten des Instruments von der Kosmologie mit Supernovae über die Entstehung von Galaxien, Sternpopulationen und Sternentstehung in Galaxien bis hin zur Struktur zirkumstellarer Scheiben und zur Untersuchung der Planeten des Sonnensystems und ihrer Atmosphären.

Als Co-PI-Institut in Zusammenarbeit mit dem Laboratoire d'Astrophysique de l'Observatoire de Grenoble, dem Laboratoire d'Astrophysique in Marseille, der ETH Zürich und der Universität Amsterdam ist das

MPIA maßgeblich an der Entwicklung von SPHERE beteiligt, einem VLT-Instrument, das auf die Abbildung jupiterähnlicher extrasolarer Planeten spezialisiert ist. Zur Überwindung des enormen Helligkeitskontrastes zwischen den Planeten und ihren Zentralsternen werden bei SPHERE extreme adaptive Optik (XAO), Koronagraphie und drei für differenzielle Abbildung ausgelegte Fokalebene-Instrumente zum Einsatz kommen, welche Polarimetrie im Sichtbaren, duale Abbildungstechnik im nahen Infrarot, beziehungsweise integrale Feldspektroskopie im J-Band ermöglichen werden.

Durchmusterungs-Instrumente

Das Arbeitspferd für die laufenden Durchmusterungen des MPIA ist die Nah-Infrarot-Kamera OMEGA 2000, die seit 2003 im Primärfokus des 3,5-m-Teleskops auf dem Calar Alto zum Einsatz kommt. Ihr Gesichtsfeld ist $15'',4 \times 15'',4$ und ihr Wellenlängenbereich liegt bei z bis K .

PANIC, die Panoramic Near Infrared Camera, wird der Nachfolger von OMEGA 2000 sein – eine vielfältig nutzbare Weitfeldkamera für den Einsatz am 2,2-m- und 3,5-m-Teleskop auf dem Calar Alto, die gemeinsam vom MPIA und dem Instituto de Astrofísica de Andalucía entwickelt wird. Mit seinen vier Detektoren vom Typ HAWAII2-RG wird PANIC ein Gesichtsfeld von $30' \times 30'$ besitzen. Die Kamera eignet sich gleichermaßen zur Durchmusterung

galaktischer und extragalaktischer Objekte, wie auch von Objekten des Sonnensystems. Einige der zahlreichen wissenschaftlichen Fragestellungen betreffen Galaxien mit Gammastrahlen-Ausbrüchen, Supernovae, Entfernungsskalen, hochrotverschobene Quasare, Akkretionsscheiben, Post-AGB-Sterne und optische Gegenstücke zu Röntgen-Doppelsternen.

Auch LAIWO, der Large Area Imager für das Wise-Observatorium in Israel, wurde am MPIA gebaut. Diese Kamera für den optischen Spektralbereich wurde im Oktober 2007 am dortigen 1-m-Teleskop installiert. Ein Mosaik aus vier CCD-Detektoren mit je 4000×4000 Pixeln liefert ein Gesichtsfeld von einem Quadratgrad. Wichtigste wissenschaftliche Anwendung wird die photometrische Suche nach jupitergroßen extrasolaren Transit-Planeten sein.

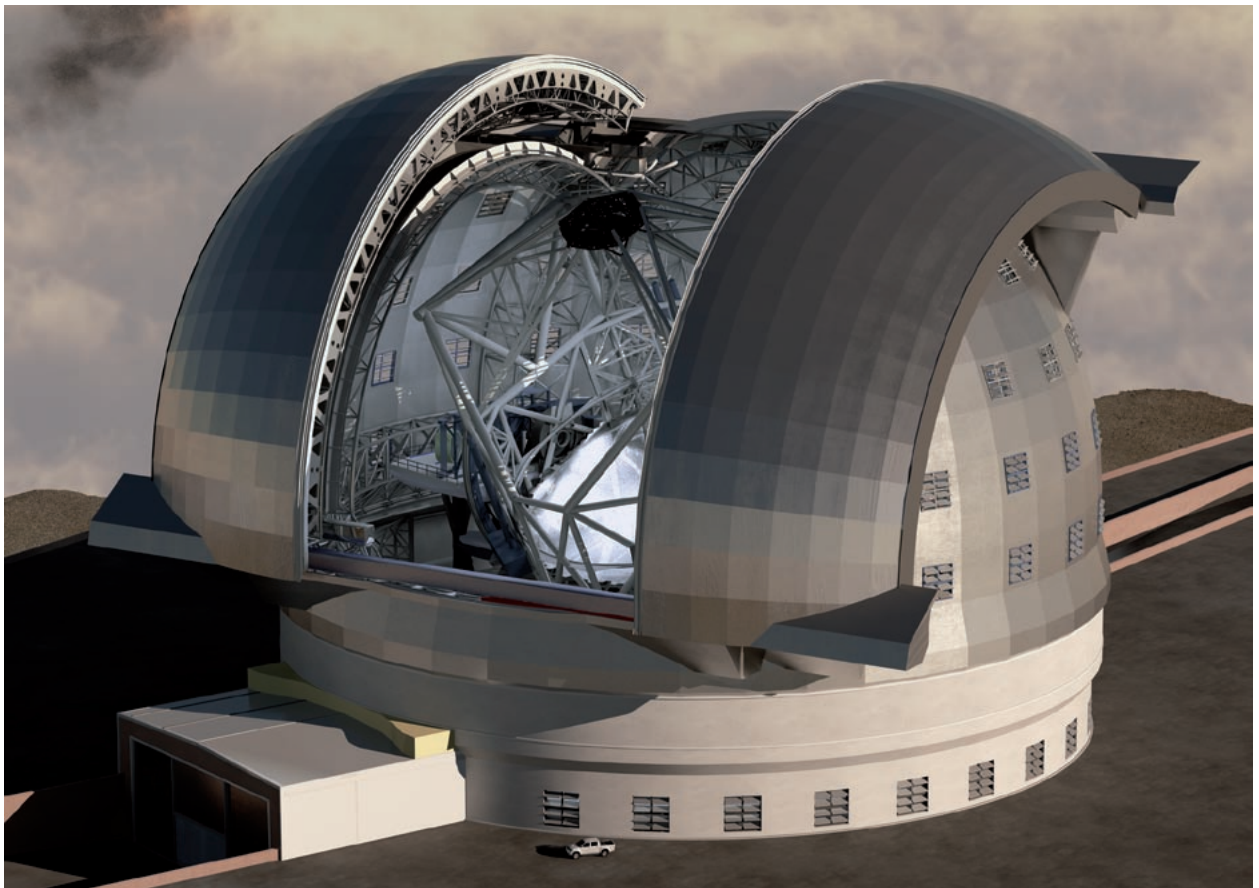
Das Projekt HAT-South ist ein Netzwerk aus 24 kleinen automatischen Teleskopen, die zahlreiche nahe Sterne nach Transits extrasolarer Planeten absuchen. Die Teleskope stehen an drei Standorten: Las Campanas in Chile, die HESS-Station in Namibia und Siding Spring in Australien. Das MPIA ist für Aufbau und Betrieb der namibischen Station verantwortlich. Die Durchmusterung soll Anfang 2010 beginnen, es wird mit der Entdeckung von 25 Exoplaneten pro Jahr gerechnet. HAT-South ist eine Kollaboration von Harvard, der Australian National University und dem MPIA.

Instrumente für die Teleskope der nächsten Generation

Mit Blick auf die Zukunft hat das MPIA an den Studien für METIS und MICADO, zwei Instrumente für das 42-m-E-ELT teilgenommen. METIS soll eine Kamera mit Spektrographen für das mittlere Infrarot im Bereich vom L-Band bis mindestens $20 \mu\text{m}$ werden. Eine breite Auswahl an verschiedenen Auflösungen ist vorgesehen. Adaptive Optik wird beugungsbegrenztes Beobachten erlauben. Forschungsthemen werden hier sein: die Bedingungen im frühen Sonnensystem, die Entstehung und Entwicklung protoplanetarer Scheiben, Untersuchungen des galaktischen Zentrums und der leuchtkräftigen Zentren naher Galaxien, aktive Kerne hochrotverschobener Galaxien und Gammastrahlen-Ausbrüche bei hoher Rotverschiebung.

Im Dezember 2008 wurde das Konzept von MICADO für eine Phase-A-Studie ausgewählt. MICADO ist eine Kamera für das nahe Infrarot mit multikonjugierter adaptiver Optik, die eine 6- bis 7-fach höhere Auflösung als das JWST erreichen soll. In den Spektralbereichen *I* bis *K* wird ihre Grenzhelligkeit bei 29 mag liegen. Die Anwendungen reichen von jungen stellaren Objekten in unserer Galaxis bis zur Sternentstehung in hochrotverschobenen Galaxien. Die erreichbare astrometrische

Abb. 1.5: Das Europäische Extremely Large Telescope. (Computergrafik, Eso)

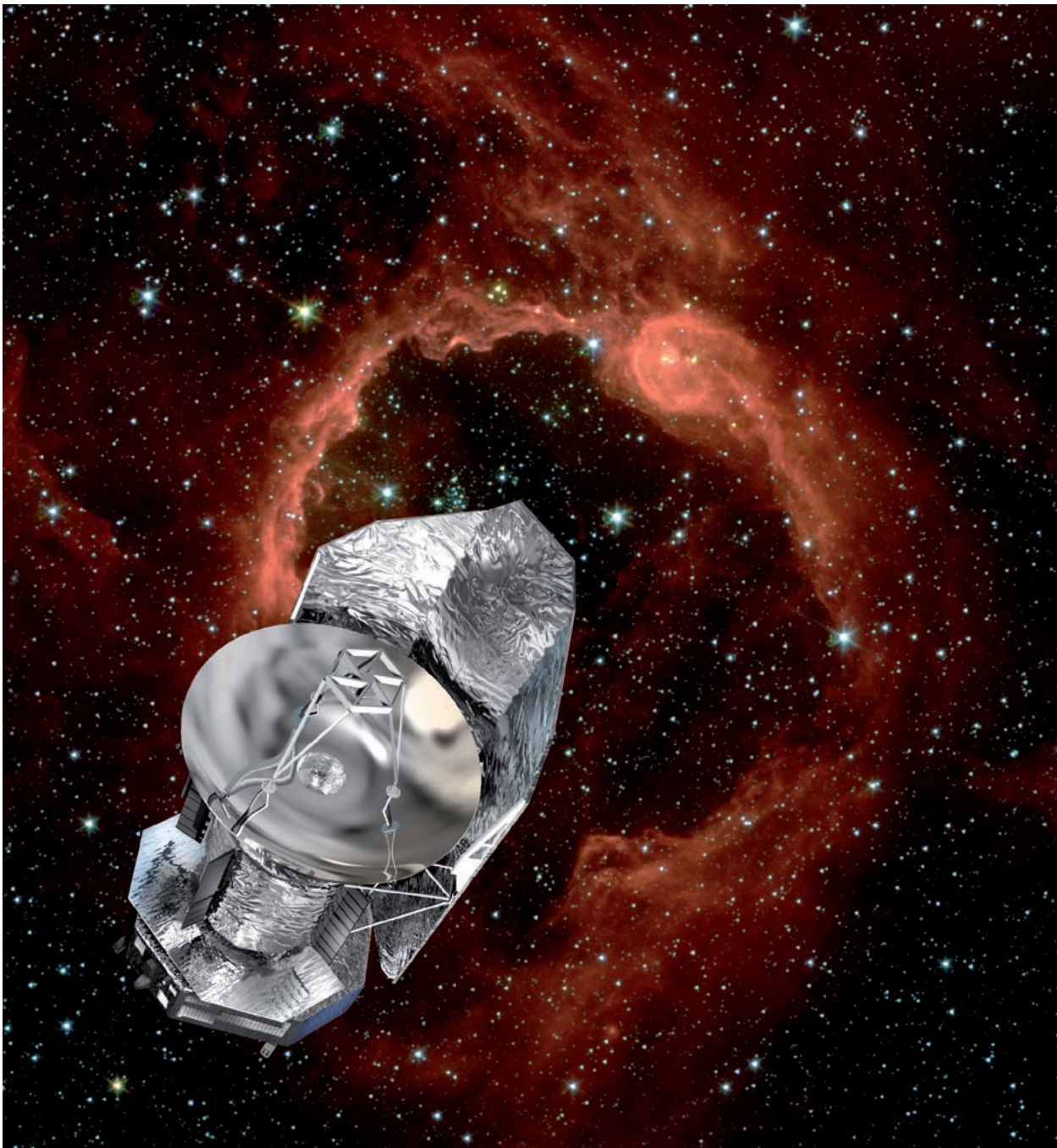


Präzision wird die Untersuchung der Umlaufbahnen von Sternen um das Schwarze Loch im galaktischen Zentrum und der Eigenbewegung von Kugelsternhaufen im galaktischen Halo weiter voranbringen. Mit MICADO wird auch die detaillierte Kartierung der Strukturen, Sternpopulationen und Staubverteilungen in Galaxien bei $z = 1$ möglich sein.

Abb. I.6: Nach mehr als zehnjähriger Entwicklungsarbeit ist HERSCHEL am 14. Mai 2009 zu seiner Mission aufgebrochen. In Kap. II.4 berichtet das PACS-Team am MPIA bereits über erste wissenschaftliche Ergebnisse.

Instrumentierung für Infrarot-Weltraumastronomie

HERSCHEL, Europas neues Weltraum-Observatorium für das ferne Infrarot und den Submillimeter-Bereich, hatte am 14. Mai 2009 auf einer ARIANE-5-Rakete einen Bilderbuchstart zu seiner vierjährigen Mission (Abb. I.6). Unser Institut war einer der wichtigsten Partner bei der Entwicklung des PACS-Instrument, einer Kamera mit Spektrographen für den Wellenlängenbereich von 60 bis 210 μm mit noch nie dagewesener Empfindlichkeit und räumlicher Auflösung. Das MPIA war für die Entwicklung des Fokalebenen-Choppers und für die Charakterisierung



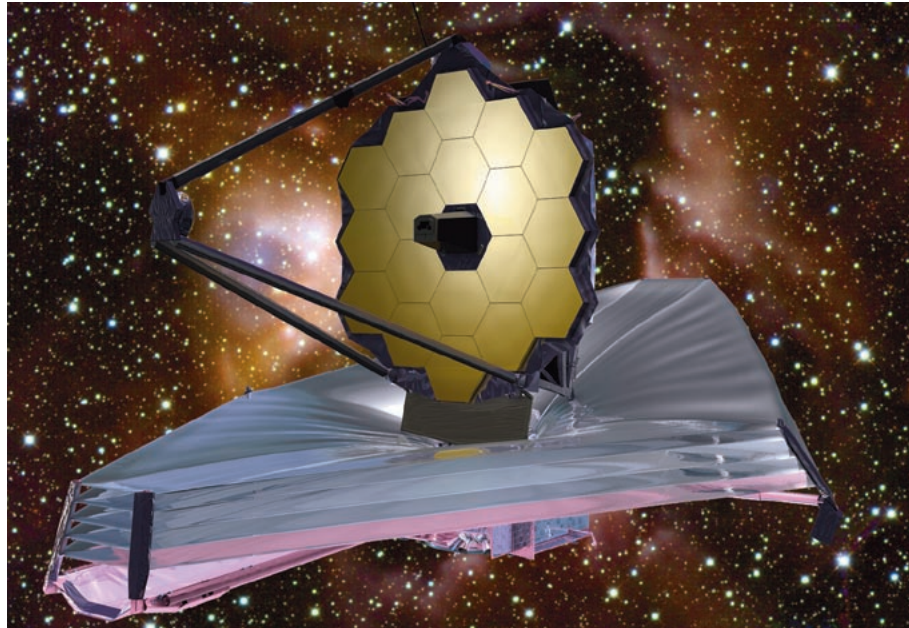


Abb. I.7: Mögliche Konstruktion des JWST, mit dem großen Hauptspiegel und dem charakteristischen Sonnenschutz

der großen Ge:Ga-Kameras und ihrer auf -270 °C gekühlten Auslese-Elektronik verantwortlich.

Nach erfolgreicher Lieferung und Tests des PACS-Instruments war das MPIA an zahlreichen Aufgaben des PACS-Instrument-Kontrollzentrums (ICC) beteiligt. Das ICC befindet sich am PI-Institut, dem MPE in Garching, dort liegt während der Mission die Verantwortung für den Betrieb, die Kalibration und die Auswertung der mit PACS gesammelten Daten. Das MPIA ist eins der vier am PACS-Konsortium beteiligten Institute, welche den Hauptbeitrag zur Arbeit des ICC leisten. Das MPIA hat eine Vielfalt von Abläufen für die Kalibration koordiniert und war für die Ausarbeitung der Verifikationsphase und für das Erstellen des zentralen PACS-Kalibrationsdokuments verantwortlich. Insbesondere hat das MPIA-Team allein, unter Verwendung hochspezieller Software, die gesamte tagtägliche Planung der PACS-Verifikationsphase durchgeführt und schließlich die gesamten Beobachtungsdaten an das HERSCHEL Science Center bei ESAC in Villafranca (Spanien) und das Mission Operations Center bei ESOC in Darmstadt übergeben. Gegenwärtig entwickelt das MPIA-Team den entsprechenden Kalibrationsplan für HERSCHELs Routine-Phase. Es hat auch, nach einer im Weltraumlabor des MPIA entwickelten Prozedur, die optimale Einstellung der Ge:Ga-Detektoren des PACS-Spektrometers im Flugbetrieb gewährleistet.

Das MPIA ist an führender Position in Deutschland am James Webb Space Telescope (JWST), dem Nachfolger des Weltraumteleskops HUBBLE, beteiligt (Abb. I.7). Das JWST, dessen Mission 2014 beginnen soll, wird einen ausklappbaren Hauptspiegel mit etwa 6,5 m Durchmesser

und vier Fokalinstrumente erhalten. Im Rahmen eines europäischen Konsortiums ist das MPIA für die Entwicklung der Kryo-Mechanismen verantwortlich, die zur genauen und zuverlässigen Positionierung der optischen Komponenten in MIRI erforderlich sind, ebenso wie für die Systemelektronik des Instruments. MIRI ist für den Wellenlängenbereich von 5 bis $28\text{ }\mu\text{m}$ ausgelegt, es besteht aus einer hochauflösenden Kamera und einem Spektrometer mittlerer Auflösung. Im Jahr 2009 wurden das Flugmodell und der Filterrad-Mechanismus zur Integration in das Kamera-System des MIRI-Instruments abgeliefert.

Das MPIA liefert auch kritische Komponenten für NIRSPEC, das zweite, hauptsächlich in Europa entwickelte Fokalinstrument des JWST, einen Multi-Objekt-Spektrographen für das nahe Infrarot. Dieser Beitrag, sowie unsere Beteiligung am NIRSPEC Science Team wird den Astronomen des MPIA weitere hervorragende Beobachtungsmöglichkeiten mit hoher Auflösung und Empfindlichkeit im Infraroten verschaffen. Bei der Entwicklung der feinmechanisch-optischen Herzstücke von MIRI und NIRSPEC besteht eine enge Zusammenarbeit mit den Unternehmen Carl Zeiss Optonics, Oberkochen, und Astrium GmbH, Ottobrunn und Friedrichshafen.

Auch an dem Weltraumprojekt GAIA der ESA wirkt das MPIA mit, es spielt bei einem wesentlichen Teilaspekt der Datenanalyse die führende Rolle. GAIA soll als Nachfolger des Astrometriesatelliten HIPPARCOS zwischen 2010 und 2012 starten und eine um mehrere Größenordnungen höhere Empfindlichkeit besitzen. Damit wird der Satellit die Positionen, Helligkeiten und Radialgeschwindigkeiten von einer Milliarde Sterne sowie zahlreichen Galaxien, Quasaren und Asteroiden bestimmen. Das Teleskop liefert niedrig aufgelöste spektralphotometrische Daten in 20 ausgewählten Spektralbereichen. Anders als HIPPARCOS

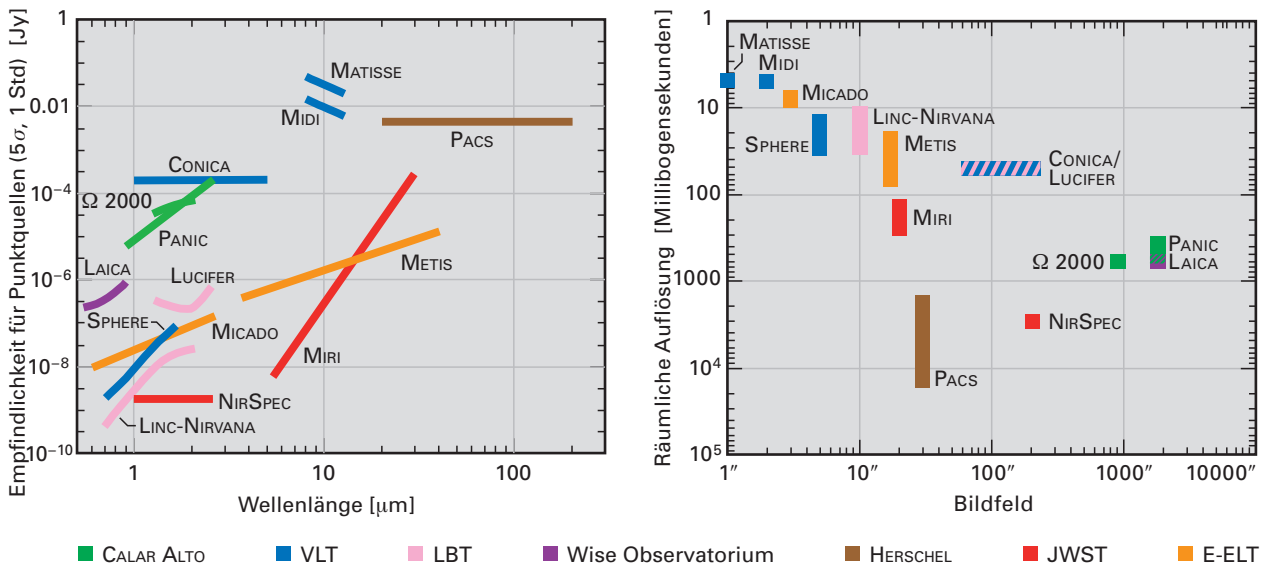


Abb. I.8: Leistungsfähigkeit der wichtigsten Instrumente des Instituts: *Links* die Empfindlichkeit als Funktion der Wellenlänge, *rechts* die räumliche Auflösung als Funktion der Bildfeldgröße.

wird GAIA jedoch keinen Inputkatalog erhalten, sondern systematisch alle erreichbaren Objekte vermessen. Daher wird der Datenauswertung zur automatischen Klassifikation der Himmelskörper eine große Bedeutung zukommen. Am MPIA wird derzeit (mit Unterstützung des DLR) an Konzepten zur Bewältigung dieser aufwändigen Aufgabe gearbeitet.

EUCLID, eine »Cosmic Visions«-Mission der ESA, dient der Bestimmung der Geometrie des Dunklen Universums auf dem Weg der Untersuchung der Beziehung zwischen Entfernung und Rotverschiebung und der Entwicklung kosmischer Strukturen. Zu diesem Zweck sollen die Morphologie und die Rotverschiebung von Galaxien und Galaxienhaufen bis zu Rotverschiebungen $z \approx 2$, also zurück bis in die Zeit vor zehn Milliarden Jahren, bestimmt werden – damit wird die gesamte Epoche überdeckt, in der die Dunkle Energie wesentlich zur Beschleunigung der kosmischen Expansion beigetragen hat. Die mit EUCLID verfolgte Strategie wird auf der Messung baryonischer akustischer Schwingungen und des schwachen Gravitationslinsen-Effekts basieren – auf zwei komplementären Verfahren zur Untersuchung der Dunklen Energie. Die mit Euclid durchgeführte Durchmusterung wird ein 20 000 Quadratgrad großes Himmelsareal außerhalb der Milchstraße im Sichtbaren und im nahen Infrarot mit einer Winkelauflösung von 0,3 abbilden; von etwa einem Drittel aller Galaxien innerhalb des durchmusterten Areals, die heller sind als 22 mag, wird sie auch Spektren mittlerer Auflösung ($R \sim 400$) liefern.

PLATO (Planetary Transits and Oscillations of stars) ist eine weitere »Cosmic Vision«-Mission der ESA. Ihr pri-

märes Ziel ist der Aufbau einer Datenbasis für die statistische Analyse extrasolarer Planetensysteme um Sterne, die hell und nah genug sind, um sie (simultan oder später) detailliert untersuchen zu können. PLATO wird 20 000 Sterne mit einer photometrischen Genauigkeit von besser als 27 ppm pro Stunde und mehr als 250 000 Sterne etwas weniger genau vermessen. Die seismologische Analyse dieser Daten wird die Bestimmung der Massen von Sternen und Planeten mit einer Genauigkeit von bis zu einem Prozent, die Entdeckung erdähnlicher Planeten und die Bestimmung des Alters der untersuchten Systeme mit einer Unsicherheit von wenigen hundert Millionen Jahren erlauben. PLATO wird ein enormes, 557 Quadratgrad großes Gesichtsfeld besitzen. Die erforderliche kurze Brennweite führte zu dem Konzept eines Bündels von 28 identischen kleinen Teleskopen, die jedes eine Sammelfläche von 0,01 Quadratmeter besitzen.

SPICA, das Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics, ist die dritte astronomische Mission aus dem »Cosmic Vision«-Programm der ESA, an der das MPIA in der Studienphase beteiligt ist. Es soll die nächste Weltraummission für Beobachtungen im fernen Infrarot nach HERSCHEL sein. Die Mission soll 2017 starten und wird ein kaltes 3,5-m-Teleskop beinhalten. Dank dieser großen und kalten Öffnung wird SPICA eine um zwei Größenordnungen schwächere Grenzhelligkeit erreichen als heutige Weltraumteleskope wie HERSCHEL. SPICA wird unter der Leitung der japanischen Weltraumbehörde JAXA stehen. Europa wird sich an der Mission mit dem Ferninfrarot-Instrument SAFARI, dem Hauptspiegel des Teleskops und Teilen des Bodensegments beteiligen.

Abb. I.8 gibt einen Überblick über die wichtigsten bereits arbeitenden und demnächst in Betrieb gehenden Instrumente des MPIA. Sie zeigt links deren Empfindlichkeit in Abhängigkeit von der Wellenlänge und rechts deren räumliche Auflösung in Abhängigkeit von der Bildfeldgröße.

I.3 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Der Standort Heidelberg bietet dem Institut die Möglichkeit, in einem astronomisch besonders aktiven Umfeld zu wirken. Die Zusammenarbeit mit der Abteilung Hochenergie-Astrophysik des MPI für Kernphysik oder mit den Teilinstituten des Zentrums für Astronomie der Universität Heidelberg (ZAH) hat sich immer wieder in vielfältiger Weise ergeben. (Das ZAH setzt sich aus der Landessternwarte, dem Astronomischen Rechen-Institut und dem Institut für Theoretische Astrophysik zusammen.) Enge Zusammenarbeit besteht auch im Rahmen der »International Max Planck Research School« für Astronomie und Kosmische Physik (IMPRS, siehe Kap. I.4).

Überregional kommt es immer wieder zu Kollaborationen mit den Max-Planck-Instituten für extraterrestrische Physik in Garching und für Radioastronomie in Bonn, sowie mit zahlreichen deutschen Landes- und Universitätsinstituten. Einen Überblick vermittelt Abb. I.9.

Auch der Aufbau eines Deutschen Zentrums für Interferometrie (Frontiers of Interferometry in Germany, FrInGe) mit Sitz am MPIA unterstreicht die heraus-

Abb. I.9: Verteilung der Partnerinstitute des MPIA in Deutschland.



ragende Rolle des Instituts innerhalb Deutschlands bei dieser zukunftsweisenden astronomischen Technik. Ziel ist es, die Anstrengungen deutscher Institute und der Industrie auf diesem Gebiet zu koordinieren. FrInGe soll Geräte und Software zusammenführen, welche die beteiligten Institute bauen. Ein weiteres konkretes Ziel besteht in der Vorbereitung der nächsten Generation interferometrischer Instrumente. Dazu gehört die Entwicklung von VLTI-Instrumenten der zweiten Generation, wie MATISSE – ein abbildendes Interferometer aus vier Teleskopen – und GRAVITY. Weiterhin ist hier die Beteiligung an der Festlegung neuer Abbildungsfähigkeiten des VLTI-Interferometers zu nennen. FrInGe war zusammen mit anderen Interferometriezentren in Europa an der Gründung der European Interferometry Initiative beteiligt. Langfristiges Ziel ist die Einrichtung eines europäischen Interferometriezentrums für den optischen und infraroten Spektralbereich. An FrInGe sind das Astrophysikalische Institut Potsdam, das Astrophysikalische Institut der Universität Jena, das Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik in Freiburg, das MPI für extraterrestrische Physik in Garching, das MPI für Radioastronomie in Bonn, die Universität Hamburg, das I. Physikalische Institut der Universität Köln, und die Universitäten Kiel und München beteiligt.

Das MPIA beteiligt sich an einer Reihe von EU-Netzwerken und weltweiten Kollaborationen (Abb. I.10), teilweise in leitender Funktion. Hierzu zählen:

OPTICON: ein von der Europäischen Union finanziertes Netz aller Betreiber größerer Teleskope in Europa mit dem Ziel, die wissenschaftlich-technische Infrastruktur optimal zu nutzen und so die wissenschaftliche Ausbeute zu erhöhen und Kosten zu sparen. Ein weiteres wichtiges Ziel von OPTICON besteht in der Koordination der technologischen Entwicklung für die bodengebundenen Teleskope der nächsten Generation.

ESPRI (Exoplanet Search with PRIMA): Dieses Projekt zielt auf die erste systematische astrometrische Suche nach Exoplaneten mit einer Messgenauigkeit von 10 bis 20 Mikrosekunden. Dazu haben wir, in Zusammenarbeit mit Eso, der Landessternwarte Heidelberg und der Sternwarte Genf, für das Instrument PRIMA am VLTI differenzielle Verzögerungsleitungen (differential delay lines, DDL) gebaut. Unser Konsortium entwickelt auch astrometrische Auswertprogramme. In der garantierten Beobachtungszeit nach Inbetriebnahme, vermutlich Ende 2010 oder Anfang 2011, wird das fünfjährige Planetensuchprogramm starten.

CID: Das Projekt »Chemistry In Disks« ist eine Zusammenarbeit mit Bordeaux, Jena und IRAM (Grenoble). Hauptziel ist die Untersuchung der physikalischen Struktur und chemischen Zusammensetzung protoplanetarer Scheiben in unterschiedlichen Entwicklungsphasen. Wir konzentrieren uns auf eine Stichprobe naher und heller protoplanetarer Scheiben um Sterne geringer (T-Tauri-Sterne) und mittlerer (Herbig-Ae-Sterne) Masse und

beobachten verschiedene Emissionslinien mehrerer Moleküle mit dem Interferometer auf dem Plateau de Bure und dem IRAM 30-Meter-Radioteleskop. Es folgt eine umfassende Datenanalyse und Modellierung.

SEEDS: Für diese abbildende Durchmusterung wird das SUBARU-Teleskop auf Mauna Kea, Hawaii eingesetzt. Hauptziel ist die Suche nach Riesen-Exoplaneten sowie protoplanetaren und Debris-Scheiben um etwa 500 sonnenähnliche oder massereichere nahe und junge Sterne. Das Projekt ist eine Kollaboration von NAOJ, Princeton und dem MPIA.

Das MPIA ist an dem von der DFG finanzierten Netzwerk »Forscherguppe« zum Studium der frühesten Stadien der Sternentstehung beteiligt. Zu diesem Netzwerk gehören die Universität Tübingen und das MPIA (gemeinsamer Vorsitz), das Institut für Geologie und Geophysik und das Institut für Theoretische Astrophysik Heidelberg, das Institut für Planetologie Münster, und das Institut für Geophysik und Extraterrestrische Physik Braunschweig. Das Projekt verbindet Laborastrophysik mit theoretischer Astrophysik und astronomischen Beobachtungen, mit dem Ziel eines besseren Verständnisses der Bildung der ersten Planetenembryos aus den zirkumstellaren Staubböhlen junger Sterne. Das Netzwerk finanziert 10 Doktoranden, von denen die meisten Anfang 2007 ihre Arbeit aufgenommen haben.

SISCO (Spectroscopic and Imaging Surveys for Cosmology): Dieses EU-Netzwerk ist der Untersuchung der Galaxienentwicklung mit Hilfe von Himmelsdurchmusterungen gewidmet. Auch hier hat das Institut mit CADIS, COMBO-17 und GEMS bereits erheblich beigetragen. Weiterhin sind beteiligt: University of Durham, Institute for Astronomy, Edinburgh, Universität Oxford, Universität Groningen, Osservatorio Astronomico Capodimonte, Neapel, sowie Eso, Garching.

ELIXIR ist ein EU-Netzwerk, das sich der Nutzung der gänzlich neuartigen Möglichkeiten des Instruments NIRSPEC der JWST-Mission widmet. Dessen Start ist für 2015 vorgesehen.

SDSS (Sloan Digital Sky Survey): Auf internationaler Ebene hat die Beteiligung an diesem Projekt eine große Bedeutung. Es handelt sich um die bislang umfangreichste Himmelsdurchmusterung, bei der etwa ein Viertel des gesamten Himmels in fünf Farbfiltern aufgenommen wird. Der endgültige Katalog wird Positionen, Helligkeiten und Farben von schätzungsweise hundert Millionen Himmelskörpern sowie die Rotverschiebungen von etwa einer Million Galaxien und Quasaren enthalten. Das MPIA trat als erstes von bis heute zwölf europäischen Partnerinstituten, und als einziges gleich zu Beginn, dem SDSS-Konsortium bei. Für die Sach- und Geldbeiträge des MPIA zum SDSS erhalten einige Mitarbeiter des Instituts die vollen Datenrechte. Im Jahr 2005 wurde die ursprüngliche SDSS-Durchmusterung zu Ende geführt, aber es wurde die Erweiterung SDSS-II / SEGUE beschlossen – sie zielt

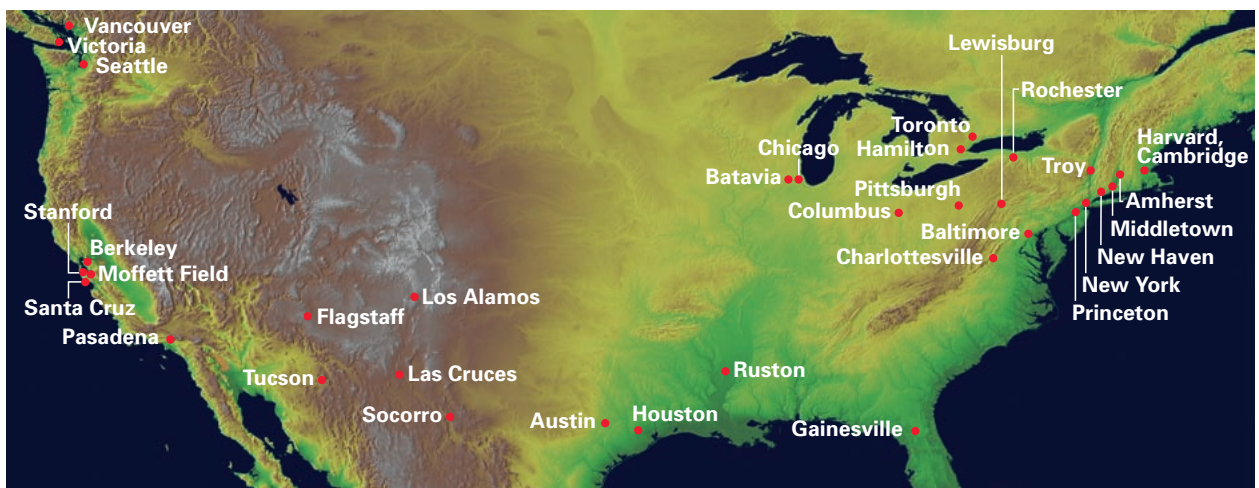


Abb. I.10: Verteilung der internationalen Partnerinstitute des MPIA.

unter anderem auf die Struktur des Milchstraßensystems ab und wurde Mitte 2008 abgeschlossen.

Als Mitglied des PAN-STARRS1 Science Consortium (PS1SC) ist das MPIA am ehrgeizigsten Durchmusterungsprojekt seit dem SDSS beteiligt. Für PAN-STARRS1 (PS1) wird auf dem Haleakala (Hawaii) ein 1,8-m-Teleskop eingesetzt, ausgestattet mit der weltgrößten Kamera, deren Detektor 1,4 Gigapixel und ein 7 Quadratgrad großes Gesichtsfeld hat. Am PS1SC sind die Universität Hawaii, das MPE, die Johns Hopkins University, das Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics mit dem Las Cumbres Observatory Global Telescope, die Universitäten in Durham, Edinburgh und Belfast, sowie Taiwan's National Central University beteiligt. Von 2009 bis 2012 führt das Konsortium mit dem PS1-Teleskop und seinem Grizy-Filtersatz mehrfache zeitversetzte Durchmusterungen durch, so zum Beispiel die »3 π -

Durchmusterung« des gesamten beobachtbaren Himmels und eine Supernova-Durchmusterung mittlerer Tiefe. Astronomen des MPIA sind führend in vier von zwölf Key-Projekten, einschließlich einer Suche nach Planeten-Transits in der Andromeda-Galaxie, und führen zusätzlich eine Suche nach den entferntesten Quasaren und den kältesten Sternen sowie eine umfassende Untersuchung der Struktur der Lokalen Gruppe durch.

Beim Weltraumteleskop HERSCHEL ist das MPIA zusammen mit Instituten aus sechs europäischen Ländern am PACS-Konsortium beteiligt. Die Mission wurde am 14. Mai 2009 erfolgreich gestartet. Das Institut leitet zwei Beobachtungsprogramme der garantierten Beobachtungszeit, »Die frühesten Phasen der Sternentstehung« und »Das staubige junge Universum: Photometrie und Spektroskopie von Quasaren bei $z \approx 2$ «, und beteiligt sich an neun weiteren HERSCHEL-Programmen der garantierten und der offenen Zeit. Alle diese Beobachtungsprogramme sind große internationale Kollaborationen.

1.4 Lehre und Öffentlichkeitsarbeit. Das neue »Haus der Astronomie«

Die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und die Weitergabe astronomischer Inhalte an die Öffentlichkeit haben auf dem Königstuhl eine lange Tradition. Der im Dezember 2008 beschlossene Aufbau des neuen Hauses der Astronomie, in dem die Anstrengungen aller Heidelberger Astronomen auf diesem Gebiet gebündelt und professionalisiert werden, kam im Berichtsjahr zügig voran.

Studenten aus aller Welt kommen zum MPIA, um hier ihre Diplom- und Doktorarbeiten durchzuführen. Die meisten von ihnen sind an der Universität Heidelberg eingeschrieben. Im Gegenzug gehören mehrere Wissenschaftler des MPIA dem Lehrkörper der Fakultät für Physik und Astronomie an.

Auch Studenten der unteren Semester können sich am MPIA betätigen. So bietet das Institut Fortgeschrittenenpraktika an und ermöglicht den Studierenden die Teilnahme an etwa zwei Monate dauernden »Miniforschungsprojekten«, deren Aufgabenstellungen einen weiten Bereich überdecken: Die Analyse von Beobachtungsdaten oder numerische Simulationen gehören ebenso dazu, wie Instrumentierungsarbeiten. Diese Praktika verschaffen den Studierenden, insbesondere im Hinblick auf eine spätere Diplom- oder Doktorarbeit, frühzeitig einen praxisbezogenen Einblick in die astrophysikalische Forschung.

Die von der Max-Planck-Gesellschaft und der Universität Heidelberg etablierte »International Max Planck Research School« (IMPRS) für Astronomie und Kosmische Physik nahm 2005 ihre Arbeit auf. Im Jahr 2009 bot die IMPRS 66 Doktoranden aus aller Welt eine dreijährige Ausbildung in der experimentellen und theoretischen Forschung auf dem Gebiet der Astronomie und der kosmischen Physik unter hervorragenden Bedingungen. Die Einrichtung wird von den fünf Instituten getragen, an denen in Heidelberg astronomische Forschung betrieben wird.

Zu den Aufgaben des Instituts gehört auch die Information einer breiteren Öffentlichkeit über die Ergebnisse der astronomischen Forschung. So halten Wissenschaftler des Instituts Vorträge an Schulen, Volkshochschulen und Planetarien und treten insbesondere anlässlich in der Öffentlichkeit stark beachteter astronomischer Ereignisse auf Pressekonferenzen oder in Radio- und Fernsehsendungen auf. Zahlreiche Besuchergruppen kommen zum MPIA auf den Königstuhl und zum Calar-Alto-Observatorium.

Bei acht öffentlichen Vorträgen unserer Reihe »Astronomie am Sonntag Vormittag«, die im Berichtsjahr zum vierten Mal stattfand, war der große Hörsaal des Instituts

jedes Mal »ausverkauft«. Für Gymnasiasten wurde am MPIA in Zusammenarbeit mit der Landessternwarte und dem Astronomischen Rechen-Institut im Rahmen der Berufsorientierung an Gymnasien (BoGy) wieder ein Schüler-Praktikum durchgeführt. Auch beteiligte sich das MPIA wieder am »Girls' Day«, einer bundesweiten Aktion, mit der Schülerinnen ermuntert werden, sich beruflich in Bereichen zu orientieren, die vorwiegend noch eine Domäne der Männer sind. Etwa 60 Schülerinnen erhielten an verschiedenen Stationen einen Einblick in die Arbeit an einem astronomischen Institut.

Anlässlich des »Internationalen Jahres der Astronomie 2009« führten wir ab Oktober 2008 im Rahmen des »Studium generale« der Universität eine Reihe von 14 öffentlichen Vorträgen zum Thema »Galileis erster Blick durchs Fernrohr und die Folgen heute« durch, in der regelmäßig um die 400 Zuhörer den bekannten Referenten aus dem In- und Ausland lauschten. Und am 17. Mai gab es am Institut wieder einen Tag der offenen Tür, an dem mehr als 4000 Besucher aus der weiteren Umgebung zu »ihren Astronomen« auf den Königstuhl kamen.

Am MPIA wird die monatlich erscheinende Zeitschrift »Sterne und Weltraum« (SuW) herausgegeben. Die Zeitschrift wendet sich an das allgemeine Publikum und bietet sowohl den Fachastronomen als auch der großen Gemeinde der Amateurastronomen ein lebhaftes Forum. Ein besonders wichtiger Leserkreis sind Lehrer und Schüler: An sie richtet sich das Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« (WiS!), in dem wir monatlich parallel zur Zeitschrift didaktisches Material entwickeln, das den Lehrern die Behandlung von Themen aus der aktuellen astronomischen Forschung im Rahmen des normalen Physik-Unterrichts ermöglicht. WiS! wird durch den Verlag »Spektrum der Wissenschaft« unterstützt, wurde von 2005 bis 2009 von der Klaus Tschira Stiftung gefördert und ist nun ein Projekt des Hauses der Astronomie. Das didaktische Material ist im Internet frei verfügbar und erfreut sich in den Schulen des gesamten deutschen Sprachraums stetig wachsender Beliebtheit.

Das »Haus der Astronomie«

Auf dem Gelände des MPIA entsteht gegenwärtig das »Haus der Astronomie«, in dem die an die Öffentlichkeit gerichteten Aktivitäten aller Heidelberger Astronomen gebündelt und weiter professionalisiert werden sollen. Zusätzlich zur Information der Medien und des allgemeinen Publikums werden die Entwicklung didaktischer Materialien, numerischer Simulationen und Visualisierungen, sowie die Aus- und Fortbildung von



Abb. I.11: Am 13. Oktober 2009 wurde die Baustelle für das Haus der Astronomie auf dem Königstuhl mit einem festlichen Ersten Spatenstich eröffnet. *Von links nach rechts:* Prof. Dr. Kurt Roth, Prorektor der Universität Heidelberg, Manfred Bernhardt, Architekten Bernhardt + Partner, Darmstadt, Frau

Beate Spiegel, Bevollmächtigte der Klaus Tschira Stiftung, Prof. Dr. Thomas Henning, Geschäftsführender Direktor des MPIA, Prof. Dr. Herbert Jäcke, Vizepräsident der Max-Planck-Gesellschaft, Dr. Eckart Würzner, Oberbürgermeister der Stadt Heidelberg.

Lehrern der Physik, Astronomie und Naturwissenschaften eine wichtige Rolle spielen. Die Klaus Tschira Stiftung finanziert den Bau des Hauses und dessen technische Ausstattung, die Max-Planck-Gesellschaft betreibt die Einrichtung. Neben diesen beiden Institutionen beteiligen sich auch die Stadt Heidelberg, das Land Baden-Württemberg und die Universität Heidelberg an den

Personalkosten, und die Astronomen des ZAH und des MPIA bringen ihre auf den angesprochenen Themenkreis bezogenen Aktivitäten mit ein. Die Zusammenstellung des Personals und die Entwicklung des Arbeitsprogramms kamen im Berichtsjahr zügig voran, die Errichtung des neuen Gebäudes wurde mit einem festlichen Ersten Spatenstich am 13. Oktober in Angriff genommen.

II. Highlights

II.1 In welchen Molekülwolken entstehen Sterne?

Wie kann man den großen Molekülwolken in unserer näheren galaktischen Umgebung ansehen, ob tief in ihrem Inneren gegenwärtig oder in relativ naher Zukunft neue Sterne entstehen? Worin unterscheidet sich deren innere Struktur?

Sterne entstehen in Molekülwolken – und zwar in deren dichtesten Kernen. Die innere Struktur der Molekülwolken, und damit auch das Vorkommen dieser dichten Kerne wird durch drei Faktoren bestimmt: turbulente Strömungen, Eigengravitation des Gases, und Magnetfelder, welche die Wolke durchdringen. Die Frage nach der relativen Bedeutung dieser Faktoren ist ein wichtiges Thema der aktuellen Forschung.

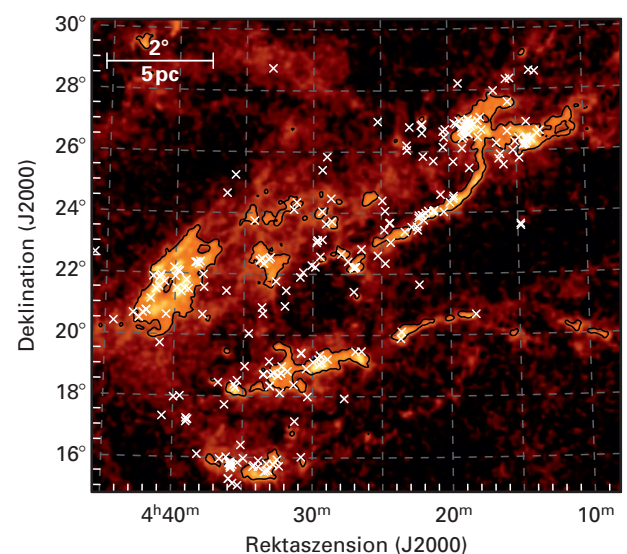
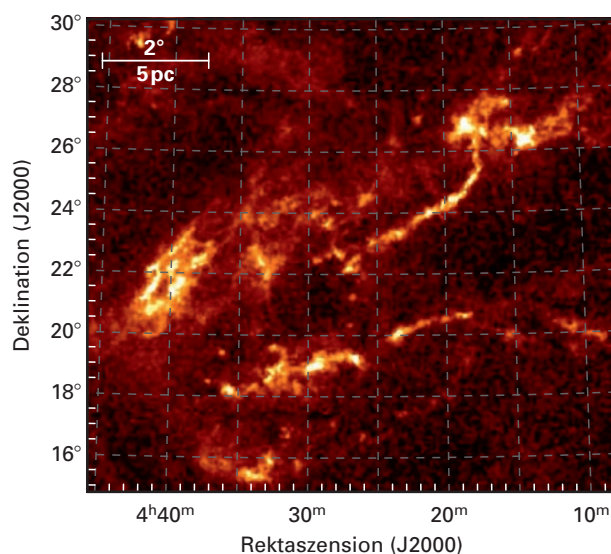
Numerische Modellrechnungen zeigen, dass turbulente Strömungen im Inneren der Molekülwolken zur Ausbildung lokaler Verdichtungen führen, wobei sich eine spezielle Häufigkeitsverteilung der in einem gegebenen Volumen vorkommenden Dichtewerte einstellt: Wo das Medium isotherm und turbulent ist und Eigengravitation vernachlässigt werden kann, ist eine Gaußsche Normalverteilung der Dichtewerte zu erwarten. Diese Häufigkeitsverteilung spielt in den heutigen Theorien der Sternentstehung eine Schlüsselrolle

– aus ihr lassen sich die anfängliche Massenverteilung der neu entstandenen Sterne und die Effizienz der Sternbildung in den Molekülwolken ableiten.

Wie sieht die Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte in Molekülwolken in der Wirklichkeit aus? Lässt sich ermitteln, wie sich sternbildende Molekülwolken von solchen, die gegenwärtig keine Sterne bilden, in ihrer inneren Struktur unterscheiden? Eine eventuell vorhandene Gaußsche Normalverteilung der Dichtewerte bleibt auch dann erhalten, wenn man statt der räumlichen Dichte die Säulendichte – also die entlang des Sehstrahls durch eine Molekülwolke aufsummierte räumliche Dichte – betrachtet. Üblicherweise werden zur Bestimmung der Säulendichte die Linienemission der CO-Moleküle oder die thermische Emission des Staubes gemessen (der Staub ist mit dem Gas innig und in einem festen Verhältnis vermischt, deshalb kann die räumliche Dichte der Staubeilchen als Indikator für die Gasdichte gelten). Aber die auf diesem Wege abgeleitete Säulendichte hängt stark von der angenommenen Temperaturverteilung in der Wolke ab, und das Verfahren lässt sich nur anwenden, wenn die Säulendichte innerhalb eines eng begrenzten Intervalls liegt.

Abb. II.1.1: *Links* – Extinktionskarte des Molekülwolken-Komplexes im Sternbild Taurus. Die Winkelauflösung beträgt 2,4 Bogenminuten. *Rechts* – in dieser logarithmischen Darstellung werden die Gebiete geringer Extinktion hervorgehoben. Die eingezeichneten Konturlinien entsprechen einer visu-

ellen Extinktion $A_V = 4$ mag: Innerhalb dieser Konturlinien (bei höheren Extinktionswerten) weicht die Häufigkeitsverteilung der Extinktionswerte von der Normalverteilung ab (siehe Abb. II.1.2). Die Kreuze markieren die Positionen der bekannten in die Wolke eingebetteten (jungen) Sterne.

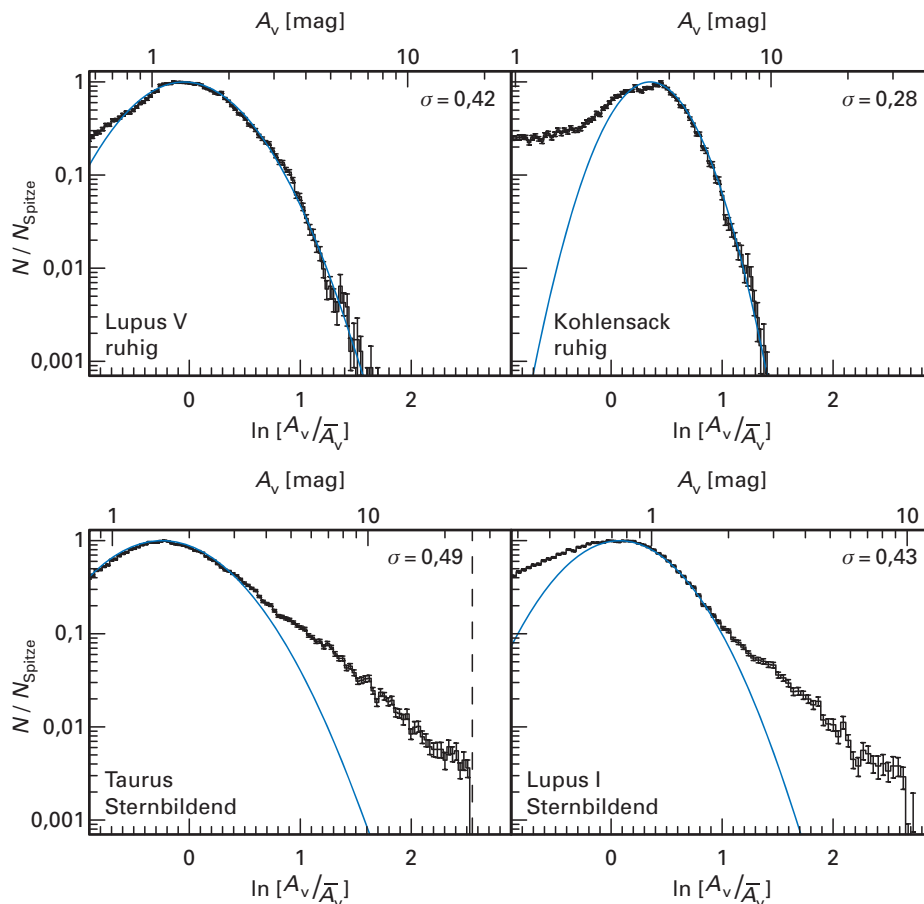


In den uns nächstgelegenen Molekülwolken liefert die Messung der Staubextinktion (also der Schwächung und Verfärbung des Lichts von Sternen, die hinter einer Molekülwolke stehen, durch den in der Wolke vorhandenen Staub) im nahen Infrarot zuverlässige Säulendichten über eine Dichteveriation um den Faktor 50. Wegen seines breiten Anwendungsbereichs und der Tatsache, dass es von der Temperatur des interstellaren Staubes unabhängig ist, eignet sich dieses Verfahren zur Bestimmung der Säulendichte in ausgedehnten Molekülwolken geringer und mittlerer Dichte – auch dort, wo die Methode der CO-Linienemission wegen zu hoher Gasdichte bereits versagt, weil die Moleküle dann auf den Staubeilchen ausfrieren und nicht mehr nachweisbar sind.

Zur Untersuchung der inneren Struktur sternbildender und nicht-sternbildender Molekülwolken wurde am MPIA mit dem Verfahren der Staubextinktionsmessung die Säulendichte sämtlicher Molekülwolken kartiert, die innerhalb 200 Parsec von der Sonne liegen und größer als 4 Parsec sind, oder deren Masse mehr als 1000 Sonnenmassen beträgt. Das sind insgesamt 18 Wolken, von denen 13 junge stellare Objekte enthalten und sich daher offensichtlich in einer aktiven Phase der Sternbildung befinden, und fünf Wolken keinerlei Anzeichen von Sternbildungsaktivität zeigen. Zur Ableitung der Extinktion in den Wolken ent-

lang des Sehstrahls in Richtung der dahinter liegenden Sterne wurden die Farben dieser Sterne in den Infrarotbändern J, H und K_S dem 2MASS-Katalog entnommen und mit den Farben benachbarter, aus unserer Sicht neben den Molekülwolken stehender Sterne verglichen. Aus dem so bestimmten Extinktionsbeitrag der Wolke wurde für jeden Sehstrahl zu einem hinter der Wolke stehenden Stern die Säulendichte innerhalb der Wolke ermittelt und daraus die Säulendichten- beziehungsweise Extinktionskarten der Molekülwolken konstruiert. Die Daten wurden so geglättet, dass sich eine einheitliche Auflösung von 0,1 Parsec (entsprechend 2 Bogenminuten in einer Entfernung von 170 Parsec) ergab. Dies entspricht der Jeans-Länge eines Wolkenkerns, dessen Temperatur 15 Kelvin und dessen Gasdichte 50 000 Moleküle pro Kubikzentimeter beträgt. (Wird der Wolkenkern durch äußere Einflüsse unter seine Jeans-Länge komprimiert, so überwiegt seine Eigengravitation und sein sternbildender Kollaps beginnt.)

Abb. II.1.2: Normierte Häufigkeitsverteilung der Extinktionswerte in den nicht-sternbildenden Wolkenkomplexen Lupus V und Kohlensack (*oben*) und in den sternbildenden Wolkenkomplexen Taurus und Lupus I (*unten*). Auffällig ist der Überschuss hoher Extinktionswerte bzw. Säulendichten in den sternbildenden Wolkenkomplexen.



Als Beispiel zeigt Abb. II.1.1 die Extinktionskarte des Taurus-Komplexes. Aus solchen Karten wurde für alle untersuchten Wolkenkomplexe die Häufigkeitsverteilung der Extinktionswerte abgeleitet. In Abb. II.1.2 sind je zwei Beispiele dieser Verteilungen für nicht-sternebildende Wolkenkomplexe (Lupus V und Kohlensack) und für sternebildende Wolkenkomplexe (Taurus und Lupus I) gezeigt. Die Verteilungen zeigen in der Umgebung ihres Maximums die charakteristische, theoretisch erwartete Form einer Gauß'schen Normalverteilung, die zu höheren Extinktionswerten hin in ein Potenzgesetz übergeht. Dieser Überschuss an höheren Extinktionswerten ist in den sternebildenden Wolken stark ausgeprägt und fehlt in den nicht-sternebildenden Wolken völlig

Interessant ist auch die kumulative Darstellung der Häufigkeitsverteilungen in Abb. II.1.3. Sie zeigt an, welcher Anteil der Masse der Molekülwolken bei höheren Säulendichten bzw. Extinktionswerten vorliegt, also einer gegebenen Extinktion entspricht. Auch hier unterscheiden sich sternebildende und nicht-sternebildende Molekülwolken deutlich. In ersteren befindet sich ein deutlich höherer Anteil der Gesamtmasse in Gebieten höherer Dichte. So haben die sternebildenden Wolken z.B. etwa zehnmal so viel Materie in Säulen mit $A_V > 5$ mag, und tausendmal so viel in Säulen mit $A_V > 15$ mag, als nicht-sternebildende Wolken.

Theoretisch ist zu erwarten, dass Turbulenz in Molekülwolken zur Ausbildung von Verdichtungen führt, deren Massenspektrum einer Gauß'schen Normalverteilung folgt. Dagegen führt das Überwiegen der Eigengravitation zu starken Abweichungen von dieser Verteilung, sobald Extinktionswerte $A_V > 5$ mag auftreten. Die Ergebnisse dieser Studie passen gut zur Vorstellung, dass die innere Struktur der Molekülwolken am Anfang ihrer Entwicklung entscheidend durch turbulente Bewegungen geprägt ist. In dieser Phase folgt das Massenspektrum der Verdichtungen in ihrem Inneren einer gaußschen Normalverteilung, wie es in nicht-sterne-

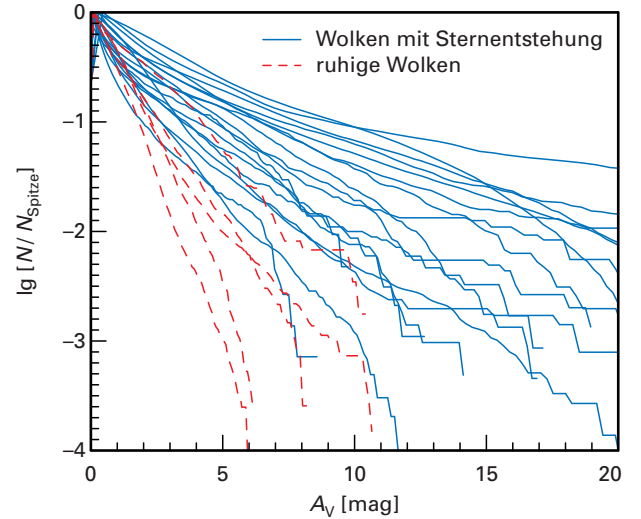


Abb. II.1.3: Kumulative Darstellung der Häufigkeitsverteilungen aller untersuchter Molekülwolken. Diese Darstellung zeigt an, welcher Anteil der Masse einer Molekülwolke sich in Säulen befindet, die einer höheren Extinktion entsprechen als ein bestimmter, auf der Abszisse abzulesender Wert. Offensichtlich ist in sternebildenden Wolken die Masse auf dichtere Gebiete verteilt als in nicht-sternebildenden Wolken.

bildenden Wolkenkomplexen tatsächlich der Fall ist. Mit der Zeit wird in den massereichsten Verdichtungen im Inneren der Wolken die Selbstgravitation dominant und konzentriert einen immer höheren Anteil des Wolkengases in immer dichteren Strukturen. Hier setzt dann bald die Bildung neuer Sterne ein.

*Jouni Kainulainen, Henrik Beuther, Thomas Henning,
in Zusammenarbeit mit
René Plume, University of Calgary.*

II.2 Wo wurden die Kometenkristalle gebacken?

Es war für die Wissenschaft schon seit langem ein Rätsel, wie kleine Silikatkristalle, deren Bildung eine brennend heiße Umgebung erfordert, ihren Weg ins Innere der eiskalten Kometen gefunden haben, die weit draußen in den tiefgekühlten Außenbereichen des Sonnensystems entstanden sind. Ursprünglich sollten diese Kristalle in der dichten Wolke aus Gas und Staub, aus der sich das Sonnensystem bildete, als amorphe Silikatteilchen existiert haben. Dieses Rätsel haben nun Forscher aus Heidelberg, Budapest und Leiden mit Hilfe von Infrarotbeobachtungen des Weltraumteleskops SPITZER gelöst.

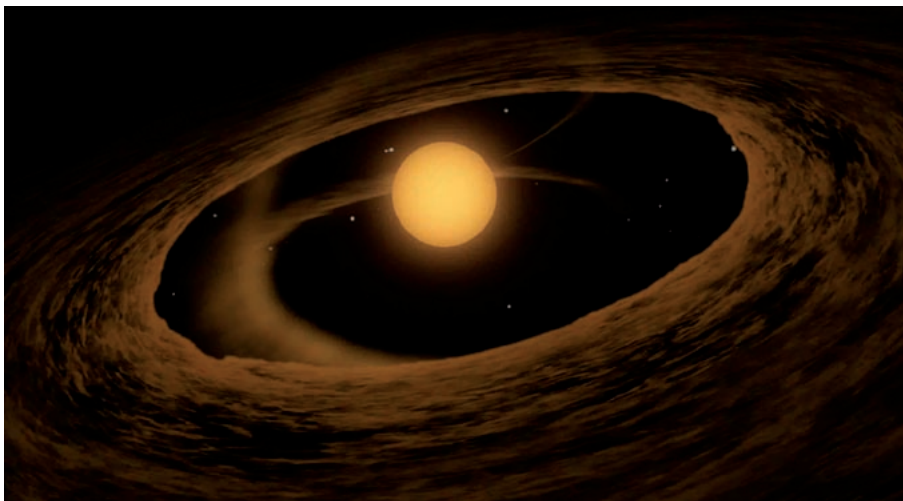
EX Lupi ist ein junger Stern, der unserer Sonne in ihrem Zustand vor viereinhalb Milliarden Jahre sehr ähnlich sieht. Der Stern weist zwei Merkmale auf, die für sehr junge Sterne typisch sind: Zum einen ist er von einer dichten Scheibe aus Staub und Gas umgeben, in der sich nach den heutigen Vorstellungen gegenwärtig sein Planetensystem bildet. Zum anderen zeigt er etwa alle vier bis fünf Jahre einen bis zu einigen Monaten andauernden Helligkeitsausbruch, bei dem seine Leuchtkraft um das Fünf- bis Zehnfache ansteigt. Solche Ausbrüche werden dadurch ausgelöst, dass die zirkumstellare Scheibe instabil wird und aus ihr größere Mengen Materie auf den Stern einstürzen (Abb. II.2.1 und II.2.2); und etwa alle 50 Jahre kommt es zu einem besonders starken Ausbruch. Die Sonne hat wahr-

scheinlich in ihrer frühesten Kindheit eine solche aktive Phase mit unregelmäßigen Helligkeitsausbrüchen variabler Intensität durchlaufen.

Von EX Lupi hatten die Astronomen mit SPITZER bereits 2005 ein Infrarotspektrum aufgenommen, während der Stern in seinem ruhigen Zustand verweilte. Dieses Spektrum (Abb. II.2.3b) zeigt die für amorphe Silikatteilchen des interstellaren Staubes (Abb. II.2.3a) typische Emission und enthält keinerlei Hinweis auf die Anwesenheit kristalliner Silikate. Aber am 21. April 2008 erwischten die Forscher den Stern während eines seiner Helligkeitsausbrüche. Der Ausbruch hatte zwar sein Maximum bereits überschritten, aber der Stern war immer noch etwa 30mal so hell wie im Normalzustand. Dieses zweite Spektrum (Abb. II.2.3c) unterscheidet sich deutlich vom ersten – es zeigt dass zu diesem Zeitpunkt, zusätzlich zu den amorphen Silikaten, auch eine kristalline Form vorhanden war, und zwar Forsterit, ein Mineral, das sowohl in den zirkumstellaren Scheiben junger Sterne, als auch in Kometen in unserem Sonnensystem (siehe Abb. II.2.3d) beobachtet wird. Die Temperatur der Kristalle zum Zeitpunkt der Beobachtung war wesentlich höher als die Temperatur der Scheibe im Ruhezustand des Sterns.

Dieser Befund bedeutet, dass die Astronomen vermutlich erstmals Zeugen des Kristallisationsprozesses wurden: Offenbar entstehen die Kristalle durch Aufheizen und Ausglühen der Silikatteilchen nahe der Oberfläche der inneren, dicken Staub- und Gasscheibe während der Helligkeitsausbrüche von EX Lupi. Beim Ausglühen wird das Material auf eine Temperatur erhitzt, bei der seine chemischen Bindungen aufgebrochen werden und neue, andersartige entstehen (Abb. II.2.4): Dadurch ver-

Abb. II.2.1: Eine gravitative Instabilität in der zirkumstellaren Scheibe führt zum Einsturz größerer Mengen von Gas und Staub auf den Zentralstern.



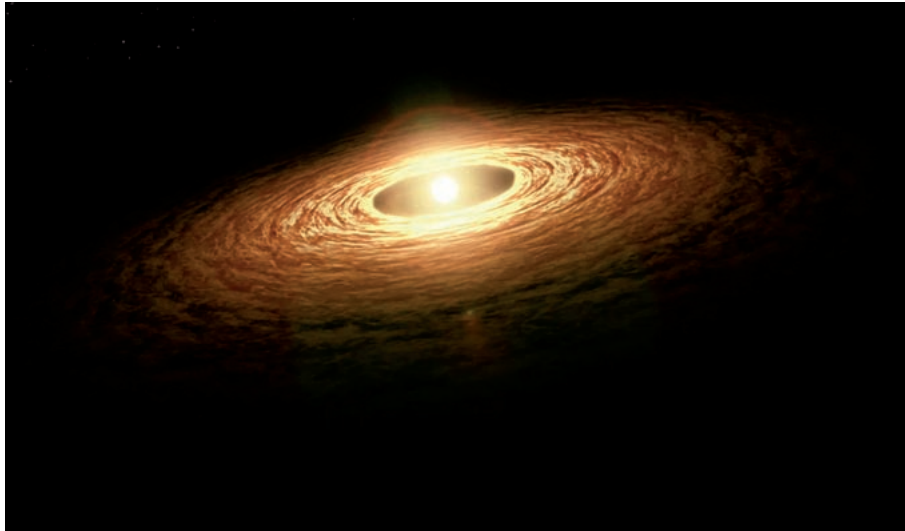


Abb. II.2.2: Der Einsturz der Gas- und Staubmassen auf den Zentralstern löst einen Helligkeitsausbruch des Zentralsterns aus, der zur Aufheizung der oberflächennahen Schichten der Scheibe führt.

ändern sich auch die physikalischen Eigenschaften der Teilchen.

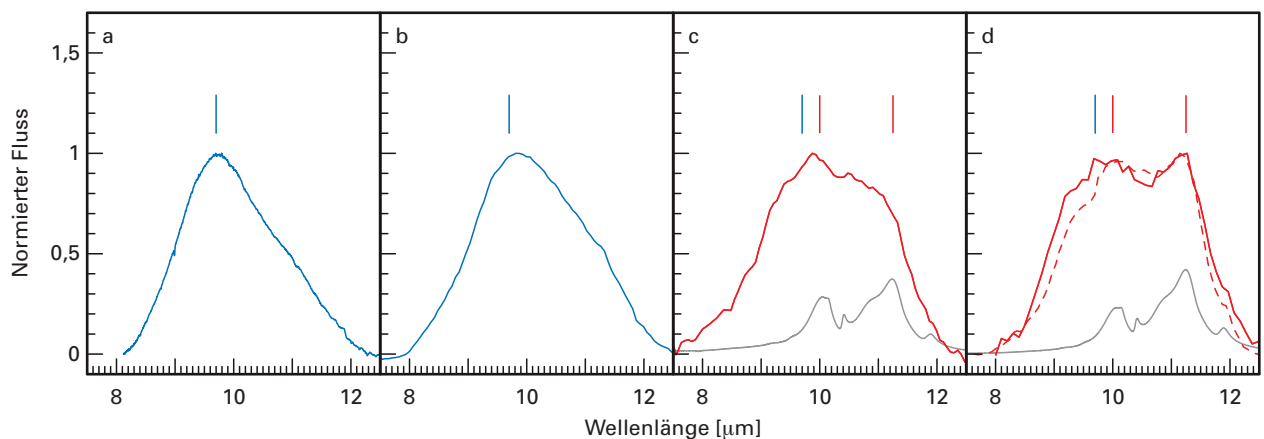
Dieses Ergebnis bietet einen völlig neuen Ansatz zum Verständnis der Entstehung der Kometenkristalle. Unmittelbar nach ihrer Entstehung in der optisch dicken Scheibe, solange sie noch an deren Oberfläche konzentriert sind, prägen die Kristalle dem beobachteten Spektrum ihr charakteristisches Merkmal auf. Später vermi-

schen sie sich mit dem weiter innen liegenden Material und reichern es auf diese Weise bei jedem Ausbruch des Zentralsterns etwas stärker mit kristallinen Silikaten an. Solange das System noch sehr jung ist, sind die kristallinen Silikate nur während der Ausbrüche beobachtbar, wenn sie an der Oberfläche der optisch dicken Scheibe konzentriert sind.

Bisher hatten die Forscher zwei andere Möglichkeiten in Betracht gezogen, die in Kometen und zirkumstellaren Scheiben beobachteten kristallinen Silikate durch Ausglühen zu erzeugen: Entweder das Material im innersten Bereich der Scheibe wird durch die Strahlung des jungen Sterns über längere Zeit erhitzt – aber dies widerspricht dem Befund, dass das im Normalzustand

Abb. II.2.3: Normierte Spektren der Silikat-Emission im Bereich von $8\mu\text{m}$ bis $12\mu\text{m}$ Wellenlänge. *a)* Emission amorpher Silikateilchen des interstellaren Mediums; *b)* Spektrum von EX Lupi im Ruhezustand, gemessen mit dem SPITZER-Spektrographen am 18. März 2005; *c)* dasselbe, aufgenommen während eines Ausbruchs von EX Lupi am 21. April 2008; *d)* am Erdboden gemessene Spektren der Kometen Halley (rot, durchgezogen) und 9P Tempel 1 (rot, gestrichelt). In allen

Bildern markieren die blauen senkrechten Striche die Position des im Labor bei amorphen Silikaten gemessenen Maximums, die grauen Kurven in Abb. *c)* und *d)* zeigen die im Labor gemessene Emissivität von reinem kristallinem Forsterit bei Temperaturen von 1250 K bzw. 300 K. Die roten senkrechten Striche in Abb. *c)* und *d)* markieren die Maxima dieser Spektren.



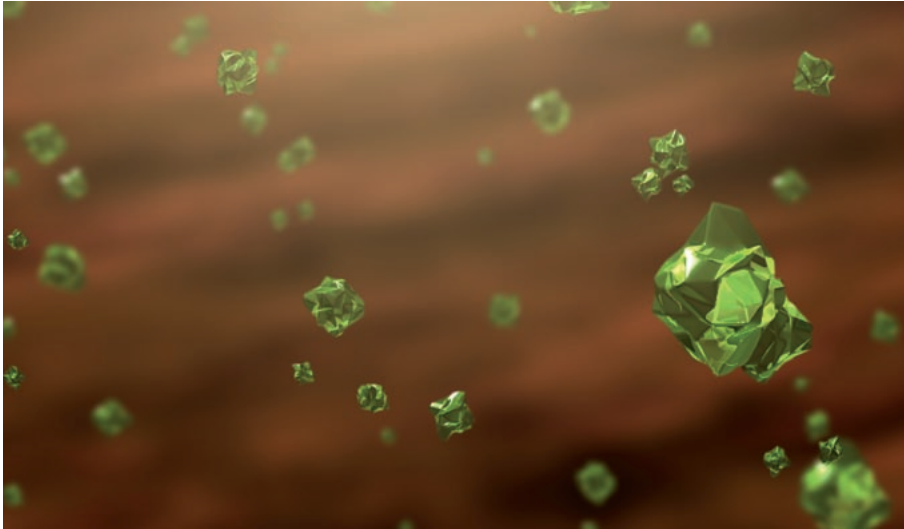
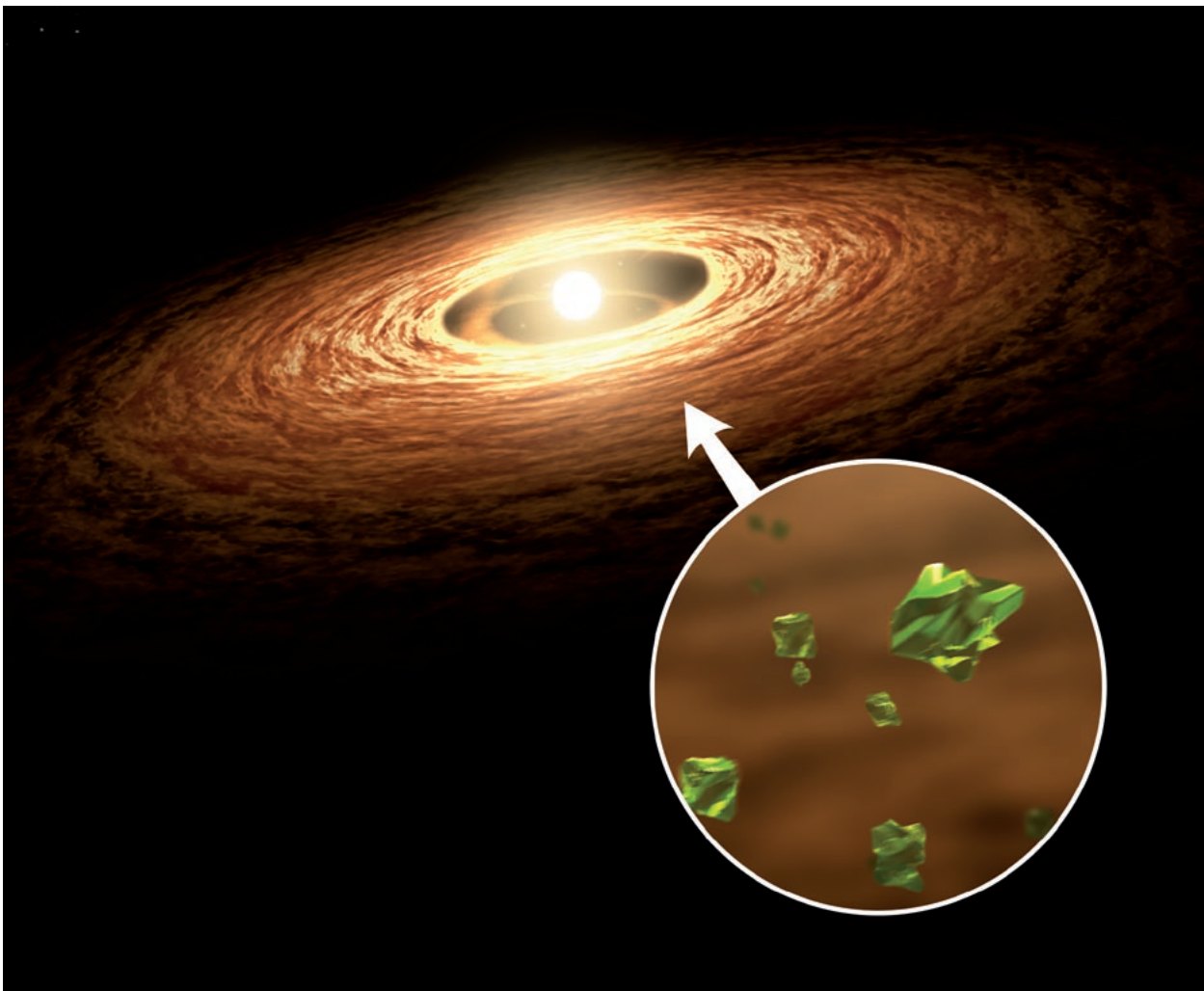


Abb. II.2.4.: Die amorphen Staubteilchen in den oberflächennahen Schichten der Scheibe werden aufgeheizt, kühlen wieder ab und nehmen dadurch die kristalline Struktur und die grüne Farbe des Fosterits an.

Abb. II.2.5.: Wiederholte Helligkeitsausbrüche des jungen Zentralsterns führen zur Anreicherung der Fosteritkristalle in der zirkumstellaren Scheibe. Dort gehen sie dann in den Aufbau der Kometen ein. (Alle Bilder: NASA / JPL / Caltech / MPIA)



des Sterns aufgenommene Spektrum keinen Hinweis auf kristalline Silikate enthält. Oder ein größerer Körper, etwa ein heranwachsender Planet, löst innerhalb der Scheibe eine Schockwelle aus, welche kurzzeitig viel Energie auf die Staubteilchen überträgt. Dadurch werden sie plötzlich auf die zur Kristallisation erforderliche Temperatur erhitzt und kühlen anschließend ähnlich schnell wieder ab. Aber die hohe Temperatur der während des relativ lang andauernden Ausbruchs beobachteten Kristalle steht im Widerspruch zu diesem zweiten Modell, denn man würde erwarten, dass die Temperatur der Silikateilchen unmittelbar nach dem Schock schnell auf ihren Normalwert zurückfällt.

Die Beobachtungen von Juhász und Kollegen passen also zu keinem der beiden bisherigen Szenarien. Deshalb kommen die Autoren dieser Studie zu dem Ergebnis,

dass ein dritter, bisher noch nicht in Betracht gezogener Prozess die Kristallisation durch Ausglühen bewirkt – nämlich die Aufheizung der amorphen Silikate durch den Helligkeitsausbruch des Zentralsterns. Während der aktiven, durch zahlreiche Ausbrüche gekennzeichneten Phase der jungen Sterne reichern sich die kristallinen Silikate in deren zirkumstellarer Scheibe an und gehen dann in die sich bildenden Kometenkerne ein (Abb. II.2.5).

*Attila Juhász, Cornelis Dullemond, Roy van Boekel,
Jeroen Bowman, Thomas Henning,
zusammen mit Kollegen
von der Konkoly-Sternwarte, Budapest
und der Sternwarte Leiden.*

II.3 Erste direkte Abbildung eines kühlen Planeten bei einem sonnenähnlichen Stern

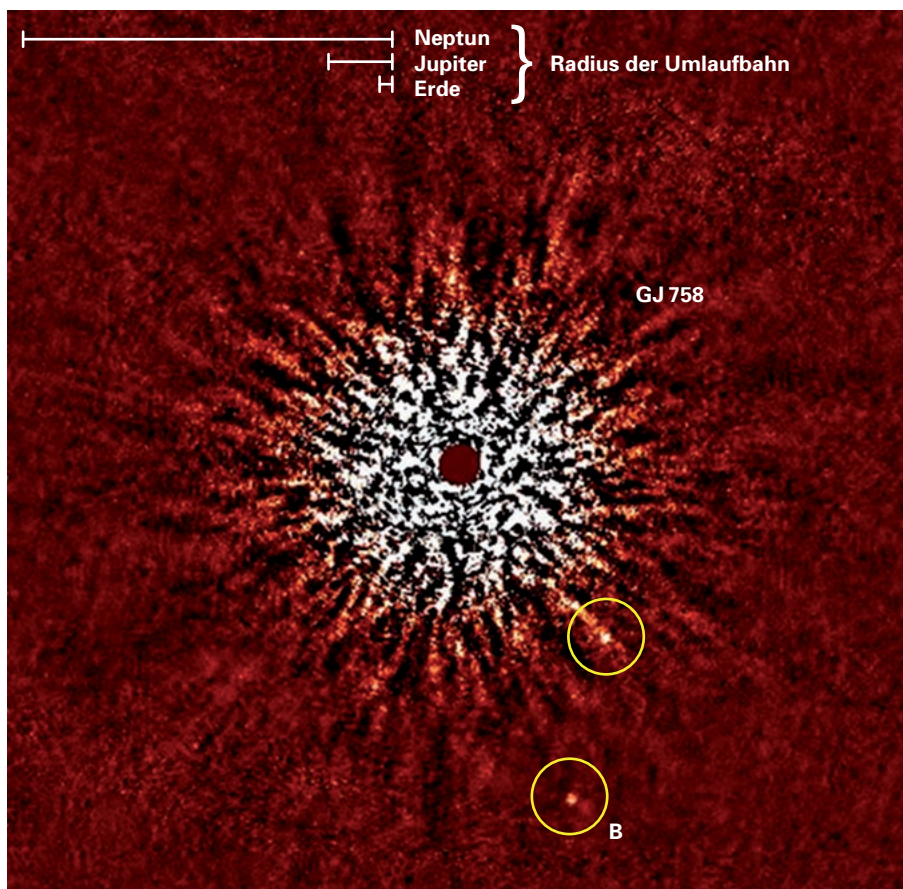
Die allerersten Beobachtungen mit HiCIAO, dem weltweit neuesten Instrument zur Suche nach extrasolaren Planeten, haben bei dem Stern GJ 758 zur Entdeckung seines lichtschwachen Begleiters G 758 B geführt. Möglicherweise ist dies die erste direkte Beobachtung eines kühlen extrasolaren Planeten, der einen sonnenähnlichen Stern umläuft. Die geschätzte Masse von GJ 758 B beträgt 10 bis 40 Jupitermassen. Demnach handelt es sich entweder um einen Riesenplaneten oder um einen massearmen Braunen Zwerg. Sein Abstand zum Zentralstern ist von derselben Größenordnung wie der Abstand des Planeten Neptun von der Sonne. Mit einer Temperatur von 600 Kelvin (330 Grad Celsius) ist GJ 758 B der kälteste – und in dieser Hinsicht den Planeten des Sonnensystems ähnlichste – jemals direkt abgebildete Begleiter eines sonnenähnlichen Sterns.

Mehr als 450 Exoplaneten (Planeten, die andere Sterne als die Sonne umlaufen) sind derzeit bekannt. Die meisten von ihnen wurden indirekt nachgewiesen, indem ihr Einfluss auf die Bewegung oder die Helligkeit

ihres Zentralsterns beobachtet wurde. Viel schwieriger ist das direkte Abbilden eines Exoplaneten, denn die Zentralsterne sind sehr viel heller als ihre Planeten – solch ein Unterfangen entspricht dem Versuch, ein Glühwürmchen zu fotografieren, das unmittelbar neben einer kilometerweit entfernten Flutlichtlampe sitzt. Doch immer dann, wenn es gelingt, einen extrasolaren Planeten direkt abzubilden, ist der wissenschaftliche Gewinn beträchtlich, denn Bilder liefern wertvolle Informationen über die Bahn des Planeten und über die Temperatur und die chemische Zusammensetzung seiner Atmosphäre.

Jetzt ist es gelungen, auf diese Weise mit dem 8-Meter-Teleskop SUBARU auf dem Mauna Kea (Hawaii)

Abb. II.3.1: Diese im August 2009 am SUBARU-Teleskop mit dem Instrument HiCIAO im nahen Infrarot gewonnene Aufnahme von GJ 758 zeigt den Begleiter GJ 758 B. Der zweite Kreis markiert einen Hintergrundstern. Ohne die hier angewandte Spezialtechnik des »angular differential imaging« würde das Licht des Zentralsterns die Bilder der beiden schwachen Objekte hoffnungslos überstrahlen. (Bild: MPIA/NAOJ)



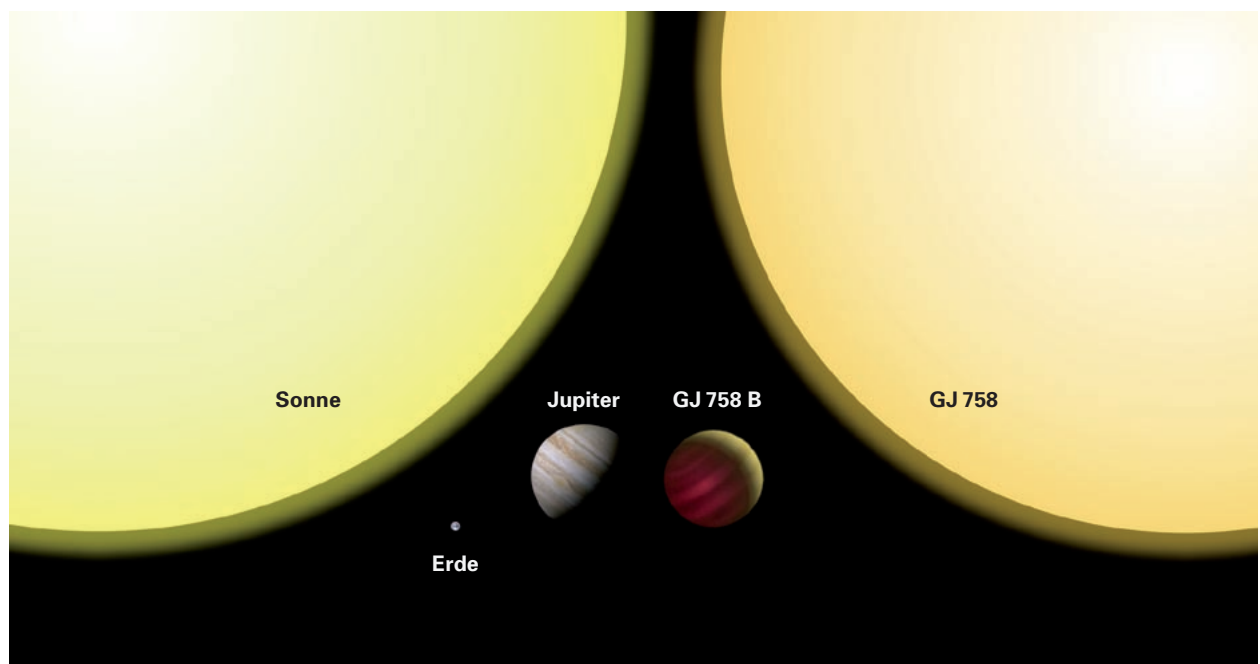
einen neuen, bis dahin unbekannten Planetenkandidaten zu entdecken, der den Stern GJ 758 im Sternbild Leier umläuft und die Bezeichnung GJ 758 B erhalten hat. Dabei wurde zur Beseitigung der durch die Turbulenzen der Erdatmosphäre verursachten Unschärfe modernste adaptive Optik eingesetzt. Zwar geht auf jeder einzelnen Aufnahme das winzige Signal des Planeten im verbliebenen Lichthof des Zentralsterns unter, aber durch die raffinierte Kombination zeitlicher Sequenzen von Einzelbildern, das sogenannte »Angular Differential Imaging« (ADI), konnten die Astronomen den Lichthof des Zentralsterns so weit unterdrücken, dass das schwache Leuchten des Begleiters GJ 758 B im endgültigen Bild erkennbar wurde (Abb. II.3.1).

Vor dieser Entdeckung waren nur zehn mögliche Exoplaneten direkt abgebildet worden. Aber in all diesen Fällen handelt es sich um von unserem Sonnensystem sehr verschiedene Systeme: Entweder umläuft der Begleiter seinen Zentralstern in sehr großer Entfernung (mehrere hundert mal größer als die Entfernung Erde–Sonne), oder seine Temperatur ist höher als 1000 Kelvin (und entspricht damit eher der eines Sterns als der eines Planeten), oder aber der Zentralstern ist der Sonne sehr unähnlich. Verglichen mit diesen anderen Kandidaten ist GJ 758 B den Planeten unseres eigenen Sonnensystems viel ähnlicher: Er umläuft einen sonnenähnlichen Stern

in einer Entfernung ähnlich jener der äußeren Planeten des Sonnensystems – seine an den Himmel projizierte Entfernung von seinem Zentralstern entspricht etwa dem Abstand Neptuns von der Sonne. Die wahre Größe seiner Umlaufbahn kann bislang anhand der verfügbaren Daten lediglich abgeschätzt werden; am wahrscheinlichsten ist ein mittlerer Abstand vom Zentralstern von 59 Astronomischen Einheiten (verglichen mit 39 Astronomischen Einheiten für die Umlaufbahn Plutos).

Besonders interessant ist die (verglichen mit den bisher erfolgreich abgebildeten Exoplaneten) geringe Temperatur des Planeten, die immerhin 550 bis 640 Kelvin oder 280 bis 370 Grad Celsius beträgt – dies entspricht der Temperatur eines Backofens oder der Temperatur auf der sonnenzugewandten Seite des Planeten Merkur! Damit ist GJ 758 B der kälteste jemals direkt abgebildete Begleiter eines sonnenähnlichen Sterns. Der äußerste Planet unseres Sonnensystems, Neptun, empfängt nur rund 1/900 des Sonnenlichts, das die Erde erreicht, und hat eine Oberflächentemperatur von nur rund 70 K (–200 °C). GJ 758 B ist von seinem Zentralstern mindestens so weit entfernt wie Neptun. Seine wesentlich höhere Temperatur weist darauf hin, dass dieser Körper sich noch in der Phase der Kontraktion befindet, während der die jungen, massereichen Gasplaneten ihre Gravitationsenergie in Wärme umwandeln. Bei einem solchen kontrahierenden Körper sind Temperatur, Alter und Masse miteinander verknüpft: Je massereicher er ist, umso länger dauert es, bis er seine überschüssige Wärme in den Weltraum abgestrahlt und seine Gleichgewichtstemperatur erreicht hat. Aus diesem Grund lässt sich auch die Masse von GJ 758 B nicht genauer bestimmen: Seine gemessene Infrarothelligkeit entspricht der eines 700 Millionen

Abb. II.3.2: Größenvergleich zwischen (von links nach rechts) der Sonne, der Erde, Jupiter, dem Exoplaneten GJ 758 B und seinem Zentralstern GJ 758. Aufgrund seiner Temperatur von 550 bis 640 Kelvin strahlt GJ 758 B im nahen Infrarot und ist deshalb in diesem Spektralbereich auch auf seiner vom Zentralstern abgewandten Nachtseite sichtbar. (Bild: MPIA/C. Thalmann)



Jahre alten Planeten mit 10 Jupitermassen, oder aber der eines 8700 Millionen Jahre alten Begleiters mit 40 Jupitermassen. Da die Zentralsterne gleichzeitig mit ihren Planeten entstehen, würde eine genaue Altersbestimmung des Zentralsterns diese Unsicherheit beseitigen; allerdings lassen die bisher verfügbaren Beobachtungsdaten eine solche Altersbestimmung derzeit noch nicht zu.

GJ 758 B wurde während zweier unabhängiger Beobachtungsläufe im Mai und im August 2009 nachgewiesen. Die Bilder zeigen deutlich, dass GJ 758 B und der Stern GJ 758 nicht bloß zufällig am Himmel beieinander stehen: Wie zahlreiche andere nahe Sterne, besitzt GJ 758 eine so genannte »Eigenbewegung« – er verändert seine Position am Himmel, wenn auch nur sehr langsam. Die Bilder zeigen, dass GJ 758 B sich genau so bewegt, wie es zu erwarten ist, wenn er gravitativ an seinen Zentralstern gebunden ist: Seine beobachtete Bewegung am Nachthimmel ist eine Überlagerung der Eigenbewegung von GJ 758 und seiner eigenen Bahnbewegung um den Zentralstern.

Das im August gewonnene, in Abb. II.3.1 gezeigte Bild ist von etwas höherer Qualität und zeigt ein weiteres, dem Zentralstern etwas näher gelegenes Objekt. Es könnte sich um einen zweiten Begleiter handeln, der dann als GJ 758 C zu bezeichnen wäre. Allerdings hat eine weitere, zeitlich versetzte Beobachtung gezeigt, dass dieses Objekt nicht an der gemeinsamen Eigenbewegung des Systems teilnimmt, dass es sich also um ein im Hintergrund befindliches Objekt handelt.

Die Entdeckung von GJ 758 B, einem Exoplaneten oder Braunen Zwerg, der einen sonnenähnlichen Stern umläuft, verschafft den Astronomen einen Einblick in die Vielfalt substellarer Objekte, die in der Umgebung sonnenähnlicher Sterne entstehen können. Diese Vielfalt wiederum weist darauf hin, dass unser eigenes Sonnensystem mit seinen zur Entstehung von Leben führenden Bedingungen nur ein Szenario unter vielen ist, die sich bei der Bildung von Planeten oder Braunen Zwergen in der Umgebung sonnenähnlicher Sterne ergeben können.

Das HiCIAO-Instrument wird nun für das fünfjährige, systematische Durchmusterungsprojekt SEEDS zu einer umfassenden Suche nach extrasolaren Planeten und zirkumstellaren Scheiben eingesetzt. Die spektakuläre Entdeckung von GJ 758 B während seiner Inbetriebnahme verspricht Gutes für dieses anspruchsvolle Projekt und zeigt, dass das Instrument bestens für die ihm zugeordneten Aufgaben geeignet ist.

*Christian Thalmann, Joseph Carson,
Markus Janson, Miwa Goto, Sebastian Egner,
Markus Feldt, Thomas Henning,
Hubert Klahr, Christoph Mordasini,
in Zusammenarbeit mit:
College of Charleston, University of Toronto,
Princeton University, SUBARU Telescope,
National Astronomical Observatory of Japan,
Institute for Astronomy, University of Hawaii.*

II.4 Erste Ergebnisse der HERSCHEL-Mission

Es war ein Bilderbuchstart. Für die weltraumgestützte Infrarot-Astronomie war es der Höhepunkt des Jahres 2009: Am 14. Mai, um 15:12:02 Uhr MESZ startete Europas neues Weltraumobservatorium HERSCHEL an Bord einer ARIANE 5 zu seiner Mission. Dieser Augenblick war der Gipfel einer mehr als zehn Jahre währenden, herausfordernden technologischen Entwicklungsarbeit überall in Europa – mit ihm hat für HERSCHEL die Phase der wissenschaftlichen Entdeckungen begonnen.

Mit seinem 3,5-m-Spiegel ist HERSCHEL das größte bis heute gestartete Weltraumteleskop. Es arbeitet im fernen Infrarot- und im Submillimeter-Bereich, bei Wellenlängen von 70 bis 500 μm , weit jenseits des Sichtbaren, und beobachtet das kalte Universum – von den kalten Körpern des Sonnensystems wie Kometen und Kuipergürtelobjekten über die interstellaren Gas- und Staubwolken unserer Milchstraße, aus denen sich neue Sterne bilden, bis hin zu den fernen Galaxien, deren Licht durch die kosmische Expansion weit ins Infrarote verschoben ist. HERSCHEL ist mit den drei leistungsstarken Messinstrumenten PACS, SPIRE und HIFI ausgerüs-

tet, von denen die beiden ersten je eine Kamera für Direktaufnahmen enthalten und alle drei spektroskopisch arbeiten können, zum Nachweis und zur Vermessung einzelner Absorptions- und Emissionslinien der interstellaren Atome und Moleküle. Mit Hilfe der in HERSCHELs Kryostaten mitgeführten 2300 Liter flüssigen Heliums werden alle Instrumente aktiv auf ihre Betriebstemperatur nahe dem absoluten Nullpunkt ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$) gekühlt.

Das MPIA war einer der wichtigsten Partner bei der Entwicklung von PACS (Photodetector Array Camera and Spectrometer), verantwortlich für den Fokalebene-Chopper und weitere entscheidende Hardware-Komponenten. Alle Mitglieder des Teams waren erleichtert, als sich zehn Tage nach dem Start alle Komponenten beim ersten Einschalten des Instruments im Weltraum als voll funktionsfähig erwiesen.

Abb. II.4.1: Gemeinsamer Start der Satelliten HERSCHEL und PLANCK auf einer ARIANE 5 ECA Rakete von Europas Weltraumbahnhof Kourou in Französisch Guayana am 14. Mai 2009.



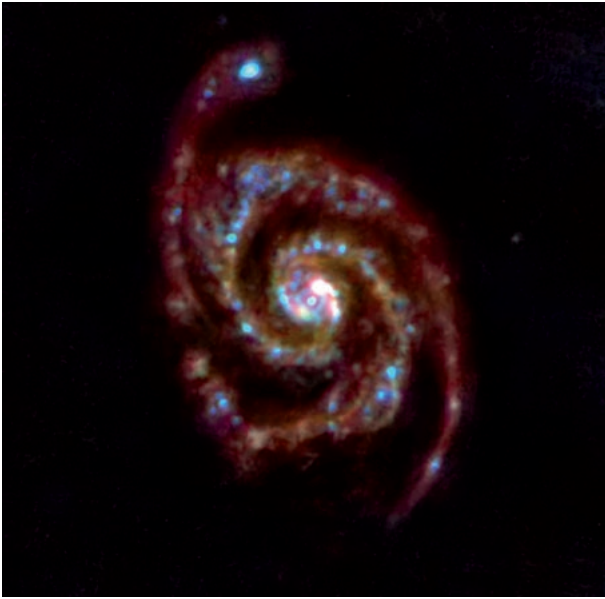


Abb. II.4.2: Erstes Licht für das Weltraumobservatorium HERSCHEL. Farbkomposit der Spiralgalaxie Messier 51, aufgenommen mit PACS bei den Wellenlängen $70\ \mu\text{m}$ (blau dargestellt), $100\ \mu\text{m}$ (grün) und $160\ \mu\text{m}$ (rot).

Vor dem Beginn der wissenschaftlichen Beobachtungen musste zunächst ein ausführliches Programm der Inbetriebnahme, Charakterisierung, Optimierung und Kalibrierung der drei Instrumente und ihrer Wechselwirkung mit dem gesamten Satelliten absolviert werden. Diese Aktivitäten begannen bereits während HERSCHELs fünf Wochen dauernder Reise zu seinem Arbeitsplatz, einer Halobahn mit etwa dem doppelten Durchmesser der Mondbahn um den Lagrange-Punkt L2, weit jenseits der Mondbahn, 1,5 Millionen Kilometer in antisolarer Richtung von der Erde entfernt. Während dieser Phase führte unser Institut die gesamte Missionsplanung der Kalibrierungsmessungen und ihres zeitlichen Ablaufs durch. Für die Koordination und zeitliche Planung der 16 Betriebstage von Mitte Juni bis Mitte Juli 2009 zur Inbetriebnahme des Instruments PACS, einschließlich HERSCHELs »Erstem Licht« und der 64 Betriebstage von Mitte Juli bis Ende November 2009 zur Leistungscharakterisierung des Instruments und des Teleskoppointings (die PACS-Kamera besitzt die höchste räumliche Auflösung) sowie der Freigabe der wissenschaftlichen Beobachtungsmodi war das PACS-Team des MPIA verantwortlich.

Die ersten Bilder (Abb. II.4.2) wurden genau einen Monat nach dem Start, unmittelbar nachdem der Verschluss des Instrumentenkryostaten geöffnet worden war und das erste Licht aus dem Weltraum ins Instrument eindringen konnte, mit PACS aufgenommen. Ziel dieser Testbeobachtungen der berühmten Spiralgalaxie M 51 in den Jagdhunden war die Bestimmung der Ausrichtungsabweichung des Teleskops sowie die Stärke des Streulichts und des Strahlungshintergrunds des noch relativ

warmen Teleskops. Obwohl diese Aufnahmen nur als ein erster Versuch gedacht waren, um einen Vorgeschmack auf die späteren Leistungen zu erhalten, übertraf das Ergebnis bereits alle Erwartungen: Die Galaxie war recht genau zentriert und im Fokus, und in allen Wellenlängen war beugungsbegrenzte Auflösung erreicht.

Im Herbst 2009 erfüllte das Instrument alle Vorgaben seiner wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit. Während der anschließenden »Science Demonstration Phase« konnte von einer Vielfalt von Objekten – von nahen galaktischen Sternentstehungsgebieten bis zu Galaxien in kosmologischer Entfernung – bereits eine Fülle photometrischer und spektroskopischer Daten gewonnen werden. Diese Beobachtungen waren den umfassenden Beobachtungsprogrammen während der garantierten Beobachtungszeit gewidmet, die den Gruppen zusteht, welche die Instrumente für HERSCHEL entwickelt und gebaut haben. Der dem MPIA zustehende Anteil an der gesamten Beobachtungszeit beträgt 285 Stunden. Die im Folgenden beschriebenen Beispiele wurden auf einem Arbeitstreffen in Madrid im Dezember 2009 vorgestellt und zeigen einige unserer ersten mit HERSCHEL gewonnenen Ergebnisse.

Kartierung von Temperatur und Dichte in einem prästellaren Wolkenkern

Im Rahmen des unter Leitung des MPIA durchgeführten Beobachtungsprogramms EPOS (»Earliest Phases of Star Formation«) wird die thermische Staubemission aus Sternentstehungsgebieten bei Wellenlängen zwischen $70\ \mu\text{m}$ und $500\ \mu\text{m}$ mit PACS und SPIRE kartiert, um im gesamten Wellenlängenbereich räumlich aufgelöste spektrale Energieverteilungen von Wolkenkernen und Protosternen geringer und mittlerer Masse zu gewinnen. HERSCHELs hohe räumliche Auflösung führt zu so detaillierten Ergebnissen, wie in der Karte der Staubtemperatur und Säulendichte innerhalb der Globule CB 244 (Abb. II.4.3) zu sehen ist.

An zwei Stellen innerhalb der Globule ist die Bildung neuer Sterne im Gange. Objekt Nr. 1 (Abb. II.4.3, rechts) ist ein noch tief in Staub und kaltes Gas eingebetteter Protostern, dessen Temperatur $-255\ ^\circ\text{C}$ beträgt. Das Gebiet Nr. 2 enthält noch nicht einmal einen Protostern: Es besteht nur aus kollabierendem Staub und Gas. Daraus wird eines Tages wohl auch ein Stern werden, aber jetzt liegt seine Temperatur noch bei $-262\ ^\circ\text{C}$. Mit Hilfe der abgeleiteten Temperaturverteilung lässt sich die Menge des Materials innerhalb dieser Strukturen berechnen. Der Protostern (Nr. 1) enthält 1,6 Sonnenmassen, das kollabierende Gebiet etwa drei bis sieben Sonnenmassen. Die Masse der gesamten Globule, aus der diese beiden Sterne entstehen werden, beträgt 10 bis 20 Sonnenmassen. Die Beobachtungen zeigen auch, dass die Temperatur innerhalb der Globule zu den äußeren Rän-

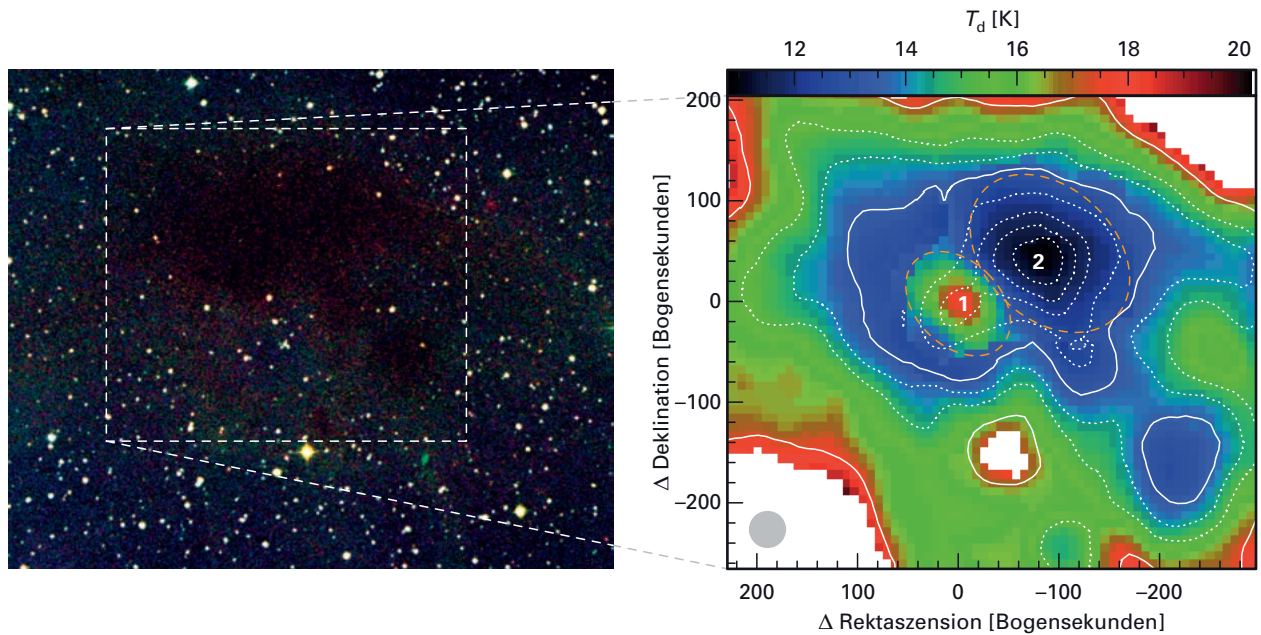


Abb. II.4.3: *Links* – Diese optische Aufnahme der Globule CB 244 zeigt die dunkle, dichte Staubwolke vor dem Hintergrund der Feldsterne. *Rechts* – Staubtemperatur und Säulendichte des Materials in der Globule, abgeleitet aus der mit PACS und SPIRE gemessenen thermischen Emission. Mit 1 ist ein junges stellares Objekt bezeichnet, 2 ist ein prästellarer, wahrscheinlich sternbildender Wolkenkern.

den hin ansteigt, wo das Licht der Nachbarsterne deren Oberfläche aufheizt. Die Bestimmung so niedriger Temperaturen ist vom Boden aus nicht möglich, denn die Erdatmosphäre absorbiert die eintreffende Strahlung im Sub-Millimeterbereich. HERSCHEL, der im kalten und luftleeren Weltraum arbeitet, ist für genau solche Beobachtungen der kältesten Strahlungsquellen optimiert.

Für das EPOS-Programm besonders interessant sind die Entstehungsgebiete massereicher Sterne. Die Anfangsbedingungen, die zur Bildung dieser Sterne führen, sind noch weitgehend unverstanden. Massereiche Sterne (mit mehr als 8 Sonnenmassen) sind selten, deshalb findet man sie meist nur in größeren Entfernungen. HERSCHELs hohe räumliche Auflösung und Empfindlichkeit auch bei langen Wellenlängen ist deshalb unverzichtbar für die Untersuchung eingebetteter massereicher Protosterne in solchen Sternentstehungsgebieten wie das in Abb. II.4.4 gezeigte.

Staubbildung in Supernovae – der Fall Cassiopeia A

Überall im Universum spielt Staub bei der Bildung neuer Sterne und Planeten eine Schlüsselrolle. Allerdings können die festen Partikel nur entstehen, wenn im interstellaren Medium ausreichend viele schwere Elemente, insbesondere Kohlenstoff, vorhanden sind. Nach unserem heutigen Verständnis sind nur die leichten Elemente Was-

serstoff und Helium, sowie kleine Mengen Lithium und Beryllium im Urknall entstanden. Alle schwereren Elemente bis hin zum Eisen wurden erst später durch Fusionsreaktionen im Inneren der Sterne aufgebaut und schließlich durch Sternwinde und Supernova-Explosionen, bei denen auch die noch schwereren Elemente entstanden, in den interstellaren Raum geblasen. Auch Staub kann unter diesen Bedingungen entstehen. Während der Weg über die Sternwinde Milliarden Jahre dauern könnte, besteht die Möglichkeit, dass Supernovae viel wirksamere Staubproduzenten sind. Allerdings gehen die Meinungen über die tatsächliche Effizienz der Staubproduktion in Supernovae weit auseinander.

Erst als das interstellare Medium hinreichend mit schweren Elementen angereichert war, konnte sich auch der erste Staub bilden, und erst dann waren die Voraussetzungen für die Entstehung von Planeten gegeben. Neuere Beobachtungen haben gezeigt, dass bereits 700 Millionen Jahre nach dem Urknall große Mengen Staub im interstellaren Medium vorhanden waren. Zum Beispiel wurden in der Umgebung des entferntesten bekannten Quasars, SDSS J1148+5251 (siehe unten), etwa 100 Millionen Sonnenmassen Staub nachgewiesen. Wie konnten diese enormen Mengen Staub in so kurzer Zeit entstehen?

Bald schien eine Lösung des Rätsels nahe: 2004 behauptete eine Gruppe Astronomen, sie hätte mittels bodengebundener Submillimeter-Beobachtungen im Supernova-Überrest Cassiopeia A riesige Mengen (zwei bis vier Sonnenmassen) an kaltem Staub nachgewiesen. Daraus schlossen sie, dass Supernovae der Art von Cas A nach dem Urknall als erste Staub in Mengen produziert hätten. Als allerdings MPIA-Astronomen diese Frage angingen, kamen sie zu einem ganz anderen Ergebnis: Der in Richtung von Cas A beobachtete Staub hat nichts mit dem Supernova-Überrest zu tun, sondern ist Teil eines ausgedehnten zwischen der Erde und Cas A verlaufenden Stauffilaments.



Abb. II.4.4: Dieses Bild der Sternentstehungsregion IsoSS J 22164+6003 ist ein Komposit aus Aufnahmen im nahen Infrarot, die auf dem Calar Alto entstanden sind und eingebettete junge, mehr oder weniger massereiche Sterne zeigen, und mit Pacs gewonnenen Aufnahmen bei 70, 100 und 160 μm Wellenlänge: Hier werden auch mehrere Protosterne sichtbar, die tief in -255°C kaltes Gas und Staub (*gelblich und rötlich dargestellt*) eingebettet sind.

Neue Beobachtungen mit HERSCHEL und PACS haben nun die interstellare Natur des kalten im fernen Infrarot beobachteten Staubes in Richtung auf Cas A bestätigt. Abb. II.4.5 zeigt die Staubemission von Cas A und Umgebung bei 70, 100 und 160 μm Wellenlänge. Unterschiedlich warme Staubkörner strahlen bei unterschiedlichen Wellenlängen. HERSCHELs hoch effiziente räumlich und spektral aufgelöste Kartierung ermöglicht nun die Trennung von Staubkomponenten unterschiedlicher Temperatur im Supernova-Überrest und in seiner Umgebung. Warmer Staub innerhalb der Stoßfront, die den Supernova-Überrest begrenzt, erscheint auf dem Bild bläu-

Abb. II.4.5: Der galaktische Supernova-Überrest Cassiopeia A in einem Komposit aus PACS-Aufnahmen bei 70 μm (*blau*), 100 μm (*grün*) und 160 μm (*rot*). In dieser Darstellung erscheint warmer Staub innerhalb des Überrests bläulich-weiß, während die kälteren Staubfilamente aus der weiteren Umgebung rot leuchten.

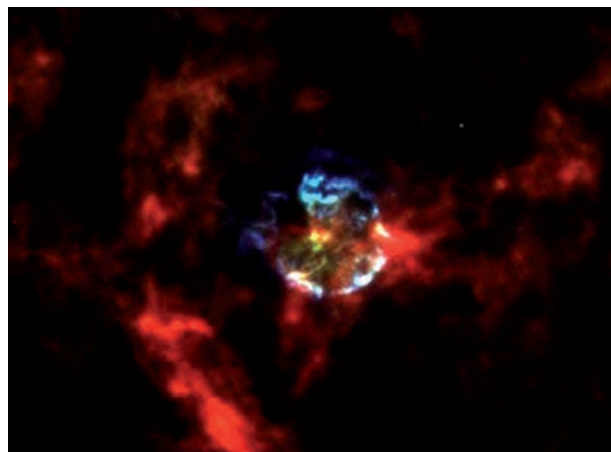
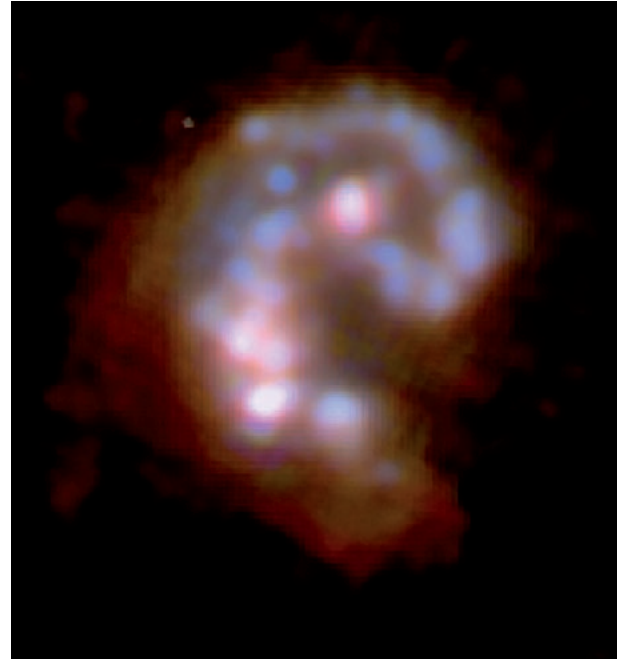




Abb. II.4.6: Links: die Antennengalaxien NGC 4038/4039 im sichtbaren Licht, aufgenommen mit der ACS-Kamera des Weltraumteleskops HUBBLE. Das System ist 70 Millionen Lichtjahre von uns entfernt, der Abstand zwischen den beiden



Galaxienkernen beträgt 23 000 Lichtjahre. Rechts: farblich kodiertes Komposit aus PACS-Aufnahmen bei 70 μm (blau dargestellt), 100 μm (grün) und 160 μm (rot).

lich, der weit verbreitete und kältere interstellare Staub, der mit Cas A nichts zu tun hat, erscheint rot. Nach diesen Daten beträgt die gesamte Masse des in Cas A neu entstandenen Staubes nur 0,07 Sonnenmassen. Die Frage nach dem Ursprung des Staubes im frühen Universum bleibt also weiterhin offen.

Die Metamorphose der kollidierenden Antennen-Galaxien

Unser Milchstraßensystem und die benachbarte, 2,5 Millionen Lichtjahre entfernte Andromeda-Galaxie, rasen aufeinander zu und werden in ein paar Milliarden Jahren zusammenstoßen und sich möglicherweise zu einem neuen, ganz anders strukturierten Sternsystem vereinigen. Wie das gehen kann, machen uns die beiden 70 Millionen Lichtjahre entfernten Galaxien NGC 4038 und NGC 4039, auch Antennengalaxien genannt, vor: Wir beobachten sie heute dabei, wie sie miteinander verschmelzen. In ihren starken Gravitationsfeldern verteilen sich die Sterne neu, und einige von ihnen entfernen sich in ausgedehnten Sternströmen von ihrer Galaxie. Solchen Gezeitschwänzen verdankt dieses System seinen Spitznamen »Antennengalaxien«.

In Abb. IV.4.6 sind nicht die weit ausholenden Antennen zu sehen, wohl aber die in der Verschmelzung begriffenen Scheiben der beiden Galaxien. Während die

Sterne, aus denen sie bestehen, ohne viel Aufhebens aneinander vorbeifliegen, prallen die Gas- und Staubbmassen aufeinander, gewaltige Stoßwellen durchlaufen das interstellare Medium, es wird komprimiert und die großen Molekülwolken zerfallen in kleinere instabile Einheiten, die schließlich kollabieren und massenhaft neue Sterne bilden. Große Staubmengen verbergen diese Prozesse im Sichtbaren, aber für die Strahlung, die von HERSCHEL und PACS registriert wird, sind sie durchsichtig und so können wir nun das Geschehen weit besser verfolgen.

Links im Bild zeigt eine HUBBLE-Aufnahme die einander durchdringenden Scheiben der beiden Galaxien, deren Kerne als gelbliche Gebiete erscheinen – der nördliche (obere) Kern gehört zu NGC 4038, der südliche zu NGC 4039. Die beiden Scheiben sind von einem Netz aus bräunlichen Staubfilamenten durchsetzt. Die neu entstandenen Sterne leuchten in einem bläulichen Licht, die heißesten von ihnen ionisieren das umgebende Wasserstoffgas und lassen es in den zahlreichen HII-Regionen rot aufleuchten.

Das neue, von einem MPA-Team mit HERSCHEL und PACS gewonnene Bild (rechts) zeigt eine ganz andere Morphologie. Die beiden Galaxien erscheinen bereits wie ein einziges System. Zwei Spiralarme gehen vom Kern von NGC 4038 aus, allerdings ist der nördliche Spiralarm recht schwach ausgeprägt, die meiste Emission stammt von einer Kette heller Knoten, die die beiden Kernregionen miteinander verbindet. Mehrere dieser Knoten sind heller als der südliche Kern: Hier tobt die im sichtbaren Licht verborgene Sternentstehung besonders stark. PACS zeigt uns

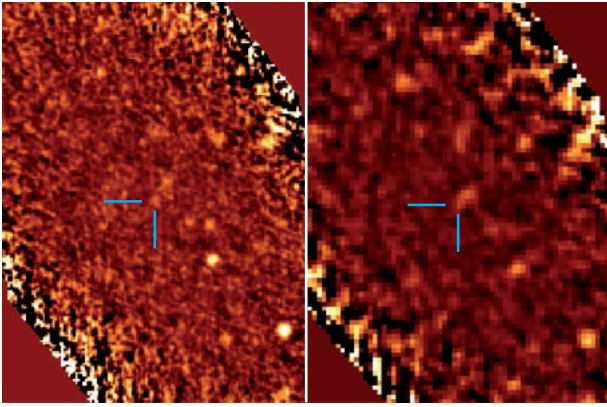


Abb. II.4.7: Links – tiefe mit PACS gewonnene 100- μm -Karte von SDSS J1148+5251 und seiner Umgebung. Die Quelle ist eindeutig nachgewiesen. Rechts – dasselbe Gebiet, mit PACS bei 160 μm kartiert: Auch hier ist die Quelle, zusammen mit einem weiteren, im Nordwesten gelegenen Objekt, deutlich zu sehen.

ansatzweise die Metamorphose der beiden Sternsysteme und das Erscheinungsbild, das im Sichtbaren erst dann hervortreten wird, wenn die hundert Millionen in den heißen Infrarotknoten neu entstandenen Sterne sich mit ihrer energiereichen Strahlung und ihren Winden von den verbliebenen Gas- und Staubmassen befreit haben werden.

PACS beobachtet hoch-rotverschobene Quasare

Der in den letzten Jahren erfolgte Nachweis einer beträchtlichen Anzahl hochrotverschobener Quasare ($z > 5$) im Submillimeter-Bereich zeigt, dass eine große Menge Staub bereits während der ersten Milliarde Jahre nach dem Urknall gebildet wurde. Der kälteste Staub strahlt in diesem Wellenlängenbereich. Andererseits haben kürzlich Beobachtungen mit dem Weltraumteleskop SPITZER im mittleren Infrarot (bei 24 μm Wellenlänge) gezeigt, dass in der unmittelbaren Umgebung hochrotverschobener Quasarkerne sehr heißer Staub vorhanden ist. Die beiden Beobachtungsarten, im Submillimeter- und im mittleren Infrarotbereich, erfassen allerdings nur die Ausläufer der vom Staub abgestrahlten Energieverteilung. Der größte Anteil der Staubemission ferner Quasare liegt genau in dem von HERSCHEL und PACS abgedeckten Bereich. Erst hier werden Daten verfügbar, aus denen so entscheidende Größen wie Leuchtkraft, Temperatur und Masse des strahlenden Staubes bestimmt werden können.

Die ersten PACS-Beobachtungen zweier leuchtkräftiger Quellen am Rande des Universums, des entferntesten bekannten Quasars, SDSS J 1148+5251, bei $z = 6,42$ und des hellsten Quasars im Millimeterbereich, BR 1202-0725 bei $z = 4,69$, erfolgten unter der Leitung des MPIA im Rahmen des »Guaranteed Time Key Program 'The Dusty Young Universe'« (Abb. II.4.6). In bei-

den Fällen konnte die Quelle eindeutig nachgewiesen werden, für die Staubtemperaturen ergab sich ein weiterer Bereich von $T = 1000\text{ K}$ bis $T = 50\text{ K}$, entsprechend einer ausgedehnten räumlichen Verteilung der strahlenden Staubmassen um die energiespendenden zentralen Maschinen der beiden Quasare.

Ausblick

Die am MPIA gesammelte technische Erfahrung mit PACS und die wissenschaftlichen Interessen des Instituts haben zur erfolgreichen Beteiligung an elf »Key Observing Programs« mit HERSCHEL geführt. Das breite Themenspektrum dieser Beobachtungsprogramme der galaktischen (EPOS, DIGIT, MESS, DUNES, GOULD BELT, COLD CORES, HOPS) wie der extragalaktischen Astronomie (KINGFISH, SHINING, HERCULES) demonstriert HERSCHELs Bedeutung für die Kernthemen der Forschung am MPIA. Die gesamte diesen Programmen zugeteilte Beobachtungszeit beträgt 2600 Stunden, wobei in vielen Fällen die Verantwortung für entscheidende Bereiche der Datenreduktion und -analyse beim MPIA liegt. Alle diese Beobachtungsprogramme werden hochwertige Daten liefern und viele Forscher am Institut sind nun mit deren detaillierter wissenschaftlicher Analyse befasst. Die ersten wissenschaftlichen Ergebnisse werden im Juli 2010 in einer speziellen HERSCHEL-Ausgabe von Astronomy and Astrophysics erscheinen.

Nach aktuellen Schätzungen basierend auf einer ersten Massenbestimmung des kühlenden flüssigen Heliums wird die HERSCHEL-Mission bis Ende Februar 2013 dauern, wenn das Kühlmittel vollends verdampft sein wird. Die Unsicherheit dieser Angabe beträgt noch etwa \pm vier Monate. Eine weitere Bestimmung der Menge des noch verbleibenden Heliums, bei der ein Wärmepuls in das Heliumbad eingeleitet und die damit ausgelöste Temperaturerhöhung gemessen wird, soll im Herbst 2010 erfolgen – dies erlaubt die Bestimmung der Massendifferenz und des Heliummassenflusses und damit eine genauere Vorhersage der Missionsdauer.

Seit der ersten Idee dieser anspruchsvollen Mission sind bis zu ihrem Start fast 30 Jahre vergangen. Nun sehen wir erstmals wissenschaftliche Ergebnisse: Die Mission verläuft absolut perfekt, weit besser, als wir es hätten erwarten können. Die Mühe hat sich gelohnt – nun können wir uns freuen über HERSCHELs hervorragende Ergebnisse.

Oliver Krause, Ulrich Klaas, Markus Nielbock, Jürgen Schreiber, Zoltan Balog, Jeroen Bouwman, Ulrich Grözinger, Hendrik Linz, Jutta Stegmaier, Thomas Henning, Christian Leipski, Amelia Stutz, Martin Hennemann, Helmut Dannerbauer, Ralf Launhardt, Marc-Andre Besel, Jan Pitann, Dietrich Lemke, Ralph Hofferbert, Klaus Meisenheimer, in Zusammenarbeit mit den Partnerinstituten des PACS instrument consortium und den Programmkonsortien von MESS, EPOS und SHINING key.

II.5 Galaktischer Kannibalismus: Sternströme rund um die Andromeda-Galaxie

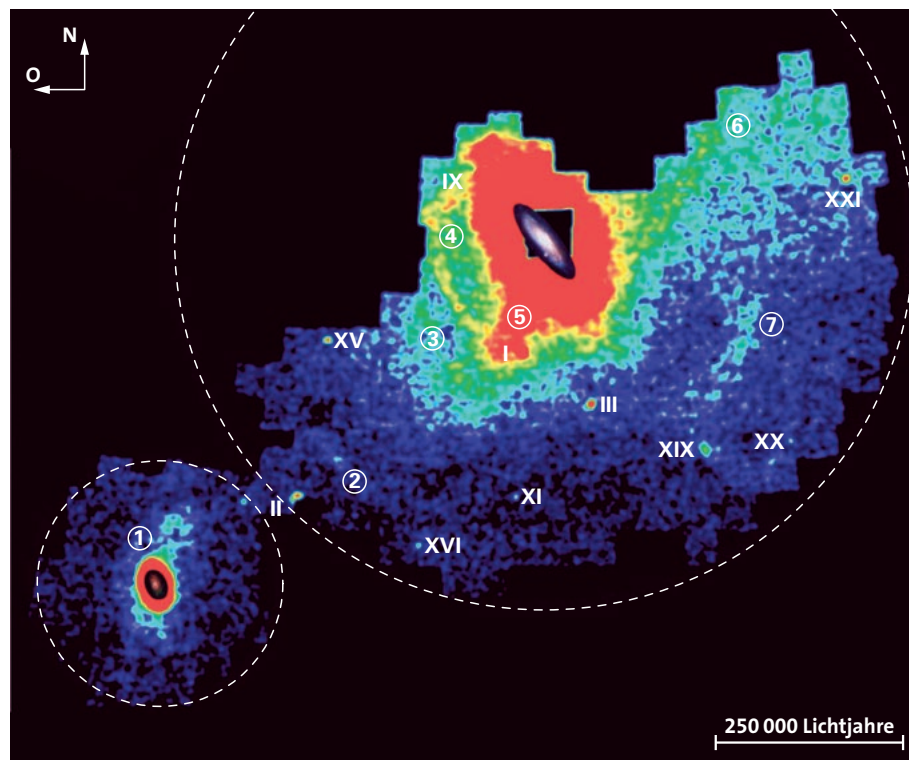
Nach der im Laufe der letzten Jahre entwickelten Vorstellung von der hierarchischen Entwicklung der Galaxien wachsen die größeren und massereicheren Galaxien kontinuierlich, indem sie ihre kleineren Satelliten verschlingen. Die Auflösung der Kleinen im Gravitationsfeld der Großen führt in deren weiterer Umgebung zur Bildung lose gebundener Sternströme. Das Projekt PandAS, eine tiefe Durchmusterung der Andromeda-Galaxie und ihres Umfelds unter Beteiligung des MPIA, hat das bislang vollständigste und detailreichste Bild solcher Verschmelzungsprozesse geliefert.

Erst im Laufe der letzten fünf Jahre haben Astronomen sowohl in unserer Heimatgalaxie, dem Milchstraßensystem, als auch in weiter entfernten Galaxien Spuren solcher Akte galaktischen Kannibalismus nachweisen können: Sternströme – langgestreckte Ansammlungen von Tau-

senden von Sternen, welche die betreffenden Galaxien wie im Formationsflug umlaufen. Verglichen mit den vielen Sternen etwa in der Scheibe unserer Galaxis leuchten diese Sternströme nur sehr schwach und sind entsprechend schwierig nachzuweisen. Neue Ergebnisse des internationalen Projekts PANDAS (Abkürzung für »Pan-Andromeda Archaeological Survey«, wörtlich die »Ganz Andromeda umfassende archäologische Durchmusterung«) zeichnen das bislang vollständigste und detailreichste Bild solcher Sternströme in der Umgebung einer Galaxie (Abb. II.5.1). Die PANDAS-Durchmusterung läuft von 2008 bis 2011 am Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) auf dem Mauna Kea in Hawaii; sie wird in den Farben g (414 – 560 nm) und i (702 – 853 nm) durchgeführt, die entsprechenden Grenzgrößen liegen bei $g = 26,5$ mag und $i = 25,5$ mag. Dabei wird ein rund 350 Quadratgrad großes Himmelsareal rund um die Andromeda-Galaxie

Abb. II.5.1: PANDAS-Karte der Nachbarschaft der Andromeda-Galaxie M 31 (*oben*) einschließlich des Dreiecksnebels M 33 (*unten links*). Die Farben stehen für unterschiedliche Sterndichten: Rote Farbe zeigt hohe Sterndichte an, von rot nach gelb, grün, hell- und dunkelblau nimmt die Sterndichte ab. In den (roten) Zentren höchster Dichte sind konventionelle Bilder der Andromeda-Galaxie und des Dreiecksnebels eingesetzt.

Die Radien der gestrichelten Kreise um M 31 und M 33 haben projizierte Durchmesser von 150 kpc bzw. 50 kpc. Direkt erkennbare Zwerggalaxien sind mit römischen Zahlen gekennzeichnet. Die eingekreisten Zahlen 1 bis 7 markieren die auf den ersten Blick als Substrukturen der Sternverteilung auffallenden Sternströme.



im Detail kartiert: Diese Fläche entspricht dem 1600-Fachen der scheinbaren Größe der Vollmondscheibe.

Die neuen Daten bilden den Ausgangspunkt für die Modellierung der Entwicklung der Andromeda-Galaxie im Laufe der letzten Milliarden Jahre. Zwar wurden schon früher Spuren solcher Überreste von Zwerggalaxien, die sich die Andromeda-Galaxie vor unseren Augen einverleibt, gefunden. Doch erst jetzt ist es gelungen, eine so detaillierte Karte eines Sternstromgebiets zu erstellen. Die PANDAS-Durchmusterung zeigt sieben verschiedene Ströme. Bei zweien davon handelt es sich um Neuentdeckungen: Nummer 6 in Abb. II.5.1 erstreckt sich 150 Kiloparsec weit nach Nordwesten in Richtung der kleinen Achse des Andromeda-Nebels, Nummer 7 ist ein 40 Kiloparsec langer Bogen im Südwesten, 150 Kiloparsec von M 31 entfernt. Solche riesengroßen Strukturen sind im inneren Halo (innerhalb von 50 Kiloparsec) über mehrere Milliarden Jahre und jenseits von 150 Kiloparsec mindestens über die gesamte Hubble-Zeit (13 Milliarden Jahre) stabil. Nach ihrer Auflösung im Laufe der nächsten Milliarden Jahre wird nichts mehr darauf hinweisen, dass diese Sterne einmal Teil anderer Galaxien waren.

Die noch verbleibenden Reste der M 31 umschwirrenden Zwerggalaxien sind in Abb. II.5.1 als rundliche stellare Verdichtungen erkennbar, ihre Flächendichte ist bis über 150 Kiloparsec Entfernung von M 31 konstant und es lässt sich abschätzen, dass es in einem Volumen mit 300 Kiloparsec Radius um M 31 etwa 90 Zwerggalaxien

gibt, von denen erst etwa ein Viertel bekannt sind. Das entspricht aber höchstens etwa einem Zehntel der theoretisch erwarteten Dunkle-Materie-Halos – das »Rätsel der fehlenden Satelliten« bleibt also bestehen. (Siehe aber den Abschnitt II.7 in diesem Jahresbericht.)

Auch die Geschichte des Dreiecksnebels, einer kleineren Begleitergalaxie von Andromeda, muss im Lichte der neuen Ergebnisse umgeschrieben werden. Bislang galt der Dreiecksnebel einfach nur als ein Begleiter der Andromeda. Jetzt haben wir überzeugende Hinweise darauf, dass die beiden Galaxien vor einigen Milliarden Jahren in eine Kollision verwickelt waren. Das zeigt ein neu entdeckter Sternstrom des Dreiecksnebels, der bei diesem Zusammentreffen durch Wirkung der Gezeitenkräfte der Andromeda-Galaxie entstanden sein dürfte. Auch die leichte Verbiegung (»warp«) der galaktischen Scheibe des Andromeda-Nebels findet in diesem Szenario seine Erklärung.

Nicolas F. Martin

in Zusammenarbeit mit dem PANDAS-Team.

Dazu gehören Astronomen von

kanadischen, französischen,

australischen, britischen, US-amerikanischen

und deutschen Institutionen;

Wissenschaftlicher Leiter ist Alan McConnachie

vom NRC Herzberg Institute of Astrophysics in Victoria.

II.6 Maximale Sternentstehung im jungen Kosmos

Galaxien – unser Milchstraßensystem und seine kosmischen Verwandten – bestehen aus bis zu hunderten Milliarden Sternen. Doch wie haben sich diese gigantischen Sternansammlungen vor Milliarden Jahren gebildet? Entstand zuerst ein Zentralbereich mit Sternen, der mit der Zeit anwuchs, oder bildeten sich die Sterne gleichmäßig im ganzen heutigen Volumen der Galaxie? Ein internationales Forscherteam unter der Leitung von Wissenschaftlern des MPIA fand nun erstmals direkte Hinweise, dass die Sternbildung in einem kleinen Zentralbereich beginnt. Und sie stellten fest: In der Entstehungsphase der Galaxien produzierten die Galaxienkerne mit der maximal möglichen Effizienz neue Sterne.

Die Forscher untersuchten eine der entferntesten bekannten aktiven Galaxien, den Quasar mit der Bezeichnung J 1148+5251. Sein Licht erreicht die Erde erst nach einer Reisezeit von rund 12,8 Milliarden Jahren; heutige Beobachtungen zeigen diese Galaxie daher so, wie sie vor 12,8 Milliarden Jahren aussah, weniger als eine Milliarde Jahre nach dem Urknall. Mit Hilfe des IRAM-Interferometers, einer deutsch-französisch-spanischen Radioteleskopanordnung, gelang der Nachweis, dass sich damals im Kern von J 1148+5251 extrem viele Sterne bildeten – so viele wie nach den Gesetzen der Physik gerade noch zulässig sind. Im Gegensatz zu vorherigen Messungen gelang es zudem, die Ausdehnung des Sternentstehungsgebietes zu bestimmen, die nur rund 4000 Lichtjahre beträgt. Erst damit werden die Abschätzung der Sternentstehungsraten pro Volumen und der Vergleich mit theoretischen Sternentstehungsmodellen möglich.

Das Ergebnis ist überraschend: In dieser Galaxie entstehen pro Jahr Sterne mit einer Gesamtmasse von mehr als 1000 Sonnenmassen, und das auf einem für astronomische Verhältnisse recht kleinen Gebiet. Zum Vergleich: Zählt man die Massen aller Sterne zusammen, die in unserem Milchstraßensystem entstehen, so kommt jedes Jahr nur eine einzige Sonnenmasse dazu.

Hart am physikalischen Limit

Dass in jungen Galaxien Sterne in beachtlichen Mengen entstehen, hatten bereits frühere Messungen zeigen können. Entscheidend ist an den neuen Messungen von Fabian Walter und Kollegen, dass hier auch die räumliche Ausdehnung der Sternentstehungsregion bestimmt werden konnte. So kann die Sternentstehungsrate pro Volumen berechnet werden, und erst das ermöglicht den

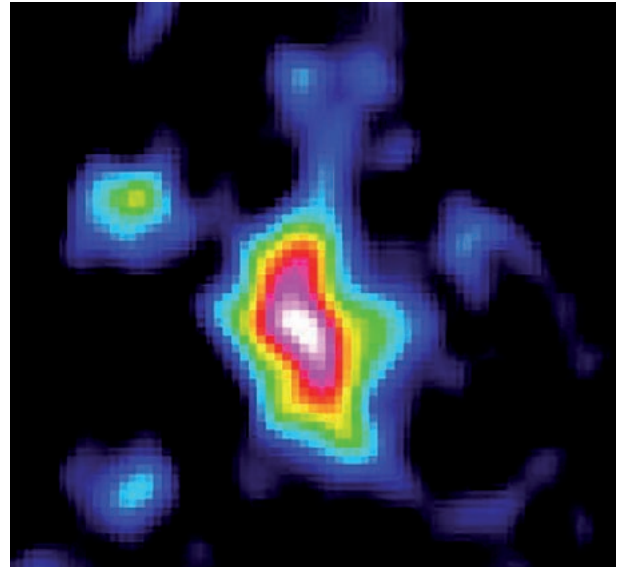


Abb. II.6.1: Falschfarbenbild der Quasargalaxie J 1148+5251, aufgenommen mit den Radioteleskopen des Very Large Array in New Mexiko. (NRAO/AUI/NSF)

Vergleich mit Sternentstehungsmodellen einerseits, und mit besonders aktiven Sternentstehungsgebieten in unserer Galaxis andererseits.

Mit der gemessenen Aktivität stoßen die Sternentstehungsgebiete von J 1148+5251 (Abb. II.6.1) an die Grenzen des physikalisch Erlaubten. Sterne entstehen, wenn kosmische Wolken aus Staub und Gas unter dem Einfluss der Schwerkraft kollabieren und sich dabei aufheizen. Doch die dabei freigesetzte Strahlung treibt die Gas- und Staubwolken auseinander und erschwert so einen weiteren Kollaps und die Bildung weiterer Sterne. Daraus ergibt sich eine Obergrenze dafür, wie viele Sterne in einer gegebenen Raumregion in gegebener Zeit überhaupt entstehen können.

Diese Obergrenze wird in den beobachteten Sternentstehungsgebieten erreicht. In unserem Milchstraßensystem finden sich solche extremen Verhältnisse nur in ungleich kleineren Regionen, beispielsweise in Teilen des Orionnebels (Abb. II.6.2). Aber was in J 1148+5251 beobachtet wurde, entspricht einer Ansammlung von hundert Millionen Orion-Regionen.

Entstehung von innen heraus

Fabian Walter und seine Kollegen konnten solch extreme Verhältnisse erstmals auf galaktischen Größenskalen



Abb. II.6.2: In der Region Orion-KL im Orionnebel (im Bild mit einem Quadrat markiert) ist die Sternentstehungsaktivität ähnlich hoch wie in der Zentralregion von J 1148+5251

– allerdings auf ein viele hundert Millionen mal kleineres Volumen beschränkt. (NASA, ESA, M. Robberto (STScI/ESA), Orion Treasury Project Team)

nachweisen – im Widerspruch zu einigen bisherigen Schätzungen, die für die maximale Sternentstehungsrate in Galaxien auf einen zehnmal kleineren Grenzwert gekommen waren.

Soviel Aktivität auf so geringem Raum ist noch aus einem anderen Grunde von Interesse. Sie zeigt nämlich, dass die Sternentstehung in dieser Galaxie offensichtlich von innen heraus verläuft: Am Anfang steht eine Kernregion, in der besonders viele Sterne entstehen. Erst im Laufe der Zeit wächst der mit Sternen gefüllte Zentralbereich – etwa durch Kollisionen und Verschmelzungen mit anderen Galaxien – und erreicht

die ungleich größere Ausdehnung, die für ältere Galaxien charakteristisch ist. Dieses Ergebnis ist für die theoretische Modellierung der Galaxienentwicklung von großer Bedeutung.

Eine Ein-Euro-Münze aus 18 Kilometer Entfernung

Dreh- und Angelpunkt bei der Bestimmung der Aktivität und bei den Rückschlüssen auf die Galaxienentstehung ist, dass es den Forschern gelang, die Zentralregion der fernen Galaxie tatsächlich abzubilden. Diesem Vorhaben

legt die Natur freilich eine Reihe von Steinen in den Weg. Zunächst einmal ist die betreffende Galaxie fast 13 Milliarden Lichtjahre entfernt (Rotverschiebung $z = 6,42$). Bei dieser Entfernung hat das Sternentstehungsgebiet mit seinem Durchmesser von 4000 Lichtjahren einen Winkeldurchmesser von nur 0,27 Bogensekunden – so groß wie eine aus rund 18 Kilometer Entfernung betrachtete Ein-Euro-Münze. Hinzu kommt ein Hindernis, das sich aus der Wellennatur elektromagnetischer Strahlung ergibt: Bei der für die Beobachtung von Sternentstehungsgebieten geeigneten Wellenlänge von rund einem Millimeter ist es mehr als tausendmal schwieriger, feine Details abzubilden, als im Bereich des sichtbaren Lichts.

Dass die hier beschriebenen Beobachtungen trotzdem möglich wurden, ist einem Zusammentreffen günstiger Umstände zu verdanken: Zumindest bei einer bestimmten Frequenz, die für ionisierte Kohlenstoff-Atome charakteristisch ist, überstrahlen die Sternentstehungsgebiete den aktiven, leuchtstarken Kern von J 1148+5251; dank der Expansion des Universums (kosmologische Rotverschiebung) erreicht diese Strahlung die Erde in Form von Radiowellen, die mit geeigneten Teleskopen nachweisbar sind, und dank der technischen Weiterentwicklung des deutsch-französisch-spanischen IRAM-Interferometers, eines Verbund-Radioteleskops auf dem Plateau de Bure in den französischen Alpen, rückten die hier beschriebenen Messungen in den Bereich des Möglichen.

Wie bereits erwähnt, erscheint uns das Sternentstehungsgebiet in J 1148+5251 mit einem Winkeldurchmesser von nur 0,27 Bogensekunden. Im Bereich des sichtbaren Lichts ließe sich eine Struktur dieser Größe beispielsweise mit dem Weltraumteleskop HUBBLE gerade noch erkennen. Allerdings ist J 1148+5251 ein Quasar – ein Galaxie, in deren Kern ein massereiches Schwarzes Loch große Mengen der umgebenden Materie aufsaugt. Dabei werden gewaltige Mengen an Strahlung frei, durch die sich Quasare über die größten Distanzen im Universum hinweg nachweisen lassen. Andererseits wird die ungleich schwächere Strahlung der rund um den Kern gruppierten Sternentstehungsgebiete dadurch schlichtweg überstrahlt.

Hilfestellung durch die kosmische Expansion

Eine Wellenlänge gibt es dennoch, bei welcher die Strahlung der Sternentstehungsregionen stärker ist als die des Quasars. Damit die Gas- und Staubwolken überhaupt kollabieren können, müssen sie einen Teil der beim Kollaps freiwerdenden Gravitationsenergie abstrahlen. Doch was die Abstrahlung angeht, herrschen im Reich der Atome sehr restriktive Regeln – am bekanntesten ist der Umstand, dass ein Atom elektromagnetische Strahlung nur bei ganz bestimmten Wellenlängen aufnehmen und abstrahlen kann, die seinen charakteristischen Spektrallinien entsprechen. Die Wolken, um die es hier geht, beste-

hen zum größten Teil aus molekularem Wasserstoff, dem es unter den herrschenden Bedingungen praktisch unmöglich ist, elektromagnetische Strahlung auszusenden. Dadurch schlägt die große Stunde für einen weiteren Wolkenbestandteil: einfach ionisierten Kohlenstoff (also Kohlenstoffatome, denen ein Elektron fehlt), der einen Großteil der beim Kollaps freigesetzten Energie bei einer ganz bestimmten, für diese Ionen charakteristischen Wellenlänge von 158 Mikrometern abstrahlen kann. Mag der Quasar insgesamt auch ungleich heller sein als die Molekülwolken – bei dieser einen Wellenlänge leuchten die Molekülwolken heller als die Konkurrenz. Und da die Emission dieser besonderen Spektrallinie direkt mit dem Wolkenkollaps und daher mit dem Prozess der Sternentstehung zusammenhängt, ist sie für den Nachweis von Sternentstehungsgebieten ideal geeignet.

Allerdings wird Strahlung dieser Wellenlänge von der Erdatmosphäre vollständig absorbiert. Sie kann zwar mit Satellitenteleskopen nachgewiesen werden; diese sind aber nicht groß genug, um so klein erscheinende Strukturen wie hier erforderlich räumlich aufgelöst abbilden zu können.

Abhilfe schafft – der Kosmos selbst! Das Universum expandiert, und dabei verändern sich nicht nur die Abstände zwischen fernen Galaxien: auch die Wellenlänge elektromagnetischer Strahlung, die durch den Kosmos eilt, wird immer größer (kosmologische Rotverschiebung). Bis die charakteristische Infrarotstrahlung der Sternentstehungsgebiete von J 1148+5251 bei uns angekommen ist, hat sich ihre Wellenlänge um den Faktor $z + 1 = 7,42$ vergrößert, und sie erreicht die Erde in Form von kurzwelliger Radiostrahlung mit ungefähr einem Millimeter Wellenlänge. Diese Strahlung lässt sich vom Erdboden aus messen – zumindest unter günstigen atmosphärischen Bedingungen wie sie für die hochgelegenen Standorte der Observatorien charakteristisch sind.

Neue Technik

Nur so wurden die hier beschriebenen Beobachtungen möglich. Solche Radiostrahlung ist mit speziellen Radioteleskopen nachweisbar. Allerdings ist mit größeren Wellenlängen immer ein bestimmter Nachteil verbunden: Um Details derselben Feinheit abbilden zu können muss ein Teleskop, das bei einem Millimeter Wellenlänge arbeitet, einen ungefähr 1000 Mal größeren Durchmesser besitzen als eines, mit dem im Bereich des sichtbaren Lichts beobachtet wird.

Bis Ende 2006 waren Beobachtungen bei dieser speziellen Wellenlänge mit der nötigen Detailschärfe schlichtweg nicht möglich. Dann allerdings erhielten die sechs Einzelantennen des IRAM-Interferometers, das in 2550 Meter Höhe auf dem Plateau de Bure in den französischen Alpen angesiedelt ist, neue, weiterentwickelte Detektoren, mit denen sich diese 1-Millimeter-Strahlung nachweisen lässt. Bei Interferometern wer-



den die Messungen einzelner Radioteleskope so kombiniert, dass das Leistungsvermögen dem eines weit größeren Teleskops entspricht – je größer der Abstand der einzelnen Teleskope, umso leistungsfähiger das resultierende Kombinationsteleskop. Im Jahre 2005 war das IRAM-Interferometer so weit erweitert worden, dass Strukturen von der Größe der Sternentstehungsregion in J 1148+5251 mit ausreichender Präzision abgebildet werden konnten.

Dass wir nun mehr über die Entwicklung von Sternen und Galaxien im frühen Universum wissen, verdanken wir daher einem günstigen Zusammentreffen der Entwicklung der Technik – und der Entwicklung des Universums.

Zukünftige Teleskope

Die Messungen am IRAM-Interferometer sind auch als Testfall für zukünftige Teleskopprojekte, insbesondere für das derzeit im Aufbau befindliche ALMA (das Atacama Large Millimeter Array in Nordchile), von Bedeutung. Dass sich die Linie des einfach ionisierten Kohlenstoffs nutzen lässt, um die Sternentstehungsgebiete weit entfernter Galaxien nachzuweisen und abzubilden, ist eine

Abb. II.6.3.: Das IRAM-Interferometer auf dem Plateau de Bure in den französischen Alpen. (IRAM/Rebus)

wichtige Voraussetzung für das mit ALMA durchzuführende Beobachtungsprogramm. Mit den hier beschriebenen Messungen konnte diese Beobachtungstechnik jetzt erstmals praktisch demonstriert werden. Diese Messungen eröffnen einen neuen Weg, um die Sternentstehung im jungen Universum zu charakterisieren. Das Studium von Galaxien in der Frühphase der kosmischen Entwicklung, rund eine Milliarde Jahre nach dem Urknall, wird in den nächsten Jahren ein zentrales Forschungsgebiet der Astronomie sein.

*Fabian Walter, Dominik Riechers,
in Zusammenarbeit mit:*

*Argelander Institut für Astronomie
und MPI für Radioastronomie, Bonn,
California Institute of Technology, Pasadena,
Institut de Radio Astronomie Millimétrique,
Saint Martin d'Herès,
Istituto Nazionale di Astrofisica, Osservatorio di Roma,
National Radio Astronomy Observatory, Socorro.*

II.7 Gibt es genügend viele kleine Galaxien?

Das Milchstraßensystem mit dem Schwarm der Zwerggalaxien, die es als Satelliten umgeben, stellt ein einmaliges astrophysikalisches Labor dar: Hier können die Theorien zur Entstehung und Entwicklung der Galaxien getestet werden. Insbesondere die Vorhersage der Λ CDM (Λ Cold Dark Matter)-Theorie, dass zahlreiche Zwerggalaxien im Halo unserer Galaxis eingebettet sein sollten, war lange Zeit ein Problem für diese ansonsten sehr erfolgreiche Theorie. Hier berichten wir über die Lösung dieses Problems.

Nach dem Λ -CDM-Szenario entstanden die Galaxien aus den winzigen Dichtefluktuationen der kosmischen Ursuppe, die sich in den beobachteten minimalen Temperaturschwankungen der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung zeigen. Bald nach dem Urknall bildeten die Dichtemaxima dieser Fluktuationen die Kondensationskerne langsam einsetzender Akkretionsprozesse, und zwar zunächst nur für die weit häufigere Dunkle Materie, die nicht mit elektromagnetischer Strahlung wechselwirkt, während die »normale«, damals zunächst ionisierte Materie, von der herrschenden Hintergrundstrahlung an der Akkretion gehindert wurde. Die so aus der Akkretion der Dunklen Materie entstandenen Objekte werden »dunkle Halos« genannt.

Mit der Rekombination von Protonen und Neutronen etwa 370 000 Jahre nach dem Urknall koppelte auch die normale, nunmehr neutrale Materie vom Strahlungsfeld ab und konnte, der Schwerkraft folgend, in die bereits bestehenden dunklen Halos hineinströmen. Da sich die Halos gegenseitig anziehen, kam es besonders im frühen Universum, als die mittlere Materiedichte noch wesentlich höher als heute war, zu Zusammenstößen und Verschmelzungen dieser Halos, sodass immer größere Gebilde entstanden. Sie bestehen hauptsächlich aus Dunkler, und nur zu etwa einem Siebtel aus normaler Materie, aus der sich in den Zentren der dunklen Halos bald die ersten Sterne bildeten. Dieses hierarchische Wachstum der dunklen Halos, und damit auch der in sie eingebetteten leuchtenden Galaxien, verlief im jungen Universum stürmisch und dauert heute noch an.

Die Fragestellung

Vor etwa zehn Jahren erreichten die numerischen Rechnungen zur Modellierung dieses Szenarios hinreichend hohe Auflösung um zu zeigen, dass nach der Λ -CDM-Theorie alle Halos noch heute zahlreiche eingebettete »Subhalos« enthalten sollten, die sich noch nicht in den größeren Gebilden aufgelöst haben. Die theore-

tisch erwartete Anzahl der Subhalos stimmte zwar mit den Beobachtungen der größten, ganze Galaxienhaufen umfassenden dunklen Halos gut überein. Aber in den Halos um Systeme der Größe unseres Milchstraßensystems schien es nur etwa ein Zehntel der nach der Theorie zu erwartenden Subhalos zu geben. Damals waren rund 40 Satelliten des Milchstraßensystems bekannt, während die Modellrechnungen etwa 300 Satelliten erwarten ließen.

Später haben die mit dem Sloan Digital Sky Survey (SDSS) gesammelten Daten unser Bild des Milchstraßensystems und seiner Umgebung dramatisch verändert. Aus diesen Daten hat eine von S. Koposov geleitete Arbeitsgruppe im Jahr 2008 die Leuchtkraftfunktion der Zwerggalaxien, die das Milchstraßensystem als Satelliten umgeben, innerhalb eines großen Himmelsareals bis hinab zu 100 Sonnenleuchtkräften bestimmt und deren radiale Verteilung ermittelt. Damit besteht nun die Möglichkeit, grundlegende Eigenschaften der Satelliten des Milchstraßensystems, etwa ihre Anzahl-dichte, ihre radiale Verteilung und ihr Masse-Leuchtkraft-Verhältnis, neu zu untersuchen und zu prüfen, ob sie mit den heutigen Λ -CDM-Modellen verträglich sind, und welche physikalischen Prozesse zur Entstehung dieser extrem leuchtschwachen Zwerggalaxien geführt haben.

Modelle und Ergebnisse

Zu diesem Zweck untersuchten fünf Forscher am MPIA zusammen mit einem Kollegen aus Triest die Entwicklung von vier verschiedenen Modell-Halos von der Größe des Milchstraßensystems (10^{12} Sonnenmassen) aus einer älteren, umfassenden Simulation erneut, diesmal mit weit höherer numerischer Auflösung. Die ausgewählten Halos hatten nach $z = 2$ (das heißt etwa in den letzten zwei Dritteln der seit dem Urknall vergangenen Zeit) keine bedeutendere Verschmelzung mehr erlitten und sollten demnach in ihren Zentren je eine Spiralgalaxie von der Art und Größe des Milchstraßensystems beherbergen. Aus der simulierten Entwicklung von $z = 20$ (kurz nach dem Urknall) bis $z = 0$ (heute) wurden je 53 Momentaufnahmen entnommen und nach der Zahl und Verteilung ihrer Subhalos untersucht. So konnten die Stammbäume der heute noch vorhandenen Subhalos ermittelt werden.

Um die Entstehung und Entwicklung der Sternpopulation in den Subhalos modellieren und sie schließlich mit den heutigen Zwerggalaxien im Halo des Milchstraßensystems vergleichen zu können, müssen neben der reinen, sowohl auf die Teilchen der normalen als

auch der Dunklen Materie wirkenden Gravitationskraft auch die für Sternentwicklung maßgeblichen, in der normalen Materie ablaufenden astrophysikalischen Prozesse simuliert werden. Dazu setzten die Autoren drei unterschiedliche, von anderen Arbeitsgruppen unabhängig voneinander entwickelte semianalytische Modelle ein. Alle drei berücksichtigen folgende, allein die normale Materie betreffende Prozesse: Kühlung der Atome durch Abstrahlung, Re-Ionisationsprozesse, Sternbildung, Supernova-Explosionen, Rückführung der in den Sternen produzierten schweren Elemente in das interstellare Medium, Staubbildung und Absorption der Strahlung durch Staub.

Die verwendeten semianalytischen Modelle waren alle im Hinblick auf Galaxien mit Massen der stellaren Komponente $M_* \geq 10^9 M_\odot$ – also weit größer als die meisten der hier betrachteten Zwerggalaxien – entwickelt und getestet worden. Es ist nicht von vorn herein klar, ob diese empirischen Rezepte, etwa zur Beschreibung der Sternentstehung oder des Einflusses von Supernova-Explosionen auf ihre Umgebung, auch für winzige Zwerggalaxien gelten, die jeweils aus we-

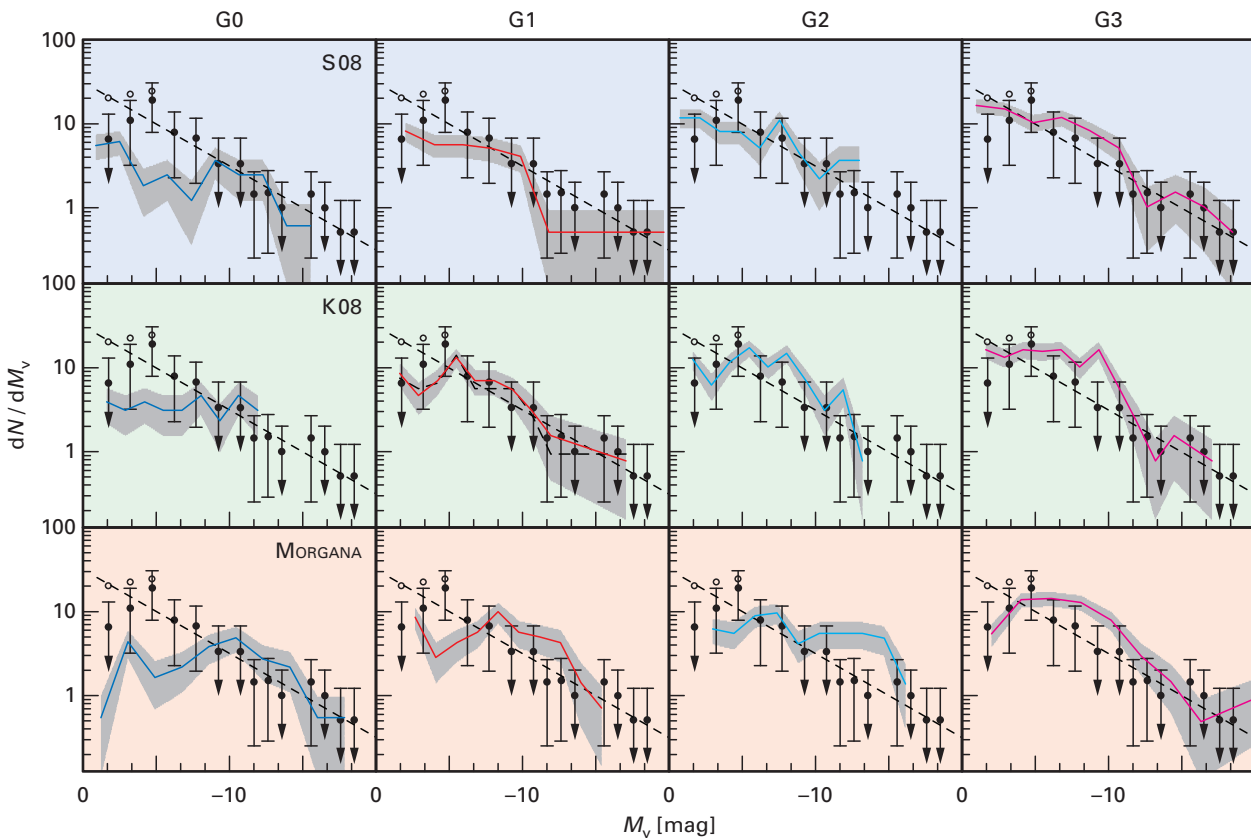
nigen Molekülwolken entstanden sind. Es ist deshalb von großem Interesse zu prüfen, wie sich diese Modelle bewähren, wenn sie an den hier untersuchten kleinen Zwerggalaxien erprobt werden.

Die aus den Simulationsrechnungen für die vier Modellhalos in Kombination mit den drei verschiedenen semianalytischen Modellen für die gegenwärtige Epoche abgeleiteten Leuchtkraftfunktionen der Zwerggalaxien wurden mit den aus den Daten des Sloan Digital Sky Survey von S. Koposov und Mitarbeitern abgeleiteten empirischen Leuchtkraftfunktionen verglichen (Abb. II.7.1). Dabei wurden alle Objekte berücksichtigt, die innerhalb von 280 Kiloparsec um die Hauptgalaxie liegen, entsprechend dem von den SDSS-Daten erfassten Volumen. Alle Modelle sagen voraus, dass es etwa 100 Satelliten heller als $M_V = -3$ mag geben sollte, in guter Übereinstimmung mit verschiedenen neueren beobachtungs-basierten Abschätzungen.

Die Gesamtzahl der Satelliten hängt von der Masse der zentralen Galaxie ab. Die Leuchtkraftfunktion des masseärmsten Modellhalos (G0 in Abb. II.7.1, seine Masse beträgt $M = 0,88 \times 10^{12}$ Sonnenmassen) verläuft nahe-

Abb. II.7.1: Die Leuchtkraftfunktion (LF) der Zwerggalaxien im galaktischen Halo. Aufgetragen ist die Anzahl der Objekte pro Helligkeitsintervall als Funktion der absoluten Helligkeit. Die durchgezogenen Linien zeigen die Ergebnisse der Modellrechnungen für die vier untersuchten Halos G0 ... G3 (von

rechts nach links), jeweils für die drei verwendeten semianalytischen Modelle (S08, K08 und Morgana, von oben nach unten). Das schattierte Band zeigt die Unsicherheit der berechneten LF an. Die Messpunkte mit Fehlerbalken geben die aus dem SDSS abgeleitete LF wieder.



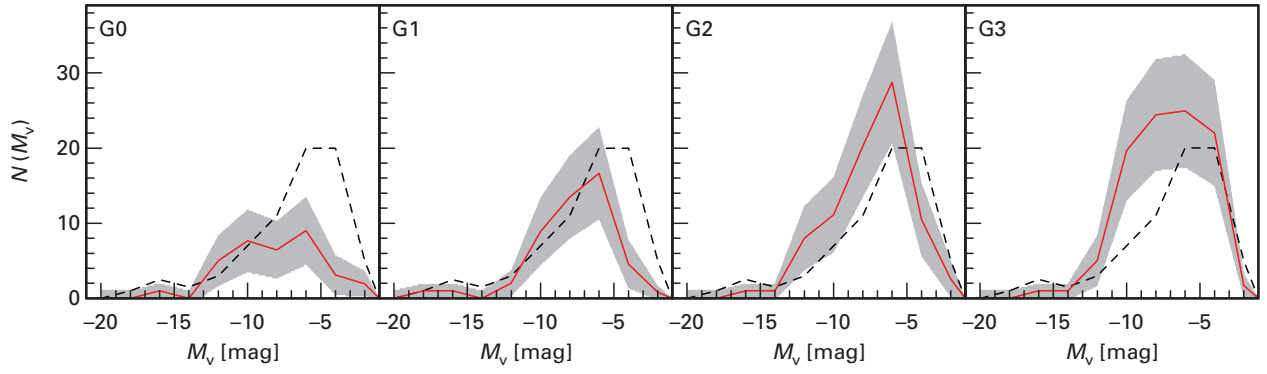


Abb. II.7.2: Vergleich der gemäß den Auswahleffekten der Beobachtung modifizierten Ergebnisse der Modellrechnungen (rote Kurven mit schattiertem Fehlerbereich) mit den Rohdaten aus dem SDSS (schwarze gestrichelte Kurven). Für die vier

Modell-Halos G0 ... G3 ist die Anzahl der Zwerggalaxien in Abhängigkeit von ihrer Helligkeit aufgetragen. Es wurde das semi-analytische Modell K 09 verwendet.

zu flach und enthält deutlich weniger leuchtschwache Satelliten als der Milchstraßenhalo. Dagegen liefern die semianalytischen Modelle für den massereichsten Halo (G3, mit $M = 2,63 \times 10^{12}$ Sonnenmassen) mehr Satelliten aller Leuchtkräfte als im Milchstraßensystem beobachtet. Dieser Zusammenhang zwischen der Masse des zentralen Halos und der Leuchtkraft der Zwergsatelliten hängt nicht von der Wahl des semianalytischen Modells ab und zeigt, dass die Gesamtmasse des zentralen Halos für Form und Eichung der Leuchtkraftfunktion entscheidend ist.

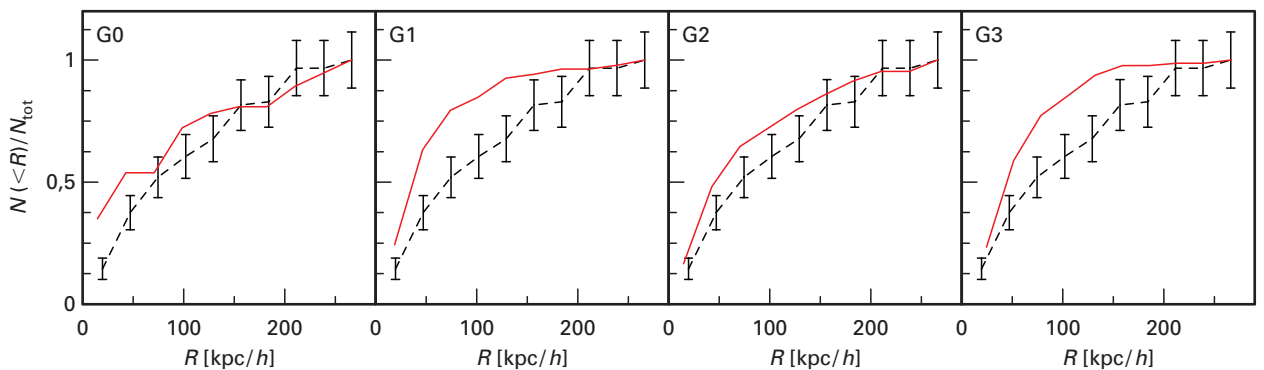
Alle drei hier betrachteten semianalytischen Modelle liefern Leuchtkraftfunktionen in recht guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen. Die semianalytischen Modelle K 09 und S 09 (obere und mittlere Zeile in Abb. II.7.1) reproduzieren die Beobachtungen im gesamten Leuchtkraftbereich $-2 \text{ mag} \geq M_v \geq -16 \text{ mag}$ gut; bei Morgana (untere Zeile) gibt es einen leichten Überschuss im mittleren Bereich.

Die empirische Leuchtkraftfunktion der Zwerggalaxien war unter bestimmten Annahmen über deren radiale Verteilung um die Hauptgalaxie aus den SDSS-Daten abgeleitet worden. Zudem wirken auf die Beobachtungen eine Reihe von Auswahleffekten, die bei der Ableitung der empirischen Leuchtkraftfunktion aus den Rohdaten

des SDSS berücksichtigt werden müssen. Der Vergleich der Modellrechnungen mit den Beobachtungen lässt sich auch so durchführen, dass man die Modellrechnungen diesen Auswahleffekten unterwirft und dann das Ergebnis direkt mit den Rohdaten des SDSS vergleicht, wobei auch die Gültigkeit der angenommenen radialen Verteilung der Zwerggalaxien überprüft wird. Ein solcher direkter Vergleich ist in Abb. II.7.2 dargestellt. Er zeigt abermals, dass die semianalytischen Modelle für die Halos G0 ... G2 gute Übereinstimmung liefern, während beim massereichen Halo G3 ein mäßiger Überschuss an lichtschwachen Zwerggalaxien auftritt.

Die radiale Verteilung der Zwerggalaxien in den vier Modellhalos im Vergleich mit dem aus den SDSS-Daten abgeleiteten Verlauf zeigt Abb. II.7.3. Offenbar reproduzieren die Simulationen bei den Modellhalos G0 und G2 sowohl die Steigung als auch die Absolutwerte der empirischen Daten gut – deutlich besser als bei G1 und G3. Das Ergebnis bestätigt im Wesentlichen auch die bei der

Abb. II.7.3: Die kumulative Anzahl der Zwerg-Satelliten in Abhängigkeit von ihrem Abstand vom Zentrum der Galaxis. Beobachtungen: schwarze gestrichelte Kurven mit Fehlerbalken; semi-analytisches Modell K 09: rote durchgezogene Kurve.



Ableitung der empirischen Leuchtkraftfunktion angenommene radiale Verteilung der Zwerggalaxien um das Milchstraßensystem.

Die Rolle einzelner Prozesse

Welche Rolle spielen die in den semianalytischen Modellen berücksichtigten physikalischen Prozesse für die Form und den Absolutwert der theoretisch berechneten Leuchtkraftfunktion und insbesondere für die Entstehung der ultraschwachen Zwerggalaxien? Die Auswirkung von drei Prozessen auf die beschriebenen Modellrechnungen sei hier kurz vorgestellt: 1. Kosmische Reionisation der Halos kann die Akkretion des Gases frühzeitig unterdrückt haben; 2. Ursprünglich größere Subhalos können durch Gezeitenkräfte aufgerieben worden sein; 3. Supernova-Explosionen können das Gas aus den Halos entfernt und so eine weitere Sternbildung verhindert haben. Durch Variieren der entsprechenden Modellparameter lässt sich die Bedeutung der einzelnen Prozesse für die Leuchtkraftfunktion abschätzen.

Kosmische Reionisation. Es ist nach wie vor ungewiss, in welcher Epoche das Aufleuchten hochenergetischer Strahlungsquellen im jungen Universum zur kosmischen Reionisation geführt hat. Zudem handelte es sich um einen inhomogenen Prozess, welcher in der Lokalen Gruppe zu einer anderen Zeit stattgefunden

haben kann als im Mittel des gesamten Universums. Deshalb wurden hier drei verschiedene Annahmen zur Epoche der Reionisation geprüft: a) es hat keine Reionisation gegeben; b) sehr frühe Reionisation bei $z_r = 17$; c) spätere Reionisation bei $z_r = 7,5$ – dieser Wert wurde für alle oben vorgestellten Modellrechnungen angenommen. Ohne jede Reionisation kann das heiße Gas durch atomare Linienemission effizient abkühlen und jeder Subhalo kann in kurzer Zeit viel Gas akkretieren und in Sterne umwandeln, bevor die ersten Supernovae aufleuchten, die eine Gaszufuhr unterbinden und weitere Sternbildung verhindern. Unter dieser Voraussetzung entstehen viele Satelliten mittlerer Leuchtkraft ($-15 \text{ mag} < M_V < -6 \text{ mag}$). Wird die Reionisation in Rechnung gestellt, so steht weniger Gas für Kühlung und Sternbildung zur Verfügung und es entstehen mehr massearme Zwerggalaxien und weniger Zwerggalaxien mittlerer Masse. Abb. II.7.4 zeigt die Auswirkung der Reionisation auf die Leuchtkraftfunktion unter den beschriebenen Annahmen am Beispiel eines der untersuchten Modelle. Die beste Übereinstimmung ergibt sich für $7,5 < z < 11$.

Gezeitenreibung. Die Auflösung der Zwerggalaxien aufgrund der Gezeitenreibung im Halo des Milchstraßensystems wird in den semianalytischen Modellen durch den Parameter f_{dis} beschrieben. Ein dunkler Subhalo gilt als vollständig aufgerieben, wenn seine Masse kleiner oder gleich der Masse ist, die ursprünglich inner-

Abb. II.7.4.: Die Leuchtkraftfunktion der Zwergsatelliten für den Halo G1, berechnet nach dem semi-analytischen Modell K08 unter drei verschiedenen Annahmen für die Epoche der Reionisation. Der Fall $z = 7,5$ wurde für alle Modellrechnungen angenommen.

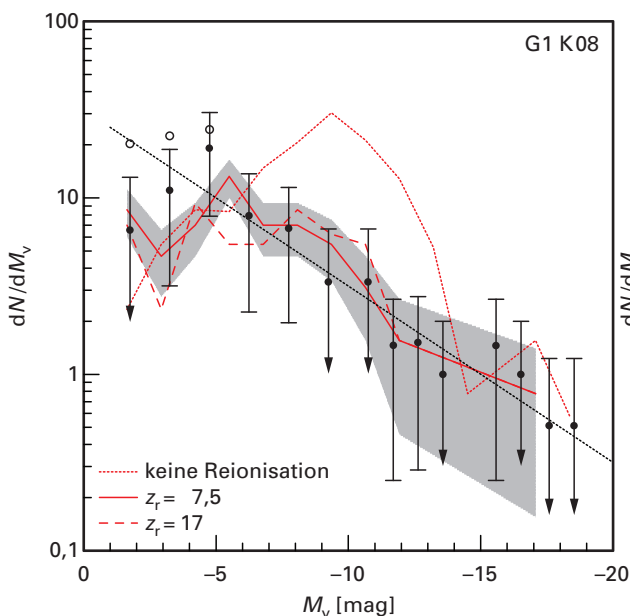
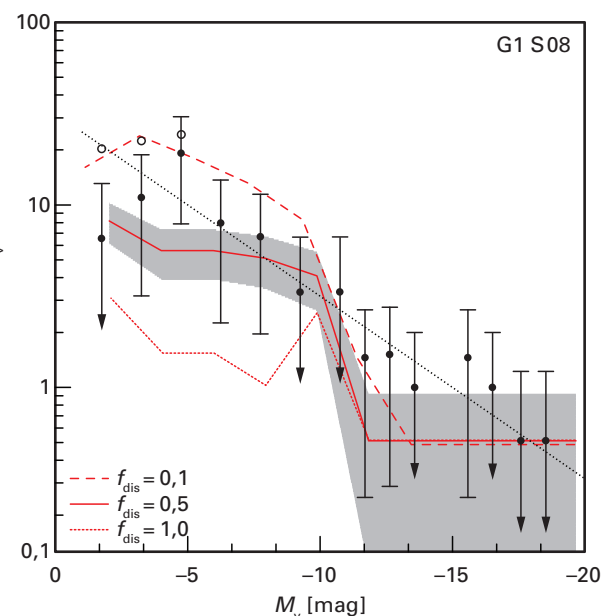


Abb. II.7.5.: Der Einfluss der Gezeitenreibung auf das untere Ende der Leuchtkraftfunktion ist stark, wie diese Rechnung für den Halo G1 und das semianalytische Modell S08 demonstriert. Für den Parameters f_{dis} , der die Gezeitenreibung beschreibt, werden drei verschiedene Werte angenommen.



halb des Radius $f_{\text{dis}} r_s$ lag, wobei r_s der ursprüngliche Skalenradius des Subhalos ist. Abb. II.7.5 zeigt an einem Beispiel, dass je nach Wahl des Parameters f_{dis} das untere Ende der Leuchtkraftfunktion um bis zu einem Faktor 10 variieren kann. Die beste Übereinstimmung mit den Beobachtungen ergibt sich je nach Modell für $f_{\text{dis}} = 0,1 \dots 0,5$.

Supernova-Explosionen haben einen starken Einfluss auf den Ablauf der Sternbildung in Zwerggalaxien. Der Vergleich von Modellrechnungen mit und ohne Berücksichtigung der Supernovae zeigt, dass ohne Supernovae zu wenige lichtschwache Satelliten ($M_V > -5$) entstehen, während sich bei mittleren Leuchtkräften ($-15 \text{ mag} < M_V < -10 \text{ mag}$) ein Überschuss ergibt. Ähnlich wie die Reionisation, verschieben die Supernovae die Galaxien mittlerer Leuchtkraft zum schwachen Ende der Leuchtkraftfunktion.

Insgesamt bestätigt und erweitert die hier vorgestellte Untersuchung frühere Arbeiten zum theoretischen Problem der »fehlenden Satelliten«. Ihr wesentlicher Fort-

schritt besteht in der Verknüpfung von numerisch hoch aufgelösten Entwicklungsmodellen der dunklen Halos mit semianalytischen Modellen zur Beschreibung der physikalischen Prozesse in der normalen Materie. Damit konnte gezeigt werden, dass im Rahmen des Λ -CDM-Szenarios das komplexe Zusammenspiel wohl bekannter und wohl begründeter astrophysikalischer Prozesse die aus den Beobachtungsdaten abgeleitete Form der Leuchtkraftfunktion der Zwerggalaxien im Halo unserer Galaxis über sechs Größenordnungen der Leuchtkraft hinweg in natürlicher Weise erklärt. Das Problem der »fehlenden Satelliten« besteht nicht länger.

*Andrea Macciò, Xi Kang, Fabio Fontanot,
Rachel Someville, Sergey Koposov,
in Zusammenarbeit mit:
Pierluigi Monaco,
INAF – Osservatorio Astronomico, Trieste.*

II.8 Die Bedeutung der Zusammenstöße von Galaxien für die Sternentstehung im Kosmos

Wenn große Galaxien einander nahe kommen, lösen die dabei auftretenden Gezeitenkräfte in den beteiligten Systemen heftige großräumige Sternbildungsaktivität aus. Aber dieser spektakuläre Prozess spielt für die Bildung neuer Sterne insgesamt keine allzu bedeutende Rolle: Wie eine internationale Studie unter Leitung des MPIA gezeigt hat, wurde in massereichen Galaxien während der letzten acht Milliarden Jahre (bei Rotverschiebungen $z < 1$) die Bildung von weniger als zehn Prozent aller neuen Sterne unmittelbar durch gravitative Wechselwirkung ausgelöst. Dieses empirische Ergebnis hat für die Theorie der Galaxienentwicklung große Bedeutung.

Gravitative Wechselwirkungen und Verschmelzungen von Galaxien können die Sternbildungsaktivität in den beteiligten Systemen dramatisch verstärken. Dies zeigen alle bei Rotverschiebungen $z < 1$ untersuchten Fälle, bei denen die Morphologie der beteiligten Systeme im visuellen Spektralbereich noch erkennbar ist. Die ultraleuchtkräftigen Infrarotgalaxien, in denen die stärksten Ausbrüche von Sternbildungsaktivität im nahen Kosmos beobachtet werden, sind in Wahrheit fast ausnahmslos verschmelzende Galaxienpaare oder Mehrfachsysteme. Von großem theoretischem Interesse sind aber nicht so sehr diese spektakulärsten Fälle, als vielmehr die mittlere Verstärkung der Sternbildungsaktivität, gemittelt über sämtliche bedeutenderen Fälle von Wechselwirkung oder Verschmelzung innerhalb einer gegebenen Population. Der starke Abfall der kosmischen Sternentstehungsrate während der letzten acht Milliarden Jahre verlief parallel zur Abnahme der Häufigkeit naher Begegnungen zwischen Galaxien. Diese Beobachtung fände ihre natürliche Erklärung, wenn tatsächlich ein Großteil der Sternentstehung durch solche Begegnungen ausgelöst würde.

Es wird seit langem vermutet, dass elliptische und linsenförmige Galaxien aus der Verschmelzung von Spiralgalaxien entstehen, und in allen hierarchischen Modellen der Galaxienentwicklung spielen solche Verschmelzungsprozesse eine wichtige Rolle. In den Modellrechnungen führt die gravitative Wechselwirkung der Galaxien zu einer Verstärkung der Sternbildungsrate und spielt daher eine Schlüsselrolle für die Beschreibung der chemischen Entwicklung der Sternpopulationen in Galaxien. Für die Auswahl der richtigen theoretischen Beschreibung der Galaxienentwicklung muss demnach die Bedeutung der gravitativen Wechselwirkung zwischen benachbarten Galaxien für die Sternbildungsrate empirisch ermittelt werden.

In der hier beschriebenen Studie wurde eine statistische Analyse der Eigenschaften einer vollständigen Stichprobe massereicher Galaxien ($M_* > 2 \times 10^{10} M_\odot$) bei Rotverschiebungen im Bereich $0,4 < z < 0,8$ durchgeführt, unter Berücksichtigung aller Phasen gravitativer Wechselwirkung zwischen Galaxien mit stellaren Komponenten vergleichbarer Masse (Massenverhältnis 1 : 1 bis 1 : 4). Zwei Schlüsselfragen wurden behandelt: Wie groß ist die mittlere Verstärkung der Sternbildungsrate in Abhängigkeit vom gegenseitigen Abstand wechselwirkender Galaxien? Und welcher Anteil der Sternbildungsaktivität wird direkt durch gravitative Wechselwirkung und Verschmelzung der Galaxien ausgelöst?

Die Stichprobe und ihre Analyse

Die in dieser Studie untersuchten Galaxien bilden eine wohldefinierte, innerhalb eines gegebenen kosmischen Volumens vollständige Stichprobe aus der schon früher am MPIA durchgeführten photometrischen Durchmusterung COMBO-17 – diese besteht aus der vollständigen Überdeckung eines vollmondgroßen Himmelsausschnitts mit breit- und schmalbandigen Aufnahmen in 17 Farben vom UV (Wellenlänge 350 nm) bis zum nahen Infrarot (930 nm). Im COMBO-17-Feld liegen auch die mit dem Weltraumteleskop HUBBLE durchgeführten Durchmusterungen GEMS und STAGE, sodass auch diese hochauflösenden Aufnahmen mit herangezogen werden konnten. Auch das Weltraumteleskop SPITZER hat das Feld im mittleren und fernen Infrarot beobachtet.

Aus den COMBO-17-Daten waren die Rotverschiebungen der Galaxien und die Massen ihrer stellaren Komponenten bereits bestimmt worden. So konnte das untersuchte Volumen durch die Beschränkung auf Galaxien mit Rotverschiebungen im Intervall $0,4 < z < 0,8$ definiert werden. Um den Einfluss der Sternbildungsaktivität auf die Zusammensetzung der Stichprobe zu minimieren, wurden die 2551 Galaxien der Stichprobe allein aufgrund der Masse ihrer stellaren Komponente ausgewählt: Sie sollte mindestens 20 Milliarden Sonnenmassen betragen. Zur Untersuchung der Verstärkung der Sternentstehungsrate durch gravitative Wechselwirkung wurden nur Galaxienpaare ähnlicher Masse betrachtet – d. h. solche, deren Massenverhältnis im Intervall 1 : 1 bis 1 : 4 liegt.

Ein Maß für die Sternbildungsrate der Galaxien ist deren UV-Helligkeit, denn sie stammt von den massereichen, kurzlebigen, und deshalb soeben entstandenen

Sternen. Aber wo viele Sterne entstehen, gibt es auch viel Staub, der deren UV-Strahlung absorbiert und dadurch erwärmt wird. Die Wärmestrahlung des Staubes ist also ein Maß für die vom Staub verschluckte UV-Strahlung. Deshalb wurde die Sternbildungsrate der Galaxien aus einer Kombination aus ihrer UV-Helligkeit und ihrer IR-Helligkeit abgeleitet, wobei neben den COMBO-17-Daten auch die SPITZER-Photometrie bei $24\,\mu\text{m}$ und $83\,\mu\text{m}$ Wellenlänge herangezogen wurden. Aus den UV- und Infrarothelligkeiten wurden die Sternbildungsraten aufgrund von Modellrechnungen anderer Autoren abgeleitet. Die Verfälschung dieser Ergebnisse durch die thermische Emission möglicher von aktiven Galaxienkernen aufgeheizter Staubmassen wurde sorgfältig abgeschätzt und – da sie allerhöchstens 10 Prozent beiträgt – vernachlässigt.

Eine Verstärkung der Sternbildungsrate kann in allen Phasen der gravitativen Wechselwirkung zwischen Galaxienpaaren (gegenseitiger Abstand kleiner als 2 Bogensekunden oder 15 Kiloparsec, etwa 50 000 Lichtjahre) auftreten, vom ersten nahen Vorbeiflug bis zum endgültigen Verschmelzen. Um auch die engsten Phasen der Wechselwirkung zu berücksichtigen, wurden zur morphologischen Charakterisierung der Objekte und schließlich zur Bestimmung der Sternbildungsraten neben der COMBO-17-Durchmusterung auch die Hubble-

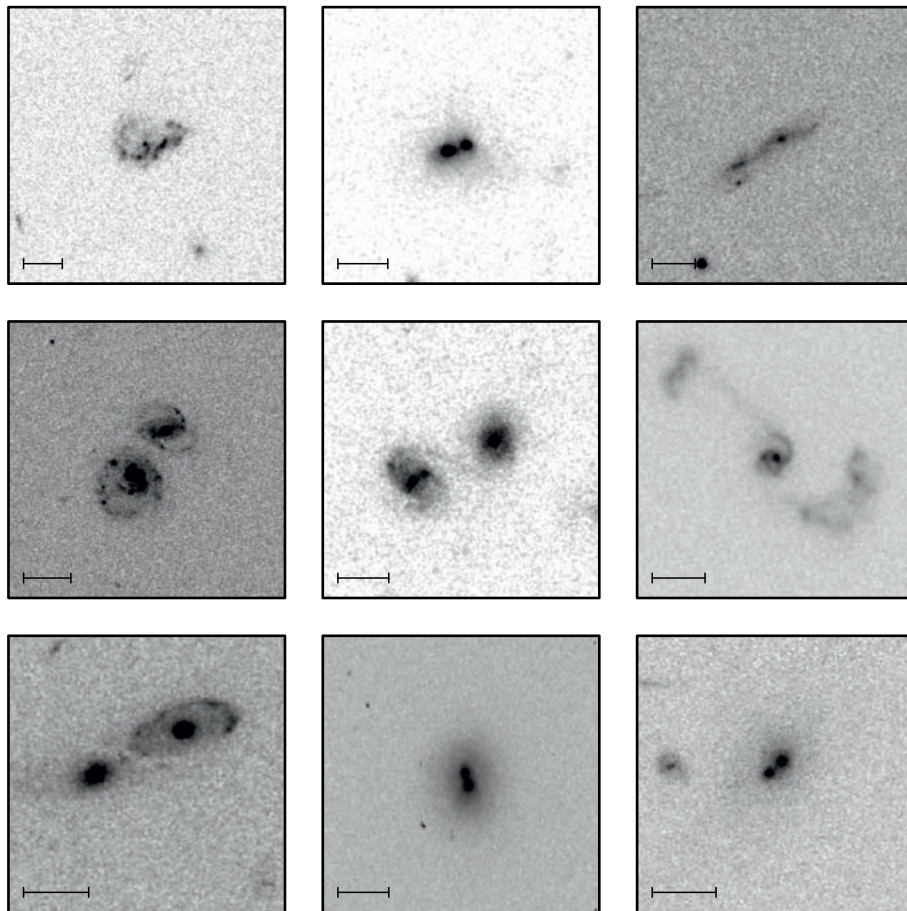
Durchmusterungen GEMS und STAGES herangezogen. Dabei war eine visuelle Klassifikation dieser Objekte erforderlich. Die 2551 Galaxien der Stichprobe wurden auf die drei folgenden Klassen verteilt:

1. Objekte ohne erkennbare Anzeichen für gravitative Wechselwirkungen mit benachbarten Galaxien. Dazu gehören auch asymmetrische, irreguläre Galaxien mit stochastisch verteilter, durch interne Prozesse ausgelöster Sternbildungsaktivität. (Insgesamt 2380 Objekte)

2. Bedeutende enge Begegnungen: Das sind Galaxienpaare, die zwar nicht auf COMBO-17-, wohl aber auf Hubble-Aufnahmen räumlich getrennt erscheinen, und deren Massenverhältnis im Bereich zwischen 1 : 1 und 1 : 4 liegt. (Insgesamt 106 Objekte; Beispiele zeigt Abb. IV.8.1.)

3. Größere Verschmelzungsprodukte: Galaxien, deren Morphologie Hinweise auf eine kürzlich stattgefundene Verschmelzung zweier ähnlich massereicher Galaxien

Abb. II.8.1: Objekte der Klasse 2 – bedeutende enge Begegnungen zwischen größeren Galaxien ähnlicher Masse (geschätztes Massenverhältnis $M_1/M_2 = 1 : 1$ bis $1 : 4$). In diesem Stadium der gravitativen Wechselwirkung sind die Galaxien auf den gezeigten hoch aufgelösten Hubble-Aufnahmen noch getrennt erkennbar. Der schwarze Balken entspricht am Ort der Galaxie einem Abstand von 20 Kiloparsec.



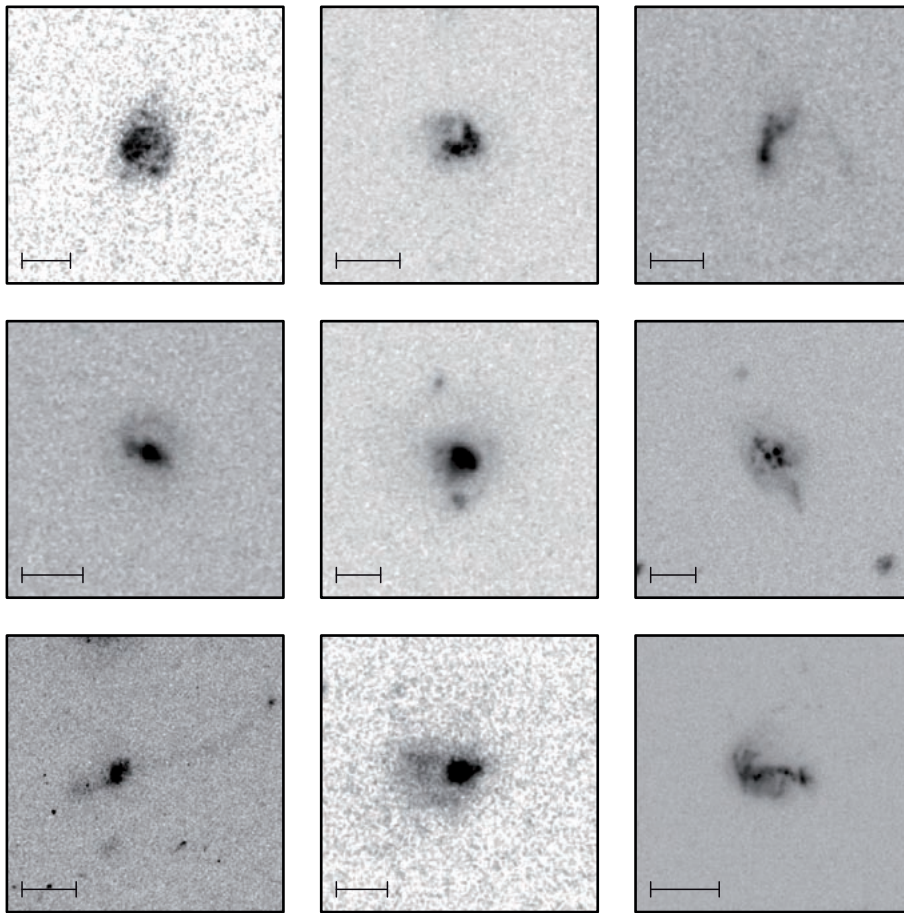


Abb. II.8.2: Objekte der Klasse 3 – Größere Verschmelzungsprodukte. Der schwarze Balken entspricht am Ort der Galaxie einem Abstand von 20 Kiloparsec.

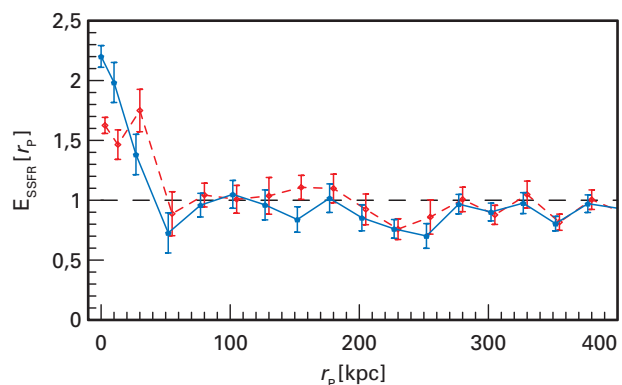
enthält. Typische Merkmale sind: eine hochgradig gestörte Morphologie, zwei Kerne vergleichbarer Helligkeit, oder Gezeitenarme ähnlicher Länge. (Insgesamt 72 Objekte; Beispiele zeigt Abb. IV.8.2.)

Die wahren (nicht die an den Himmel projizierten) Abstände der Objekte der ersten Klasse zu den anderen Galaxien der Stichprobe können nur statistisch ermittelt werden. Den Paaren der Klasse 2 wurde ein gegenseitiger Abstand von 10 Kiloparsec, und den Verschmelzungsprodukten der Klasse 3 ein Abstand von null Kiloparsec zugeordnet.

Damit lagen die photometrisch bestimmten Sternbildungsrate aller Galaxien der Stichprobe und ihre gegenseitigen Abstände vor. Aus diesem Datensatz wurde die mittlere Abhängigkeit der Sternbildungsrate vom gegenseitigen Abstand möglicher Paare abgeleitet, zum einen für alle Paare, in denen mindestens eine Galaxie Anzeichen für Sternbildungsaktivität zeigt, zum anderen für solche Paare, in denen beide Komponenten Sternbildungsaktivität zeigen. Das Ergebnis ist in Abb. II.8.3 dargestellt: In beiden Fällen ist für gegenseitige Abstände kleiner als 40 Kiloparsec eine deutliche Verstärkung der Sternbildungsaktivität erkennbar, und zwar im Mittel um einen Faktor 1,5 bis 1,8.

Der so bestimmte Verstärkungsfaktor für die Sternbildungsaktivität der Galaxien in Abhängigkeit vom Abstand

Abb. II.8.3: Die mittlere Verstärkung der Sternbildungsaktivität in Paaren von Galaxien in Abhängigkeit vom gegenseitigen Abstand. Blaue Symbole: alle Paare, in denen mindestens eine Galaxie Sternbildungsaktivität zeigt; rote Symbole: Paare mit Sternbildungsaktivität in beiden Komponenten. Die Messpunkte bei $r_p = 0$ und $r_p = 10$ Kiloparsec wurden für die morphologisch ausgewählten Objekte der Klassen 2 und 3 abgeleitet.



zu ihren Nachbarn ermöglicht nun die Abschätzung des Effekts bezogen auf die Sternbildung in allen Galaxien der vorliegenden Stichprobe. Es ergibt sich, dass nur etwa 8 Prozent der Sternbildungsaktivität im Rotverschiebungsintervall zwischen $z = 0,4$ und $z = 0,8$ direkt durch »bedeutende Verschmelzungsprozesse« der hier betrachteten Art ausgelöst werden. Entsprechend der beobachteten Abnahme der Häufigkeit dieser Verschmelzungen während der letzten 8 Milliarden Jahre (von $z = 1$ bis in die Gegenwart, $z = 0$) würde das bedeuten, dass bei $z = 1$ etwa 14 bis 18 Prozent aller Sternbildung in Galaxien durch gravitative Wechselwirkungen der hier betrachteten Art ausgelöst wurden, während es heute nur noch etwa 1 bis 2 Prozent sind.

Andererseits ergibt sich aus der hier vorgestellten Untersuchung, dass die stärksten, tief in dichte Staubwolken eingebetteten Sternbildungsepisoden in den meisten Fällen in verschmelzenden Galaxien stattfinden. Dieser Befund ist dann mit der geringen mittleren Verstärkung durch gravitative Wechselwirkung verträglich, wenn die stärksten Ausbrüche der Sternbildungsaktivität nur jeweils etwa 100 Millionen Jahre andauern.

*Aday R. Robaina, Erik Bell, Rosalind Skelton,
Anna Gallazzi, Knud Jahnke,
Klaus Meisenheimer, Ramin Skibba,
in Zusammenarbeit mit:
University of Massachusetts,
University of Missouri,
Space Telescope Science Institute,
Purple Mountain Observatory,
University of Portsmouth,
University of Waterloo (Canada),
École Polytechnique de Lausanne,
Universität Innsbruck, AIP Potsdam,
McDonald Observatory, University of Nottingham,
University of British Columbia,
University of Texas at Austin, Eso Garching,
Steward Observatory,
Herzberg Institute of Astrophysics,
Centro Astronomico Hispano-Aleman de Calar Alto,
University of Edinburgh, University of Oxford.*

III. Ausgewählte Forschungsgebiete

III.1 Gas in protoplanetaren Scheiben

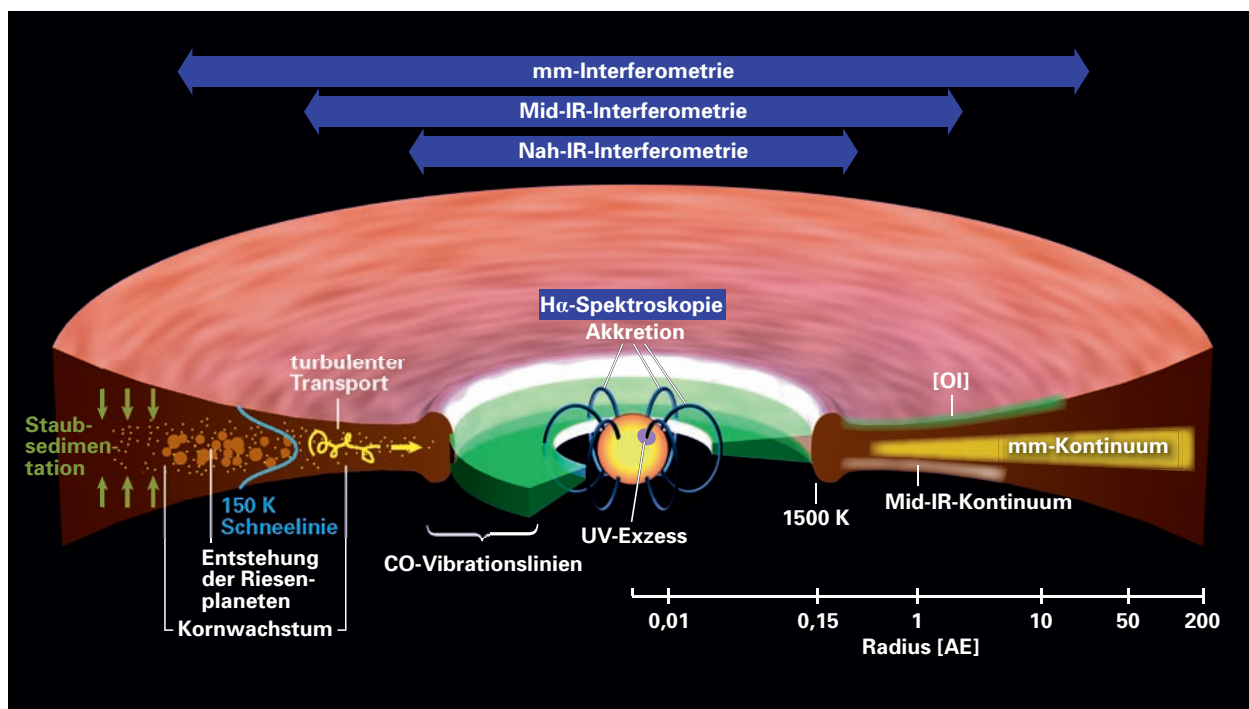
Hier berichten wir über aktuelle Fortschritte bei unseren Untersuchungen des Gases in zirkumstellaren Scheiben im Rahmen verschiedener am Institut laufender Projekte. Diese Scheiben sind ein kurzlebiges Nebenprodukt der Sternentstehung: In ihrem Inneren herrschen für kurze Zeit die Bedingungen, unter denen sich Planetensysteme bilden.

Die Scheiben um neu entstandene Sterne bestehen aus einem Gemisch aus Gas und festen Partikeln, die man als »Staub« bezeichnet. Das Gas macht den Großteil der Scheibenmasse aus. Der Staub ist allerdings aufgrund seiner hohen Opazität wesentlich einfacher zu beobachten. Das Gas ist vergleichsweise transparent und insbesondere sein Hauptbestand, molekularer Wasserstoff (H_2), ist aufgrund der Symmetrie des Moleküls fast unsichtbar. Gemeinsam mit dem noch schwieriger nachweisbaren Helium (He) macht Wasserstoff fast 98 Prozent der Masse einer protoplanetaren Scheibe aus. Die restlichen 2 Prozent verteilen sich etwa zu gleichen Teilen auf sonstige gasförmige Spezies und Staub. Weil die verschiedenen gasförmigen Spezies gut gemischt sind, können wir »Tracer-Moleküle« mit starken Spektrallinien als Indikatoren verwenden, um die Merkmale des gesamten Gases zu untersuchen.

In zirkumstellaren Scheiben wurde eine Fülle gasförmiger Spezies gefunden, die Wichtigsten sind Kohlenmonoxid (CO) und Wasser (H_2O). CO und seine Isotope sind die am häufigsten verwendeten Gasindikatoren. Das funktioniert sehr gut – mit Ausnahme der kältesten Regionen des Scheibeninneren: Bei Temperaturen unterhalb von etwa 20 K fällt CO aus der Gasphase aus und bildet Eisschichten auf den Oberflächen der Staubpartikel: Deshalb ist es kein geeigneter Indikator für die Gasmasse mehr. Wasser friert bereits bei Temperaturen von ~ 150 K aus und bildet Eismäntel um die Staubkörner, was ein Zusammenkleben der Staubkörner fördert, die dann größere Partikel bilden und letztlich als »Keime« der Planetenbildung wirken.

Im interstellaren Raum wurde eine Vielzahl komplexerer Moleküle, etwa Methanol, Methylether und Ameisensäure, entdeckt. Auch ein Vorgänger der Aminosäuren, Aminoacetonitril, sowie der einfachste Zucker, Glykolaldehyd, wurden in Sternentstehungsgebieten

Abb. III.1.1: Diese schematische Darstellung der protoplanetaren Scheibe um einen jungen sonnenähnlichen Stern zeigt, wo in der Scheibe die unterschiedlichen, wichtigen physikalischen Prozesse ablaufen und welche Beobachtungen wir zu deren Analyse nutzen.



gefunden. Protoplanetare Scheiben können eine Vielfalt an präbiotischer Chemie aufweisen. Möglicherweise existierten die einfachsten molekularen Bestandteile des Lebens in der Scheibe rund um die junge Sonne sogar schon vor der Entstehung der Erde.

Als Hauptbestandteil der Scheibe beherrscht das Gas die Kinematik des Scheibenmaterials. Die Scheibenstruktur wird durch ein Wechselspiel von Gas und Staub gesteuert, wobei das Gas mit seinem Druck die Scheibe stabilisiert und der Staub Erwärmung und Abkühlung, und somit auch Temperatur und Druck des Gases regelt. In den Frühphasen des Sternentstehungsprozesses wird ein Großteil der stellaren Masse über die Scheibe akkretiert. Dieser Prozess unterliegt der turbulenten Viskosität des Gases, die wiederum von dessen Ionisationsgrad abhängt. In den späteren Entwicklungsphasen der Scheibe, wenn Planeten entstehen können, setzt sich die Akkretion auf den Stern in einem geringeren Maße fort.

Das Gas ist für den Prozess der Planetenbildung von entscheidender Bedeutung. Es hat eine stark dämpfende Wirkung auf die Relativgeschwindigkeiten kleiner Staubpartikel. Ohne diese Wirkung würden Partikelkollisionen zur Zerstörung statt zur Bildung größerer Aggregate führen. Solche riesigen Staubkornaggregate können in lokalen Gasdruckmaxima eingeschlossen sein, sich dort konzentrieren und kilometergroße Planetesimale bilden. Diese können wiederum zu erdähnlichen Planeten oder – wenn sie hinreichend massereich geworden sind, um gasförmiges Material durch Gravitation aufzusammeln – zu Kernen von Riesenplaneten verschmelzen. Letztere bestehen größtenteils aus Gas und bilden sich vermutlich kurz oberhalb der »Schneelinie«, das heißt in einer Entfernung zum Zentralstern, in der die Temperatur gerade niedrig genug ist, dass Wasser ausfriert und sich Eismäntel um die Staubpartikel bilden. Das Gas ist in der Phase der Planetenbildung das wichtigste Massenreservoir der Scheibe und kann durch gravitative Wechselwirkung starke Drehkräfte auf neu gebildete Planeten oder ihre Bausteine ausüben und deren Migration durch die Scheibe herbeiführen. Die Architektur von Planetensystemen um andere Sterne, die eine erstaunliche Vielfalt aufweist und sich oft von der unseres Sonnensystems unterscheidet, können wir nur verstehen, wenn wir diese Wechselwirkungen zwischen den entstehenden Planeten und dem Gas in den Scheiben verstehen.

Die in Abb. III.1.1 gezeigte schematische Darstellung einer protoplanetaren Scheibe illustriert die relevanten in den verschiedenen Bereichen ablaufenden physikalischen Prozesse und die Beobachtungen, die uns über diese Prozesse Auskunft geben. Die Dimensionen entsprechen denen eines sonnenähnlichen jungen Sterns und seiner Scheibe. Bei entsprechender Skalierung der verschiedenen Regionen beschreiben sie aber qualitativ auch massereichere und masseärmere Objekte. Nahe beim Zentralstern sind die Temperaturen so hoch, dass kein festes Material bestehen kann – hier enthält die

Scheibe nur Gas, das entlang der Magnetfeldlinien, welche die innere Scheibe mit der Sternoberfläche verbinden, auf den Zentralstern herabstürzen kann. Etwas weiter außen fällt die Temperatur unter 1500 K und dem Gas sind auch Staubteilchen beigemischt. Wesentlich weiter draußen fällt die Temperatur unter 150 K und das Scheibenmaterial enthält auch Wassereis, das auf den Staubkörnern auskondensiert. Die inneren Bereiche der Scheibe und bei größeren Radien zumindest auch die Oberfläche der Scheibe sind teilweise ionisiert und deshalb auch turbulent; das wiederum ermöglicht den Drehimpuls-Transport in der Scheibe. Staubteilchen klumpen zu größeren Gebilden zusammen und sinken zur Mittelebene der Scheibe herab, wo sie zu immer größeren Körpern und schließlich zu Planeten heranwachsen.

Die Staubkomponente der Scheibe lässt sich mit Nah-Infrarot-Interferometrie nachweisen und räumlich auflösen; am empfindlichsten ist diese Methode für die heiße innere Scheibe. Interferometrie im mittleren Infraroten erschließt die Scheibenoberfläche in der planetenbildenden Region bis zu einem Radius von etwa 10 AE, und Millimeterwellen-Interferometrie erfasst den größten Teil der Staubmasse in der Scheibenebene. Der Akkretionsprozess kann im Lichte des UV-Exzesses untersucht werden, der an der Stoßfront der Akkretion entsteht, wo das abstürzende Material auf die Sternoberfläche trifft; die Emissionslinien, hauptsächlich $H\alpha$, entstehen in den Akkretionsströmen. Die Kinematik des Scheibenmaterials innerhalb etwa der innersten Astronomischen Einheit lässt sich aus den CO-Rotations-Vibrations-Linien im nahen Infrarot, die Kinematik und die komplexe Chemie des weiter außen befindlichen Scheibenmaterials lassen sich aus den reinen Rotationsübergängen im fernen Infrarot und im Millimeterbereich ableiten.

Im Jahresbericht 2007 präsentierten wir einen umfassenden Beitrag über die »Chemie in protoplanetaren Scheiben«, basierend auf Beobachtungen mit Millimeterinterferometern und Strahlungstransportsimulationen anhand dieser Daten. Der jetzige Beitrag beschäftigt sich mit Ergebnissen aus Beobachtungen im optischen und infraroten Spektralbereich. Auf dem Gebiet der Beobachtungen im Millimeterwellenbereich sowie der Scheibenmodelle, einschließlich Linienstrahlungstransport und chemischer Netzwerke, wurden seither ebenfalls große Fortschritte erzielt (Dutrey et al. 2008; Schreyer et al. 2008; Wiebe et al. 2008; Pavlyuchenkov et al. 2008; Vasyunin et al. 2008, 2009; Henning et al. 2010).

Die innere Scheibenregion

In diesem Abschnitt erörtern wir die Eigenschaften der innersten Scheibenregion in nächster Nähe zum Zentralstern. Insbesondere wollen wir uns mit der Akkre-

tion von Scheibenmaterial auf den Stern befassen, die in den Frühphasen der Vorhauptreihenentwicklung den Aufbau der Masse des Zentralsterns beherrscht und in späteren Phasen erheblich zur Dissipation der Scheibe beitragen dürfte.

Akkretion auf den Zentralstern

Der Nachweis von Akkretion auf den Stern oder die Messung der Akkretionsrate zählt zu den direktesten Möglichkeiten, die gasförmige Komponente der innersten Scheibe – im Abstand von wenigen Sternradien bis etwa 0,1 Astronomischen Einheiten zum Zentralstern – nachzuweisen. Das Vorliegen oder Fehlen von Akkretion liefert uns Informationen über die Prozesse, die zur Scheibendissipation führen, insbesondere in Scheiben mit geringem oder fehlendem IR-Exzess, was auf eine erhebliche Entwicklung der Staubkomponente hinweist. Auch der Gasgehalt der inneren Scheibe wirkt sich auf das Schicksal der Scheibe aus: Wenn die Akkretionsrate (oder die Masse des Gases) unter einen bestimmten Wert fällt, können sich keine Riesenplaneten mehr bilden. Das Vorhandensein von Akkretion lässt sich durch Beobachtung von Hochgeschwindigkeitsflügeln (> 200 km/s) in mehreren optischen und infraroten Emissionslinien, insbesondere den Balmer-Linien des Wasserstoffs, der HeI-Emissionslinie bei 667,8 nm, der CaII H- und K-Linien in nahen Infrarot sowie des CaII-Tripletts nachweisen, die auf den freien Fall des Gases auf die Sternoberfläche hinweisen. Zudem verursacht das akkretierende Material beim Auftreffen auf der Sternoberfläche einen Akkretionsschock und produziert eine zusätzliche, im nahen Infrarotbereich beobachtbare, über das Maß der stellaren photosphärischen Aktivität hinaus gehende Emission, die direkt mit der potentiellen Energie der akkretierten Masse zusammen-

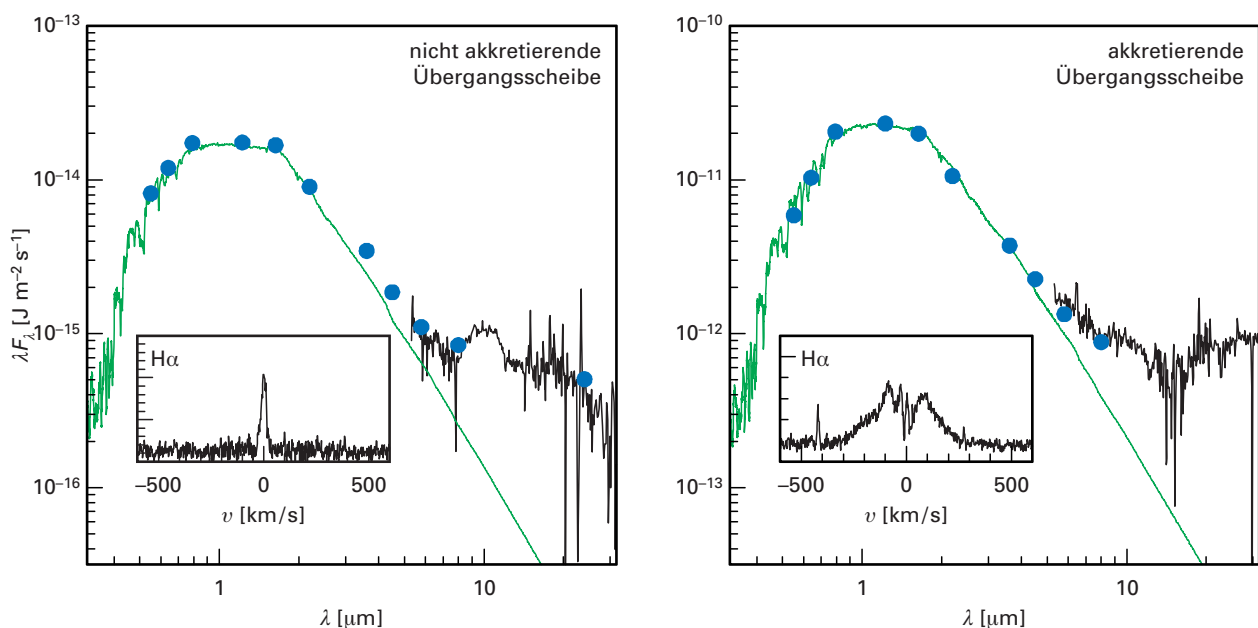
hängen kann. Die Untersuchung statistisch signifikanter Stichproben ermöglicht die Bestimmung der typischen in jungen Objekten beobachteten Akkretionsvariabilität sowie die Ermittlung der Akkretionszeitskalen und der physikalischen Mechanismen, welche die Dissipation der Scheibe im Laufe der Zeit beherrschen.

Im Rahmen mehrerer Projekte unter Federführung des MPIA wurde das Vorhandensein von Akkretion in jungen und entwickelten Scheiben sowie deren zeitliche Entwicklung im Vergleich mit bekannten Staubbissipationsskalen untersucht.

Während aktiv akkretierende Sterne in mehr als 99 Prozent der Fälle eine Infrarot-Exzessemission bei Wellenlängen $> 8 - 24 \mu\text{m}$ aufweisen, was charakteristisch für eine Staubscheibe ist (Sicilia-Aguilar et al. 2006, 2010), gilt nicht zwangsläufig auch das Gegenteil: Nicht alle Objekte mit Infrarot-Exzessemission akkretieren auf nachweisbarem Niveau. Insbesondere zeigt rund die Hälfte der »Übergangsscheibenobjekte«, also der Objekte, die keinen oder einen vernachlässigbaren Nahinfrarot-Exzess aufweisen (siehe Abb. III.1.2), keine Akkretionssignaturen (Sicilia-Aguilar et al. 2006, 2010).

Mit Hilfe der optischen Spektroskopie haben wir das Vorhandensein von Akkretion für eine kleine Stichprobe sonnenähnlicher und massearmer Sterne in unterschiedlichen Haufen im Alter zwischen 1 und 50 Millionen Jahren untersucht. Obwohl rund 20 Prozent der Sterne im Alter von 5 Millionen Jahren (Ma) noch immer ei-

Abb. III.1.2: Beispiele akkretierender und nicht-akkretierender Übergangsscheiben um frühe M-Sterne. Während die spektralen Energieverteilungen annähernd vergleichbar sein können, deutet die spektroskopische Prüfung der möglichen Anwesenheit von Akkretion auf unterschiedliche Entwicklungspfade hin.



nen Nahinfrarot-Exzess aufweisen, akkretieren lediglich 5 Prozent aktiv bei Raten von mehr als $10^{-11} \text{ M}_{\odot}/\text{Jahr}$. Dieser Befund lässt vermuten, dass die Akkretion aufhört, noch bevor der gesamte Staub aus der Scheibe abgezogen wurde. Ausgehend von einem exponentiellen Abfall lägen die charakteristischen Zeitskalen der Staub- und Akkretionsdissipation bei 2,9 bzw. 2,3 Millionen Jahren (siehe Abb. III.1.3). Die Planetenbildung und/oder -migration in der inneren Scheibe könnte das Fehlen von Akkretion in einer Scheibe erklären, die immer noch erhebliche Mengen an Staubmaterial enthält (Fedele et al. 2010).

In einer anderen Studie haben wir die Akkretionsraten und die spektrale Energieverteilung von rund 400 jungen Sternen (1 – 2 Ma) in den Orion-Wolken L 1630 N und L 1641 untersucht (Fang et al. 2009). Das junge Alter der Regionen ermöglicht die Erforschung der Frühphasen der Scheibendissipation und der daran beteiligten Mechanismen. Die Akkretionsraten wurden von dem in mehreren Emissionslinien ($\text{H}\alpha$, $\text{H}\beta$, He I) gemessenen Fluss abgeleitet, sodass eine Messung von Akkretionsraten von gerade einmal etwa $10^{-11} \text{ M}_{\odot}/\text{Jahr}$ für massearme Sterne möglich wurde. Aus dieser Durchmusterung ergaben sich auch Hinweise auf leicht unterschiedliche Zeitskalen für den Abbau des Infrarotexzesses und das Verschwinden der Akkretion, da rund ein Drittel der Objekte mit entwickelten Scheiben

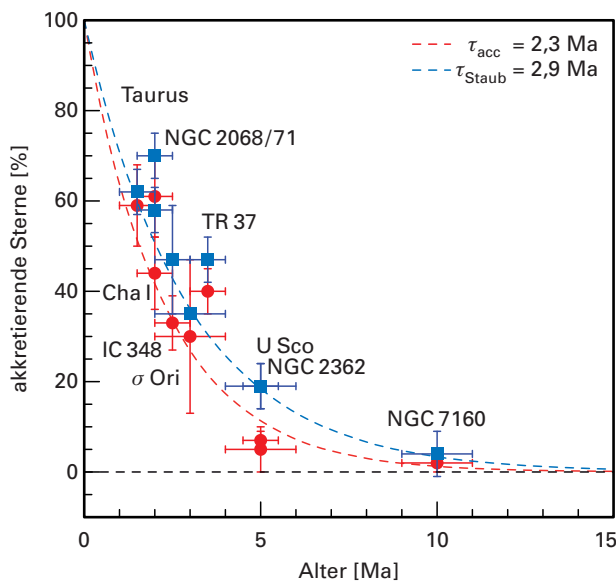
innerhalb der Nachweisgrenzen keine Akkretion aufzuweisen schienen. Das Fehlen sehr junger Scheiben mit zentralen Löchern ließ zudem vermuten, dass die Anwesenheit von Doppelsystemen nicht zu den wichtigsten Gründen für die Bildung von Übergangsscheiben zählen (dies folgt auch aus dem direkten Nachweis von Begleitern in Übergangsscheiben; Pott et al. 2010). Die Scheibendissipation scheint von einem Prozess angetrieben zu werden, der erhebliche Zeit in Anspruch nimmt. Die Bildung von Riesenplaneten erfordert nach dem Kernakkretionsszenario typischerweise 3 – 4 Millionen Jahre (z. B. Mordasini et al. 2009).

Obwohl ein Teil der Objekte mit (nach ihrem IR-Exzess zu urteilen) entwickelten inneren Scheiben nicht akkretieren, besteht kein wesentlicher Unterschied zwischen den Akkretionsraten von Übergangs- und normalen Scheiben. Dies deutet darauf hin, dass ihre Entwicklung – trotz mit der Zeit abnehmender Staubbemission und Gasakkretion – nicht vollständig »synchron« verläuft, da viele Scheiben mit reduzierten oder vernachlässigbaren IR-Exzessen (und deshalb vermutlich mit optisch dünneren inneren Scheiben, bedingt durch Kornwachstum, Beseitigung des Staubes und Bildung von Planetesimalen) immer noch über genügend Gasmasse verfügen, um eine normale Akkretionsrate aufrecht zu erhalten. Die unterschiedlichen Zeitskalen für den Abbau von Staub und Gas könnten bedeutende Folgen für die Planetenbildung haben. So ist beispielsweise die gravoturbulente Planetesimalenbildung bei höheren Staub-Gas-Masseverhältnissen erheblich stärker (Johansen et al. 2009). Zudem setzt die endgültige Entwicklung von Protoplaneten mit $0,1 \text{ M}_{\odot}$ zu erdähnlichen Planeten ein, wenn der dämpfende Einfluss des Gases verschwunden ist. Dies könnte möglicherweise zu einer höheren Stauberzeugungsrate durch Kollisionen führen. Unsere Orion-Durchmusterung ermöglichte es uns auch, die Abhängigkeit der Akkretionsrate von der stellaren Masse zu überprüfen, wobei wir im sub-solaren Massenspektrum eine steilere Beziehung ($\dot{M} \propto M^{2.8}$) als früher vermutet festgestellt haben. Diese Beziehung, die nicht ausschließlich mit der viskosen Entwicklung in Zusammenhang gebracht werden kann, könnte ein Hinweis auf tiefere Unterschiede in der Scheibenstruktur (Akkretionsmechanismus, viskose Zeitskalen, Vorhandensein toter Zonen) sein, die von der Masse des Sterns abhängen, wie bereits von Hartmann et al. (2006) vermutet. Dies ist auch wichtig für die Frage, wie die Masse des Gases in der Scheibe mit der stellaren Masse skaliert. Und dies wiederum wirkt sich stark darauf aus, wie sich Planeten bei verschiedenen Sternen bilden (Ida und Lin 2005).

Gas als Indikator für die Scheibenentwicklung

Mehrere Prozesse könnten zur Scheibendissipation führen, wobei Kornwachstum oder Staubbansammlung in der Äquatorebene, Planetesimalen- oder Planetenentstehung

Abb. III.1.3: Die Zeitskalen für das Verschwinden von gasförmigem Material, indiziert durch Akkretion auf den Zentralstern (*rot*), und für das Verschwinden von Feststoffen (Staubpartikeln), indiziert durch den Infrarot-Exzess (*blau*). Obwohl ca. 20 Prozent der Sterne im Alter von 5 Millionen Jahren Scheibenmerkmale mit IR-Exzess zeigen, weisen nur noch ca. 5 Prozent nach wie vor Akkretion bei messbaren Raten ($> 10^{-11} \text{ M}_{\odot}/\text{Jahr}$) auf.



und die stellare UV-Photoverdampfung wahrscheinlich zu den effizientesten Prozessen bei Einzelsternen zählen. Beobachtungen lassen vermuten, dass alle diese Erscheinungen in gewissem Umfang auftreten. Die relative Bedeutung und das Wechselspiel zwischen den verschiedenen Mechanismen sind jedoch nicht bekannt. Auch laufen diese Mechanismen alle in unterschiedlichen Zeitskalen ab. Außerdem verändert sich ihre Auswirkung auf den Prozess der Scheibenabtragung vermutlich mit der Zeit (Alexander und Armitage 2009), wobei die Planetenbildung während der ersten Millionen Jahre der leitende Mechanismus ist und die Photoverdampfung nach ca. 4 Millionen Jahren eine bedeutende Rolle spielt. Akkretionsmessungen an entwickelten jungen Sternhaufen sind eine wichtige Möglichkeit, die ablaufenden Scheibendissipationsprozesse aufzudecken: Während Wachstum und Sedimentation der Staubteilchen nicht notwendigerweise Einfluss auf den Gasinhalt der Scheibe oder die Akkretion haben müssen, reduziert die Akkretion auf einen Planeten die gesamte Akkretion auf den Stern um bis zu einem Faktor 10 (im Vergleich zu Scheiben ohne Planeten; Najita et al. 2007). Wie viel Gas auf einen Riesenplaneten akkretiert wird und wie viel den Planeten passiert (d. h. durch das zentrale Loch auf den Stern strömt), ist eine entscheidende, unbeantwortete Frage (siehe Lubow und D'Angelo 2006). Nur ein Planet, der einer schnellen, unkontrollierten Gasakkretion unterliegt, ist in der Lage, die stellare Akkretionsrate erheblich zu beeinflussen. Ein erheblicher Einfluss kann erst von einem Planeten von mindestens ca. $30 M_{\odot}$ ausgehen.

Sicilia-Aguilar et al. (2010) nutzten die Exzessmission im U-Band, um die Akkretionsraten in den entwickelten Sternhaufen Tr 37 (mittleres Alter ca. 4 Ma) und NGC 7160 (~ 10 Ma) in der Cep OB-2-Region zu bestimmen. In beiden Haufen weist sowohl die Variation der Schebenhäufigkeit (ca. 50 Prozent für Tr 37, ca. 4 Prozent für NGC 7160) als auch der typischen Anstiegswerte der spektralen Energieverteilung auf eine erhebliche Staubbentwicklung hin. Die gemessenen Akkretionsraten stimmen auch mit einfachen Entwicklungsmodellen für viskose Scheiben überein (siehe Abb. III.1.4). Dennoch zeigt das Vorhandensein nicht-akkretierender Objekte in allen Altersstufen, dass die Entwicklung der Viskosität allein nicht für die beobachteten Akkretionsraten verantwortlich sein kann. Photoverdampfung könnte bei der Beseitigung der Hälfte der Scheibenmasse und beim Einhalt der Akkretion wirksam werden, sobald die Scheibenmasse gering genug ist (Gorti et al. 2009) und eine Erklärung für die schnellere Abnahme der Akkretionsraten in einigen Objekten (möglicherweise diejenigen, deren Scheibenmasse zu Beginn geringer war) liefern. Das Bestehen von Doppelsystemen könnte ebenfalls ein wichtiger Faktor sein, der zur Beschleunigung der Scheibendissipation, zum Ende der Akkretion und zur Planetenbildung beiträgt (Bouwman et al. 2006).

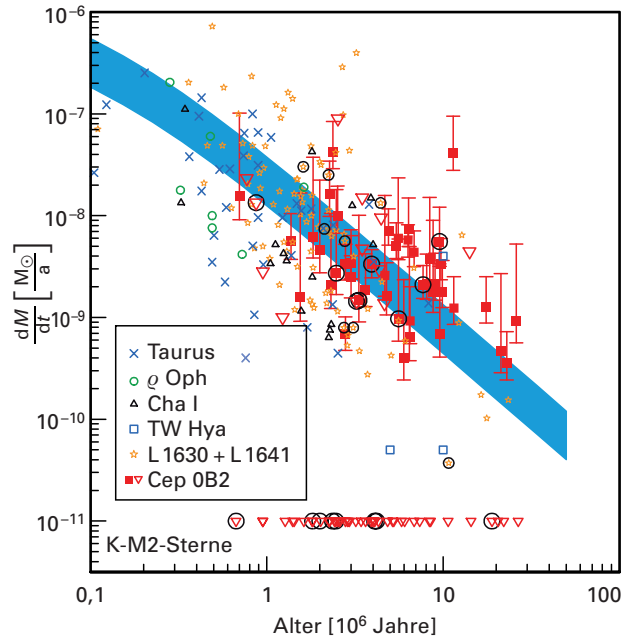


Abb. III.1.4: Die Entwicklung der Akkretionsraten mit zunehmendem Alter in verschiedenen Sternhaufen im Vergleich zu einfachen Modellen der viskosen Entwicklung bei unterschiedlichen anfänglichen Scheibenmassen (blaues Band). Da in allen Altersstufen ein erheblicher Teil der Sterne keine Akkretion zeigt, ist die viskose Entwicklung als einzige mögliche Ursache für die Scheibendissipation unwahrscheinlich. Andere Mechanismen, etwa die Photoverdampfung, sind notwendig, um große Mengen Gas bis zum Alter von 5 – 10 Ma zu entfernen. Die Übergangsobjekte in Cep OB-2 und Orion sind durch große schwarze Kreise gekennzeichnet. Wenn auch viele dieser Objekte nicht akkretieren, weisen die akkretierenden Objekte ähnliche Akkretionsraten auf wie normale Scheiben.

Andererseits zeigte sich bei den neuen Akkretionsraten, dass einige der Scheiben mit normal erscheinender spektraler Energieverteilung (und somit staubreichen inneren Scheiben) sehr geringe Akkretionsraten aufwiesen (wenige $10^{-10} M_{\odot}/\text{Jahr}$), was vermuten lässt, dass Photoverdampfung nicht immer für eine schnelle Auflösung der Scheibe sorgt, sobald ihre Massenakkretionsrate erheblich abgenommen hat. Zudem akkretiert nur noch rund die Hälfte der Übergangsscheiben in Cep OB2, ein etwas geringerer Anteil als in Orion. Dies ist zu erwarten, wenn mehrere physikalische Prozesse zur Entfernung von Material aus dem Innern der Scheibe mit unterschiedlichen Zeitskalen ablaufen. Obwohl keine der Übergangsscheiben hohe Akkretionsraten ($> 10^{-8} M_{\odot}/\text{Jahr}$) aufweisen, bedeutet das Vorhandensein vieler normaler Scheiben mit geringer Akkretion, dass sich die Akkretionsraten von normalen und Übergangsscheiben nicht wesentlich unterscheiden. Dies ist ein weiterer Hinweis auf unterschiedliche Zeitskalen für Staubbentwicklung und Akkretion, was darauf hindeutet, dass akkretierende Übergangsscheiben in einem Alter

von ca. 4 Millionen Jahren wahrscheinlich mit starker Staubkoagulation und -sedimentation assoziiert werden können, was die Nahinfrarotemission reduziert, ohne sich wesentlich auf den Gasinhalt der Scheibe auszuwirken. Eine vergleichbar große Zahl nicht-akkretierender Übergangsscheiben könnte – in Übereinstimmung mit theoretischen Modellen – durch Photoverdampfung und/oder Bildung von Riesenplaneten erklärt werden (Alexander und Armitage 2009).

Gas in der planetenbildenden Scheibenregion

Während wir im vorausgehenden Abschnitt die Merkmale der Scheibe im Bereich der zentralen AE sowie den Prozess der Akkretion auf den Zentralstern erläutert haben, wollen wir uns jetzt der Oberflächenschicht der Scheibe in etwas größeren Abständen vom Stern, nämlich im Bereich zwischen einer Astronomischen Einheit und etwa 10 – 20 AE, widmen. Die Planeten bilden sich in diesen Abständen – so wird vermutet – in der Scheibenmittelebene. Die beobachtbaren Merkmale des Gases in den Oberflächenschichten lassen Rückschlüsse auf wichtige Randbedingungen für den Planetenbildungsprozess zu. Die Flächendichte von Gas- und Staub, die Verteilung und Skalenhöhe der Temperatur und ihre Entwicklung mit der Zeit fließen direkt in die Gleichungen ein, mit denen Planetenwachstum und Migration beschrieben werden (z. B. Alibert et al. 2005).

Der Ursprung der [Ne II]-Emission in Vorhauptreihensternen

Die Bestrahlung der Oberflächen zirkumstellarer Scheiben mit hochenergetischen Photonen vom Zentralobjekt oder von Sternen in unmittelbarer Nähe spielt eine entscheidende Rolle für die Scheibenchemie sowie für die Dissipation protoplanetarer Scheiben durch Photoverdampfung. Unsere Erkenntnisse über diese Prozesse stützen sich in hohem Maße auf die Möglichkeit, die Intensität der extrem ultravioletten (EUV) und Röntgenstrahlungsfelder auf der Scheibenoberfläche zu messen. Allerdings lässt sich die energetische Strahlung oft nur schwer beobachten, da sie von zirkumstellarem oder Vordergrundmaterial stark absorbiert wird. Insbesondere die EUV-Strahlung wird bereits durch Wasserstoffgas geringer Säulendichte entlang des Sehstrahls stark geschwächt.

Die Feinstrukturlinie des ionisierten Neon bei $12,81\ \mu\text{m}$ wurde kürzlich als potentieller Indikator für energiereiche Strahlung in jungen stellaren Objekten vorgeschlagen. Mit einem ersten Ionisationspotential von 21,6 eV benötigt Neon tatsächlich EUV- oder Röntgenstrahlen für die Photoionisation. Nach der ersten Ionisation muss Ne^+ auf $\geq 1000\ \text{K}$ erwärmt werden, um die Emission der [Ne II]-Linie bei $12,81\ \mu\text{m}$ anzuregen. Diese verbotene Linie ist ein Indikator für Gas niedriger Dichte.

Die [Ne II]-Linie bei $12,81\ \mu\text{m}$ wurde in Infrarotspektren junger stellarer Objekte entdeckt, und zwar sowohl bei welt-raumgestützten Beobachtungen mit Iso (van den Ancker et al. 1999) als auch bei bodengestützten Beobachtungen (z. B. Herczeg et al. 2007; van Boekel et al. 2009; Najita et al. 2009; Pascucci und Sterzik 2009). Beobachtungen mit dem empfindlichen IRS-Spektrographen des Weltraumteleskops SPITZER haben die Zahl der YSOs, bei denen [Ne II] entdeckt wurde, von einer Hand voll auf mehrere Dutzend erhöht (z. B. Lahuis et al. 2007; Pascucci et al. 2007).

Zahlreiche theoretische Untersuchungen haben die beobachtete [Ne II]-Emission den dünnen Oberflächenschichten der Scheiben oder den langsamen, durch Photoverdampfung ausgelösten Scheibenwinden zugeschrieben, wobei das Gas ionisiert und durch Röntgen- oder EUV-Strahlen vom Zentralstern erwärmt wird (Glassgold et al. 2007; Meijerink et al. 2008; Gorti und Hollenbach 2008; Hollenbach und Gorti 2009; Alexander 2008; Schisano et al. 2010). Die [Ne II]-Emission könnte jedoch auch in starken Stoßfronten bei Geschwindigkeiten von $70 - 100\ \text{km s}^{-1}$ erzeugt werden (Hollenbach und McKee 1989). Auch die in Richtung auf YSOs beobachtete [Ne II]-Emission wurde mit Hochgeschwindigkeitsschocks in ihren Jets erklärt (van den Ancker et al. 1999). Die verfügbaren weltraumgestützten Beobachtungen liefern Linienflüsse, sind aber von unzureichender räumlicher Auflösung für eine Unterscheidung zwischen Scheiben- und Jet-Ursprung der [Ne II]-Emission und von unzureichender spektraler Auflösung für eine kinematische Zuordnung der Emission zu einer Scheibenoberfläche, einem Scheibenwind oder einem Jet. Der Zusammenhang zwischen der beobachteten [Ne II]-Emission und den lokalen energetischen Strahlungsfeldern in jungen Sternsystemen bleibt unklar.

Zur Erweiterung der Erkenntnisse über den [Ne II]-Emissionsprozess sind derzeit zwei gangbare Ansätze bekannt, die beide von MPIA-Wissenschaftlern verfolgt werden: (1) detaillierte Beobachtungen einzelner Objekte mit hoher räumlicher und spektraler Auflösung, und (2) solide statistische Analysen, wobei die [Ne II]-Linienflüsse systematisch mit Röntgeneigenschaften, Abflussindikatoren usw. verglichen werden.

In Bezug auf den erstgenannten Ansatz haben wir eine detaillierte Untersuchung an einem prototypischen massereichen YSO durchgeführt: dem Dreifachstern T Tauri. In seiner Entfernung von $\sim 148\ \text{pc}$ (Loinard et al. 2007) bietet dieses System aus mehreren Gründen besonders geeignete »Laborbedingungen«: Es enthält mindestens drei junge Sterne innerhalb der zentralen Bogensekunde, jeweils mit Infrarot-Exzessemission durch zirkumstellares Material, wobei es sich bei mindestens einem Stern (T Tau N) auch um eine starke Röntgenstrahlenquelle handelt (Güdel et al. 2007). Die beiden südlichen Infrarotsterne, Sa und Sb, sind wahrscheinlich ebenfalls bedeutende Röntgenquellen, erleiden aber eine starke Extinktion von $\sim 15\ \text{mag}$ (Duchêne et al. 2005), sodass ihre Röntgenstrahlung nicht beobachtbar ist. Das System emittiert mindestens zwei bekannte

Jets, die eine mehrere Bogensekunden ausgedehnte Emission von stoß-angeregtem Gas verursachen (Herbst et al. 1997). Das System zeigt in weltraumgestützten Beobachtungen eine sehr starke [Ne II]-Emission (van den Ancker et al. 1999; Ratzka et al. 2009), die weder spektral, noch räumlich aufgelöst und deshalb keiner physikalischen Komponente zugeschrieben werden konnte.

Wir haben mit VISIR am VLT eine hochauflösende Spektroskopie des T-Tauri-Systems durchgeführt. Dazu verwendeten wir drei Langspaltspektren. Die Spalte wurden so platziert, dass sie die Scheiben aller drei Komponenten sowie die wesentlichen Anteile der ausgedehnten stoß-angeregten Emission erfassten. Unsere Messungen haben eine räumliche Auflösung von $\sim 0''.4$ und eine spektrale Auflösung $R \approx 30\,000$. Die [Ne II]-Linie wurde im gesamten System nachgewiesen. Die hellste [Ne II]-Emission entsteht in einer räumlich aufgelösten, etwa $1''.1$ oder 160 AE großen, auf den südlichen Doppelstern zentrierten Komponente. Sie ist wesentlich größer als jede der beiden Scheiben im engen südlichen Doppelsternsystem, die aufgrund der gravitativen Wechselwirkung zwischen Sa und Sb auf einen Radius von etwa 5 AE begrenzt ist. Wir fanden zudem eine mehrere Bogensekunden ausgedehnte, im Norden rot- und im Süden blauverschobene [Ne II]-Emission. Wir schreiben den Großteil der [Ne II]-Emission im System einem Jet zu, der vom südlichen Objekt ausgeht. Aus unseren Daten können wir nicht direkt ermitteln, ob dieser Jet von Sa oder von Sb ausgeht, aber anhand der Indizien ist Sa wahrscheinlicher (van Boekel et al. 2010). An der Position des röntgenhellen T Tau N entdeckten wir eine stark blauverschobene [Ne II]-Emission, die wir der auf uns zu kommenden Seite des vom nördlichen Stern ausgehenden Jets zuschreiben. Ein geringfügiger Beitrag der Scheibenoberfläche des T Tau N kann nicht ausgeschlossen werden. Die [Ne II]-Emission im T-Tau-System wird allerdings vollständig durch die Ausflüsse und nicht durch von Scheibenoberflächen emittierte Röntgen- oder EUV-Strahlen angeregt.

Gemäß dem zweiten Ansatz haben wir alle verfügbaren, mit dem SPITZER-Teleskop gewonnenen Infrarotspektren und alle mit CHANDRA und XMM erhaltenen Röntgendaten erneut analysiert und den ersten umfassenden Vergleich zwischen der [Ne II]-Emission von T-Tauri-Sternen und ihren Röntgenmerkmalen durchgeführt. Unsere Stichprobe bestand aus 92 Vorhauptreihensternen, darunter 13 Übergangsscheibenobjekte und 14 Quellen, die für ihre starken Ausflüsse bekannt sind. Unsere Analyse ergab, dass in den Quellen ohne starke Jets eine positive Korrelation zwischen Röntgen-Leuchtkraft und [Ne II]-Emission besteht, was mit einfachen Berechnungen der [Ne II]-Emission von Scheibenoberflächenschichten übereinstimmt, die mit hochenergetischen Photonen von der Zentralquelle bestrahlt werden. Es besteht eine starke Streuung um die durchschnittliche Beziehung, die auf von Quelle zu Quelle unterschiedliche Eigenschaften der Scheiben und des Strahlungsspektrums zurückgeführt werden könnte, wie bereits früher vermutet wurde.

In Einzelfällen haben Beobachtungen mit hoher spektraler Auflösung tatsächlich den Ursprung der [Ne II]-Emission in den Scheiben oder in dem langsamen Scheibenwind bestätigt (Herczeg et al. 2007; Pascucci und Sterzik 2009). Wir haben festgestellt, dass die bekannten Jet-Quellen eine systematisch um eine oder zwei Größenordnungen überhöhte [Ne II]-Emission aufweisen.

Wir kommen zu dem Schluss, dass die in YSO-Systemen beobachtete [Ne II]-Emission tatsächlich stark mit den lokalen hochenergetischen Strahlungsfeldern zusammenhängt und von den Scheibenoberflächen oder durch Photoverdampfung erzeugten Winden ausgeht. Allerdings wird die [Ne II]-Emission in Quellen mit hohen Akkretionsraten und damit assoziierter starker Ausflussaktivität vollständig vom Jet dominiert und hängt nicht direkt mit der Röntgen- oder EUV-Leuchtkraft zusammen.

Das reichhaltige Fern-Infrarot-Molekülspektrum von HD 100546 – eine Beobachtung mit HERSCHEL

HD 100546 ist einer der nächstgelegenen und hellsten Herbig-AeBe-Sterne und lässt sich deshalb außerordentlich detailliert untersuchen. Er ist 103 Parsec entfernt und mit einem geschätzten Alter von ca. 10 Ma (van den Ancker et al. 1997) relativ alt. Auf der Grundlage seiner spektralen Energieverteilung, die ein tiefes Minimum bei $10\,\mu\text{m}$ und einen steilen Anstieg zu größeren Wellenlängen hin aufweist, wurde das Vorhandensein einer großen Öffnung in der Scheibe angenommen, die möglicherweise mit einem Riesenplaneten, der sich in einer Umlaufbahn in rund 10 AE Entfernung vom Zentralstern befindet, zusammenhängt (Bouwman et al. 2003; Acke und van den Ancker 2006).

Aus dem Iso-Spektrum lässt sich im Bereich von $10\text{--}400\,\mu\text{m}$ eine reichhaltige Silikatmineralogie mit starken Emissionsbanden von kristallinen Silikaten ableiten, insbesondere des magnesiumreichen Olivin, das als Forsterit bezeichnet wird (Malfait et al. 1998). Das Forsterit-Band bei $69\,\mu\text{m}$, das relativ kühles Material zu enthalten scheint und ein guter Indikator für Temperatur und Eisengehalt des kristallinen Materials ist, wurde ebenfalls entdeckt, konnte aber aufgrund der begrenzten Iso-Empfindlichkeit nicht gut charakterisiert werden. Die Quelle weist eine starke Emission von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAHs) sowie eine starke [OI] $63\,\mu\text{m}$ - und eine schwächere [CII] $145\,\mu\text{m}$ -Linie auf. Ein Hinweis auf kaltes Wassereis ist bei 43 und $60\,\mu\text{m}$ im Iso-Spektrum von HD 100546 gegeben. Im Nahinfrarotbereich ist ein reiches Spektrum an CO-Rotations-Vibrations-Emissionslinien zu erkennen (van der Plas et al. 2009). Reine Rotationsübergänge von CO wurden bei Millimeterwellenlängen festgestellt, was für eine warme Molekülschicht in der äußeren Scheibe (> 50 AE) mit Temperaturen von mindestens 50 K spricht (Panic et al. 2010).

Im Rahmen des großen HERSCHEL-Beobachtungsprogramms »Dust, Ice and Gas in Time« (DIGIT) wurde der gut untersuchte HAEBE-Stern HD 100546 mit HERSCHELs PACS-Instrument (Photodetector Array Camera and Spectrometer) beobachtet. Bei den langen Wellenlängen, bei denen HERSCHEL arbeitet, haben wir die kalten Scheibenregionen untersucht, in denen die Eis-/Schneelinie verläuft. Riesenplaneten stammen vermutlich im Normalfall aus Regionen knapp außerhalb der Schneelinie (siehe z. B. Ida und Lin 2004).

Mit Hilfe des SED-Modus von PACS wurde ein vollständiger Scan des Spektrums von 55 bis 210 μm durchgeführt. Dabei wurde eine riesige Zahl schmaler, von CO, H₂O und OH stammender Molekülgaslinien entdeckt. Verbotene Emissionslinien der Ionen [CII] und [OI] wurden ebenfalls nachgewiesen. Es wurde ein detailliertes Profil der 69- μm -Signatur des Forsterits mit hoher Genauigkeit vermessen. Sein Ursprung könnte entweder 50 – 70 K warmes Material in der äußeren Scheibenregion (bei ca. 30 AE) mit einer kleinen Beimischung von 2 – 3 Prozent Eisen sein, oder reines Forsterit (100 Prozent Mg, kein Fe) bei einer Temperatur von ca. 200 K, das sich in der Scheibenmittelebene oder in ihrer Nähe nahe am Außenrand des Scheibenlochs bei etwa 13 AE befindet.

Im PACS-Spektrum von HD 100546 wurden im Bereich von 55 – 210 μm insgesamt 32 Gaslinien entdeckt, einschließlich siebzehn reiner CO-Rotationsübergänge von $J = 14 - 13$ bis $J = 31 - 30$, sieben OH-Linien und fünf Wasserlinien. Die große Zahl von CO-Linien im High-SNR-Modus erlaubt die Erstellung eines Rotationsdiagramms. Eine einzelne Temperatur von $T = 580 \pm 14$ K ergibt eine relativ schlechte Übereinstimmung mit den Daten. Ein Zweitemperaturmodell dagegen liefert eine wesentlich bessere Übereinstimmung, wobei die niedrigeren Rotationsübergänge bis $J = 22 - 21$ zu einer Temperatur $T = 300 \pm 12$ K passen. Die höheren Übergänge erfordern eine höhere Temperatur $T = 800 \pm 100$ K, was den Zusammenhang mit dem Hochtemperaturgas im innersten Teil der Scheibe herstellt, das mit der Nahinfrarotspektroskopie entdeckt wurde.

Die Entwicklung zirkumstellarer Scheiben in Gas und Staub

Alle jungen Sterne sind in den Frühphasen ihrer Vorhauptreihenentwicklung von zirkumstellaren Scheiben umgeben. Die Scheiben beherrschen die spektrale Energieverteilung der Systeme von Infrarot- bis Millimeter-Wellenlängen. Sie dissipieren im Laufe mehrerer Millionen Jahren. Die physikalischen Mechanismen, welche die Scheibendissipation vorantreiben, sind bisher aber kaum beschrieben. Die am häufigsten vermuteten Mechanismen sind Akkretion auf den Zentralstern, Photoverdampfung durch UV-Strahlung vom Zentralstern oder von nahe gelegenen heißen Sternen, und Planetenbildung.

Während das Gas schätzungsweise 99 Prozent der Scheibenmasse ausmacht, wird die Opazität des Schei-

benmaterials vom Staub beherrscht. Demzufolge hat die Verteilung der Staubteilchen die stärkste Auswirkung auf die beobachtete spektrale Energieverteilung (SED). Die Beobachtungen deuten darauf hin, dass sich der Staub in den Außenbereichen der Scheibe durch Sedimentation von einer zunächst aufgeweiteten zu einer flacheren Verteilung entwickeln (Meeus et al. 2001). In einer späteren Phase dissipieren die staubigen Scheiben von innen her, was durch den Nahinfrarot-Exzess belegt wird, der sich vor dem Verschwinden des Ferninfrarot-Exzesses verliert. Die Gasverteilung beeinflusst die SED weniger stark, es gibt aber zahlreiche Möglichkeiten, die Gasmenge direkt einzugrenzen: Millimeter-Rotationslinien als Nachweis für das Gas im Scheibeninneren, Nahinfrarot-Rotations-Vibrationslinien als Nachweis für heißes Gas in den inneren Scheibenregionen, optische Linien wie beispielsweise die [OI] 630,0 nm-Linie als Beleg für dünnes Gas in den Scheibenoberflächenschichten und Emission von PAH-Teilchen, die so leicht sind, dass sie gut an das Gas koppeln können und im Gegensatz zum Staub nicht sedimentieren.

In einer mit dem Weltraumteleskop SPITZER durchgeführten Studie haben Wissenschaftler des MPIA die Gas- und Staubeigenschaften von Scheiben um junge, sonnenähnliche Sterne (Spektraltyp K1-M5) im Vergleich zu den Merkmalen von Scheiben um masseärmere Sterne und Braune Zwerge (M5-M9) untersucht. Die Analyse hochwertiger Spektren von mehr als 60 Quellen ergab wesentliche Unterschiede in der Entwicklung sowohl der Staub- als auch der Gaskomponenten zwischen zwei Untergruppen der Stichprobe (Pascucci et al. 2009): Riesenplaneten kommen bei M-Sternen seltener vor als bei F-, G- und K-Sternen. Eine Untersuchung der Scheibeneigenschaften als Funktion der Masse des Zentralsterns wird uns vielleicht zeigen, wie sich die Planetenentstehung bei unterschiedlichen Sternen vollzieht.

Zum ersten Mal wurden organische Moleküle in Scheiben um Braune Zwerge entdeckt. Die Entdeckungsraten und die Linienflussverhältnisse von HCN und C₂H₂ zeigen eine auffällige Differenz zwischen den beiden Stichproben, die bei massearmen Objekten eine erhebliche Unterhäufigkeit von HCN gegenüber C₂H₂ an der Scheibenoberfläche ergeben. Wir bringen dies mit dem wesentlich geringeren UV-Fluss in Zusammenhang, der auf die Scheibenoberflächen massearmer Objekte einwirkt. Zudem sind die Staubemissionsspektren beider Objektkategorien unterschiedlich: Masseärmere Objekte zeigen schwächere Silikatmerkmale und stärker prozessiertes Material. Ob dies ein Hinweis auf eine tatsächlich unterschiedliche Staubbzusammensetzung in der Scheibenoberflächenschicht oder einfach ein Zeichen für die unterschiedliche Bestrahlung der Scheiben ist (bei massearmen, lichtschwachen Objekten beobachten wir in den SPITZER-Spektren nur einen Bruchteil der zentralen AE der Scheibe, während wir bei den sonnenähnli-

chen Objekten eine Region in der Größenordnung mehrerer AE sehen), bleibt zu untersuchen.

Unsere Ergebnisse werfen ein Schlaglicht auf die enormen Unterschiede in der chemischen und physikalischen Entwicklung protoplanetarer Scheiben als Funktion von Masse, Temperatur und Strahlungsfeld des Zentralsterns. Diese Faktoren sollten bei Planetenentstehungsmodellen Berücksichtigung finden. Wir stellen fest, dass die unterschiedliche Chemie des präplanetaren Materials in der Scheibe auch die Gesamtzusammensetzung und den flüchtigen Anteil der entstehenden Planeten beeinflussen kann. Insbesondere wenn auf der Erde exogenes HCN eine entscheidende Rolle bei der Synthese präbiotischer Moleküle gespielt hat, wie angenommen wird, könnte sich die präbiotische Chemie auf den Planeten kühler Sterne abweichend entfalten.

In einer anderen Studie wollten wir die Verteilung von Gas und Staub in der Planetenentstehungsregion der Scheiben um die drei Herbig-Ae-Sterne HD 179218, HD 135344 und HD 101412 untersuchen.

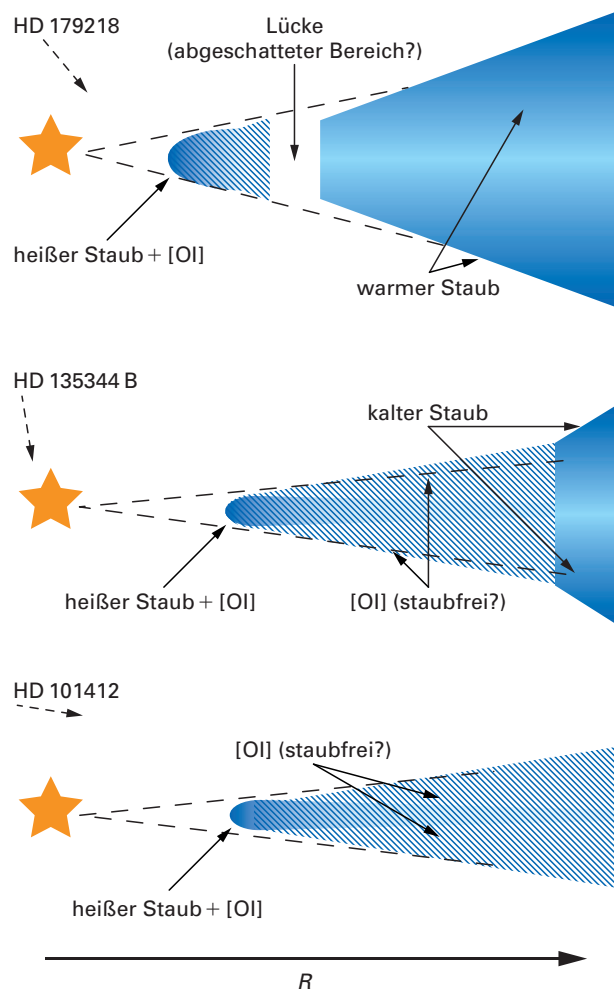
Die Verteilung des Gases lässt sich über die [OI]-Emissionslinie bei 630,0 nm verfolgen, die vermutlich in den dünnen oberen Schichten einer Scheibe in keplerscher Rotation entsteht, wie an den typischen »doppelköpfigen« Linienprofilen festgestellt (van der Plas et al. 2008). Wenn wir dieses Argument umkehren, können wir mit der Annahme einer Scheibe in keplerscher Rotation die Strahlungsintensitätsverteilung der [OI]-Emission aus der hochauflösenden Spektroskopie ableiten. Die Emission in der Nähe des Linienzentrums weist auf relativ weit vom Stern entfernte langsam rotierende Regionen hin. Die breiten Linienflanken entstehen im schnell bewegten Material in der Nähe des Zentralsterns. Kurz: Die hohe spektrale Auflösung wird verwendet, um ein hohes räumliches Auflösungsvermögen zu erreichen. Wir haben mit Hilfe von UVES am Very Large Telescope hochgenaue Spektren aller drei Objekte mit einer spektralen Auflösung $R \approx 77\,000$ aufgenommen.

Die Staubverteilung innerhalb der innersten ca. 20 AE der Herbig-Ae-Sternscheiben lässt sich anhand ihrer Wärmeemission im Spektralbereich um $10\,\mu\text{m}$ verfolgen. Mit dem MIDI-Instrument am VLT-Interferometer haben wir diese Emission direkt räumlich aufgelöst. Die gemessenen Visibility-Werte passen zu einer Kombination aus einer zentralen, unaufgelösten Punktquelle und einem oder zwei gleichförmigen Ringen. Die zur Anpassung dieses Modells an die Daten verwendeten Parameter sind die Innen- und Außenradien der Ringe und die relativen Flussanteile der verschiedenen Komponenten. Zwar handelt es sich bei solchen Modellen um sehr stark vereinfachte Darstellungen der tatsächlichen Intensitätsverteilung in zirkumstellaren Scheiben. Dennoch repräsentieren sie die Hauptkomponenten, wie sie in ausgearbeiteten Strahlungstransportmodellen der Scheiben zu sehen sind, und reproduzieren in adäquater Weise den Großteil der räumlichen Informationen, die in den von MIDI gemessenen Visibility-Amplituden enthalten sind.

HD 101412 und HD 135344 zeigen eine kompakte ($< 2\text{ AE}$) Emission bei $10\,\mu\text{m}$, während das [OI]-Helligkeitsprofil zwei Maxima aufweist. Das innere Maximum ist am stärksten und fällt räumlich mit der Kontinuums-Emission des Staubes zusammen. Das äußere Maximum ist schwächer und liegt bei $5 - 10\text{ AE}$. In beiden Systemen ist eine räumlich ausgeweitete PAH-Emission festzustellen. HD 179218 zeigt eine doppelringförmige $10\,\mu\text{m}$ -Emission, wobei der erste Ring sein Maximum bei $\sim 1\text{ AE}$ und der zweite bei $\sim 20\text{ AE}$ hat. Die [OI]-emittierende Region ist kompakter und hat ihr Maximum zwischen 3 und 6 AE .

In Abb. III.1.5 haben wir die Geometrie aller drei Objekte skizziert, wie wir sie aus den UVES- und MIDI-Beobachtungen abgeleitet haben. Die Verteilung des Gases in den Scheiben um HD 101412 und HD 135344 erscheint stark aufgeweitet, aber der Staub liegt jenseits von $\sim 2\text{ AE}$ im eigenen Schatten. Der Unterschied in der vertikalen Struktur von Gas und Staub jenseits von 2 AE

Abb. III.1.5: Skizzen der Gas- und Staubverteilung in drei Herbig Ae-Sternen. Die gestrichelten Pfeile markieren die Richtung der Sichtlinie.



könnte der erste beobachtete Nachweis einer Gas-Staub-Entkopplung in protoplanetaren Scheiben sein. In der Scheibe um HD 179218 ist die Staubkomponente aufgeweitet. Die 10- μm -Emission geht vom inneren Rand und von der aufgeweiteten Oberfläche der Scheibe bei größeren Radien aus. Zwischen 3 und 15 AE ist keine Staubemission zu erkennen. Die Sauerstoffemission scheint ebenfalls aus einer aufgeweiteten Struktur zu stammen, wobei jedoch der Großteil dieser Emission zwischen 1 und 10 AE erzeugt wird. Dies könnte einen Mangel an Gas in der äußeren Scheibe bedeuten, oder mit chemischen Einflüssen zusammenhängen, welche die Häufigkeit des OH – des Ausgangsmoleküls der beobachteten [OI]-Emission – in größerer Entfernung zum Stern reduziert. Es könnte sich auch um einen Kontrasteffekt handeln, falls die [OI]-Emission in der inneren Scheibe sehr viel stärker ist. Wir vermuten, dass die drei Systeme (HD 179218, HD 135344 und HD 101412) eine Entwicklungsfolge darstellen: Die ursprünglich aufgeweitete Scheibe verflacht sich unter dem kombinierten Einfluss von Gas-Staub-Entkopplung, Körnerwachstum und Staubsedimentation.

Eine ähnliche Untersuchung haben wir für den Herbig-Ae-Stern HD 95881 durchgeführt, wobei wir die Gas- und Staubverteilung in der Scheibe mit Hilfe von Daten aus verschiedensten Instrumenten kartiert haben: Infrarotspektroskopie vom SPITZER/IRS, Infrarotspektroskopie und Bildgebungsverfahren von VLT/VISIR, Nahinfrarotinterferometrie von VLT/AMBER, Mittelinfrarotinterferometrie von VLT/MIDI und hochauflösende, optische Spektroskopie der [OI]-Linie von VLT/UVES.

Dem gleichen Ansatz wie in der früheren Untersuchung folgend wurde die [OI]-Emission als Annäherungswert für die Gasverteilung verwendet. In den SPITZER- und

VISIR-Spektren wurde eine Emission von PAHs, gut an das Gas gekoppelten Makromolekülen, entdeckt. In den VISIR-Daten sind die PAHs räumlich aufgelöst. Sie wurden als zusätzlicher Indikator für die Gasverteilung verwendet. Die in den SPITZER- und VISIR-Daten sowie in den interferometrischen Daten von AMBER und MIDI entdeckte Kontinuumsemission zeichnet im Wesentlichen die Staubemission nach. Diese Daten wurden mit Hilfe des MCMAX-Codes auf ein 2D-Strahlungstransportmodell übertragen, wobei gleichzeitig die spektrale Energieverteilung sowie alle Daten zur räumlichen Auflösung reproduziert werden konnten.

Wir kommen zu dem Schluss, dass die aus dem Staubkontinuum abgeleitete Form der Scheibe um HD 95881 stark abgeflacht erscheint – höchstwahrscheinlich auf Grund von Staubsedimentation. Dagegen weist die Verteilung des Gases nach wie vor eine aufgeweitete Geometrie auf. Dies erinnert stark an die Situation der Scheibe um HD 101412, wie sie sich aus der oben erläuterten, weniger detaillierten Untersuchung ergab. Wir schließen daraus, dass sich HD 95881 in einer Übergangsphase von einer gasreichen, aufgeweiteten Scheibe zu einer gasarmen, selbst beschatteten Scheibe befindet (Verhoeff et al. 2010).

*Thomas Henning, Aurora Sicilia-Aguilar,
Roy van Boekel, Christoph Mordasini,
Bernhard Sturm, Jeroen Bouwman,
Min Fang, Davide Fedele.*

*In Zusammenarbeit mit:
Manuel Güdel, Fred Lahuis, Ilaria Pascucci,
Arjan Verhoeff, Rens Waters, Michiel Min
und dem DIGIT-Team.*

III.2 Frühphasen der Entstehung massearmer Sterne

Die Geburt sonnenähnlicher Sterne lässt sich am besten in unscheinbaren, isolierten Dunkelwolken beobachten. Wir berichten über vier Untersuchungen solcher Objekte, die sich über drei Größenordnungen der Wellenlänge erstrecken und viele unterschiedliche Beobachtungstechniken nutzen. Sie erhellen unterschiedliche Aspekte der Frühstadien im Entstehungsprozess massearmer Sterne und zeigen, dass eine einzige Technik allein nie so leistungsstark sein kann wie die hier eingenommene vollständigere Sichtweise

Massearme Sterne sind die im Universum am häufigsten zu findenden Sterne. Trotz ihrer relativ hohen Zahl bleiben aber wesentliche Aspekte der Frühphasen ihrer Entstehung verborgen, weil sie von riesigen Staubmengen umhüllt sind und sich ihre Entstehung innerhalb kurzer Zeit und in komplexen, chaotischen Abläufen vollzieht, wie sie in dicht gedrängten Regionen vorherrschen können. Während größere sternerzeugende Komplexe sich gut untersuchen lassen, etwa was die relative Bedeutung von Turbulenz und Magnetfeldern für die Gestaltung der Massenfunktion der Wolkenkerne und für den Ursprung des Massenspektrums von Sternen betrifft, lassen sich viele Schwierigkeiten bei der Untersuchung detaillierter Eigenschaften einzelner Kerne zum Teil durch die Beobachtung relativ nahe gelegener und isolierter Sternentstehungsregionen, etwa der Bok-Globulen, bewältigen. Diese kleinen, kompakten Dunkelwolken be-

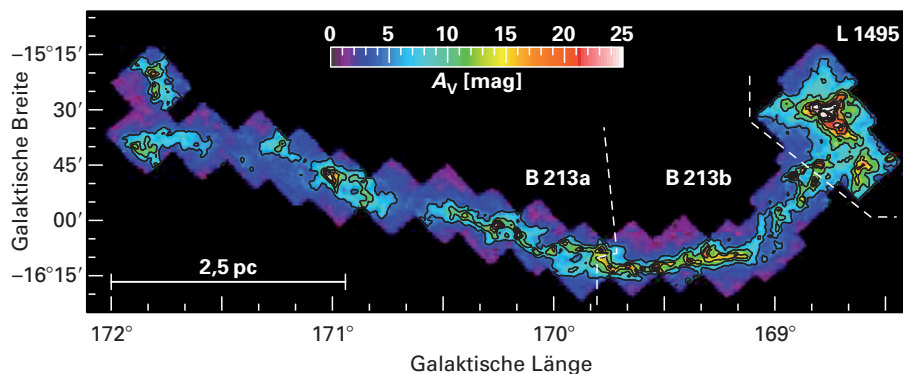
finden sich oft in den filamentartigen Randbezirken größerer Molekülwolkenkomplexe und enthalten meistens nur einen einzigen sternbildenden Kern. Um ihr sternerzeugendes Potential und die Anfangsbedingungen zu untersuchen, die zum protostellaren Kollaps führen, haben wir eine große Zahl von Globulen auf Anzeichen der Sternentstehung, Entwicklungsstadium, chemische Entwicklung, kinematische Struktur und Fragmentierung hin untersucht, wobei wir als Indikationen z. B. die Extinktion im nahen und mittleren Infrarot, die thermische Staubemission bei Infrarot- und Millimeter-Wellenlängen sowie verschiedene Moleküllinien verwendet haben.

Was uns die Extinktion von Sternlicht durch Staub über Molekülwolken verraten kann

Extinktionskarten im nahen Infrarot (NIR) sind ein Instrument zur unverfälschten Untersuchung der Struktur von Molekülwolken, da die Eigenschaften der Staubteilchen in diesem Wellenlängenbereich gut erforscht sind. Mittels Breitband-NIR-Imaging-Untersuchungen von Hintergrundsternen mit mehreren Filtern lässt sich die Extinktion entlang der Sichtlinien durch Molekülwolken messen; mit Hilfe räumlicher Mittelwerte können diese diskreten Messungen dann in kontinuierliche Extinktionskarten übertragen werden. Mit der

Abb. III.2.1: Die Extinktionskarte des Filaments L1495-B213 mit einer Auflösung von 0,9 Bogenminuten (entsprechend 3300 Astronomischen Einheiten in der Entfernung des Taurus-Komplexes) lässt eine Komplexität erkennen, die bei früheren Untersuchungen verborgen geblieben ist. In der Umgebung des jungen Sternhaufens L1495 werden die höchsten Säulendichten und die stärkste Konzentration an jungen stellaren Objekten erreicht. Von dort geht das extrem dünne, stark mäandrierende

Filament B213 strahlenförmig aus. Entgegen dem, was hohe Säulendichten vermuten lassen, ist nur B213a mit YSOs assoziiert, während sich B213b erstaunlich frei von jungen Protosternen präsentiert. Offensichtlich werden die hohen Säulendichten durch die Überlagerung von zwei oder mehreren filamentartigen Komponenten verursacht, die in dieser Weise dichtes Material vortäuschen.



OMEGA-2000-Kamera am 3,5-m-Teleskop des Calar-Alto-Observatoriums haben wir bei zwei Beobachtungskampagnen in den Jahren 2004 und 2009 umfassende J-, H-, und K_s -Beobachtungen von 21 Feldern entlang des Filaments L1495-B213 in der Taurus-Region durchgeführt. Das endgültige Mosaik überdeckt 1,1 Quadratgrad des Himmels und enthält mehr als 20 000 Hintergrundsterne sowie 10 000 Galaxien. Mit Hilfe der GNICER-Methode (Galaxies Near Infrared Color Excess method Revisited; Foster et al. 2008, ApJ 674, 831) haben wir eine Extinktionskarte mit einer Auflösung von $0,9''$ erstellt (Abb. III.2.1; Schmalzl et al. 2010, in Vorbereitung). Diese Auflösung ist um einen Faktor 2,2 besser als die der 2MASS-Durchmusterung und um das siebenfache besser als Extinktionskarten, die auf Sternzählungen basieren.

Diese Extinktionskarte zeigt das Filament L1495-B213 in beispiellosem Detail. Mäandrierende Bänder von Staubmaterial und viele sich entlang des Filaments aufreihende, kleine Kondensationen wurden hier zum ersten Mal beobachtet. Eingebettete junge stellare Objekte (YSOs) treten in deutlicher Korrelation zu den höchsten Säulendichten auf. Weiter entwickelte T-Tauri-Sterne sind jedoch räumlich weiter verteilt als die jüngeren Quellen der Klasse I. Dies passt gut zu ihrem höheren Alter und zur deshalb verfügbaren längeren Zeit ihrer Wegbewegung vom Filament mit Geschwindigkeiten in der Größenordnung der lokalen Schallgeschwindigkeit. Allerdings ist der zentrale Teil (B213b) trotz seiner hohen Säulendichten erstaunlich frei von YSOs. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass an dieser Position zwei Filamente in Projektion entlang der Sichtlinie zu sehen sind und so überdichtetes Material vortäuschen.

Eine Analyse der Population dichter Kerne im ungestörten Teil des Filaments (B213a) ergab insgesamt 42 Kondensationen. Wir konnten grundsätzliche Parameter, wie Position, Masse, Größe, Dichte und Elliptizität ableiten. Die ermittelten Dichtewerte von $1,4 \pm 0,3 \text{ cm}^{-3}$ sind um einen Faktor 2,5 höher als im Pfeifennebel, einer benachbarten Region mit so gut wie keinen Anzeichen für Sternbildungsaktivität. Die Massen der Wolkenkerne reichen von 0,5 bis 8 Sonnenmassen. Für Massen oberhalb von $1,9 M_\odot$ folgt die Massenverteilung der Wolkenkerne (Clump Mass Function, CMF) einem Potenzgesetz mit dem Exponenten $\Gamma = 1,5 \pm 0,2$, was gut mit den CMFs anderer Entstehungsgebiete massearmer Sterne, etwa im Ophiuchus, Serpens oder Perseus, übereinstimmt. Bei Massen unter $1,9 M_\odot$ sehen wir Hinweise auf einen Knickpunkt und eine erhebliche Abflachung. Wenn die CMF eine hochskalierte Version der anfänglichen stellaren Massenverteilung (Initial Mass Function, IMF) ist, wäre ein solcher Knickpunkt zu erwarten, da die IMF ein gut ausgebildetes Maximum bei ca. $0,1 - 0,6 M_\odot$ zeigt. Ob dieser Knickpunkt für unsere Stichprobe korrekt ist, kann nicht mit absoluter Sicherheit gesagt werden, da Unvollständigkeit ebenfalls zu diesem CMF-Typ führen könnte. Andererseits

lässt der mittlere Haufenabstand wenig Spielraum für Diskussionen. Der bevorzugte ermittelte Abstand zwischen zwei Kernen liegt bei 0,15 pc, was ausgezeichnet mit der Jeans-Länge für die abgeleiteten Dichten und einer lokalen Schallgeschwindigkeit von 0,2 km/s übereinstimmt. Dies ist ein deutlicher Indikator dafür, dass sich die Kerne durch thermische Fragmentierung bildeten, für die die Jeans-Länge den charakteristischen Abstand zwischen benachbarten Kernen repräsentiert. Deshalb bildete sich die Taurus-Molekülwolke mit größter Wahrscheinlichkeit durch großräumige Strömungen und wird die Entstehung der Wolkenkerne durch Eigengravitation dominiert.

Blick in die Dunkelheit: Wo schließlich neue Sterne geboren werden

Im kleinskaligeren Bereich und in den allerersten Entstehungsstadien sind die Identifizierung und die Charakterisierung von wahrlich prästellaren Wolkenkernen – Kernen, die (demnächst) Sterne erzeugen (werden) – der erste Schritt, wenn man Genaueres über den Prozess der Entstehung massearmer Sterne erfahren will. In Stutz et al. (2009, ApJ 707, 137) haben wir mit dem Weltraumteleskop SPITZER eine Stichprobe von 14 massearmen, sternlosen Kernen untersucht. Analog zu den massereicheren Infrarot-Dunkelwolken (Infrared Dark Clouds – IRDCs) wurde diese Stichprobe sternloser Kerne nach ihren Absorptionswerten bei $8 \mu\text{m}$, $24 \mu\text{m}$ und zum Teil $70 \mu\text{m}$ ausgewählt. Die beobachteten Absorptionsmerkmale oder Schatten entstehen durch das am stärksten eingebettete und dichteste Kernmaterial im Zentrum der Wolken (Abb. III.2.2). Durch die Vorteile des hohen räumlichen Auflösungsvermögens von ca. $5''$ der SPITZER-Kamera (Multi-Band Infrared Photometer – MIPS) bei $24 \mu\text{m}$ Wellenlänge zeigt diese Stichprobe die unterschiedlichen und zuweilen komplexen Geometrien sternloser Kerne. Die Beobachtung der detaillierten projizierten Geometrien solcher massearmer Kerne ist bei größeren Wellenlängen aufgrund der geringen räumlichen Auflösung, sichtlinienabhängiger Mehrdeutigkeiten und der für bolometrische und interferometrische Untersuchungen typischen räumlichen Filterung grundsätzlich nicht möglich.

Bei Zugrundelegung eines einfachen Jeansschen Massekriteriums kommen wir zu dem Schluss, dass rund zwei Drittel der aufgrund ihrer auffälligen $24\text{-}\mu\text{m}$ -Schatten ausgewählten Kerne kollabieren oder zu kollabieren beginnen – ein durch Millimeterlinien-Beobachtungen gestütztes Ergebnis. Mindestens die Hälfte dieser Teilmenge von Kollapskandidaten unter den Kernen weist Anzeichen von $70\text{-}\mu\text{m}$ -Schatten auf. Alle Kerne, bei denen die Entwicklung von Absorptionsmerkmalen bei $70 \mu\text{m}$ beobachtet wurde, stehen kurz vor dem Kollaps. Des Weiteren sind bei der Mehrzahl der Kerne, die $70\text{-}\mu\text{m}$ -Schatten erzeugen, blaue Asymmetrien in ih-

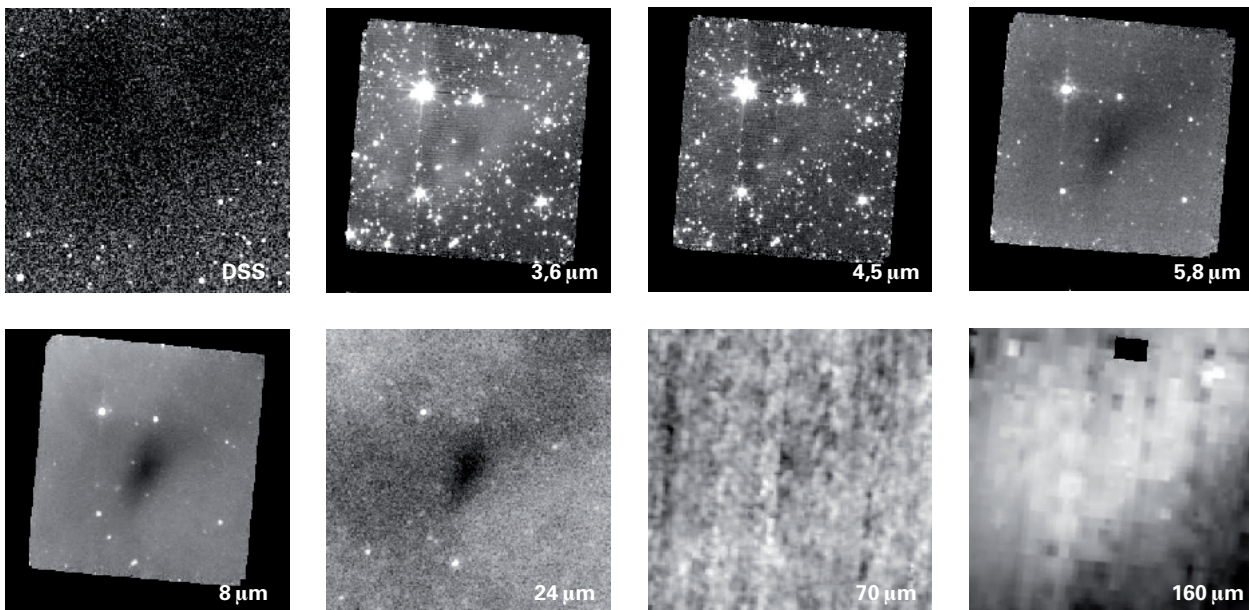


Abb. III.2.2: $5' \times 5'$ -Bilder des sternlosen Kerns L 1544. Das dichteste Kernmaterial ist an seiner Absorption bei $8,0 \mu\text{m}$ und $24 \mu\text{m}$ und geringfügig auch bei $70 \mu\text{m}$ zu erkennen; bei $3,6 \mu\text{m}$ ist eine schwache, ausgedehnte Emission zu beobachten.

ren Linienprofilen zu beobachten – ein unabhängiger Indikator für einfallende Bewegung. Daraus schließen wir, dass die $24\text{-}\mu\text{m}$ -Schatten und noch eher die $70\text{-}\mu\text{m}$ -Schatten sinnvolle Marker für Wolkenkerne sind, die kurz vor dem Kollaps stehen, deren Beobachtung sinnvolle, detaillierte Einschränkungen für Massen, Größen und Geometrien sternloser Kerne liefern. Während die $70\text{-}\mu\text{m}$ -Daten des MIPS-Instruments von SPITZER für diese Studie von großer Bedeutung sind, liefern die hochauflösenden Beobachtungen dieser Stichprobe kurz vor dem Kollaps stehender Kerne mit dem PACS-Photometer von HERSCHEL bei $70 \mu\text{m}$ und $100 \mu\text{m}$ weitere Bedingungen für die Konfiguration von dichtem Kernmaterial in den frühesten Stadien der Sternentstehung.

Die sternbildenden Zentren von Bok-Globulen: Unerwartete Komplexität

Extinktionskarten bieten eine solide Möglichkeit, die Eigenschaften von Molekülwolken zu untersuchen. Allerdings besitzen sie drei wesentliche Eigenschaften, die ihre Nützlichkeit für bestimmte Objektklassen einschränken. Erstens sind sie auf eine hohe Flächendichte der Hintergrundsterne angewiesen, was ihre Anwendbarkeit auf die galaktische Ebene einschränkt. Zweitens wird eine bestimmte Zahl von Hintergrundobjekten in jedem Pixel benötigt, sodass Winkelauflösungen unter einer Bogenminute üblicherweise außer Reichweite bleiben. Drittens ist die Extinktion bei den hohen Säulendichten in

den Zentren prästellarer und protostellarer Wolkenkerne so hoch, dass uns von dort kein messbares Licht erreichen kann und die Methode ihr Ziel verfehlt. Beobachtet man stattdessen die thermische Emission der Staubkörner mit den größten Teleskopen und empfindlichen Bolometern, so kann man diese Einschränkungen gut umgehen, wenn auch letztere Methode gute Kenntnisse der Staubopazität und -temperatur erfordert. Mit dem Ziel vor Augen, die sternbildenden Eigenschaften nahe gelegener Bok-Globulen zu erkunden und einen Katalog naher und gut charakterisierter sternbildender Kerne in unterschiedlichen Entwicklungsstadien zu erstellen, haben wir 32 Bok-Globulen bei NIR- und Submm-Wellenlängen mit verschiedenen bodengestützten Großteleskopen untersucht und die spektralen Energieverteilungen (Spectral Energy Distributions – SEDs) der eingebetteten Quellen erfasst und angepasst (siehe z.B. Abb. III.2.3).

In 26 von 32 beobachteten Globulen haben wir Staubkontinuum-Kerne im (Sub-)Millimeterwellenbereich nachgewiesen. Für 18 Globulen mit nachgewiesenen (Sub)mm-Kernen haben wir Entwicklungsstadien und physikalische Parameter der eingebetteten Quellen ableiten können. Die anderen acht Globulen sind entweder zu weit entfernt, sodass mehrfache eingebettete Quellen nicht aufgelöst werden konnten, oder die (Sub)mm-Karten waren von zu geringer Qualität, oder wir hatten zu wenig Daten, um zuverlässige Schlussfolgerungen ziehen zu können. Insgesamt haben wir in diesen 18 Globulen neun sternlose, vermutlich prästellare Kerne, neun Protosterne der Klasse 0 und elf junge stellare Objekte (YSOs) der Klasse I identifiziert. Wir halten die bolometrische Temperatur für den zuverlässigsten Indikator zur Unterscheidung zwischen Protosternen der Klasse 0 und YSOs der Klasse I und bestätigen die empirische Grenze von 70 K (Abb. III.2.4). Die Bandbreite der Verhältnisse $L_{\text{smm}}/L_{\text{bol}}$ in-

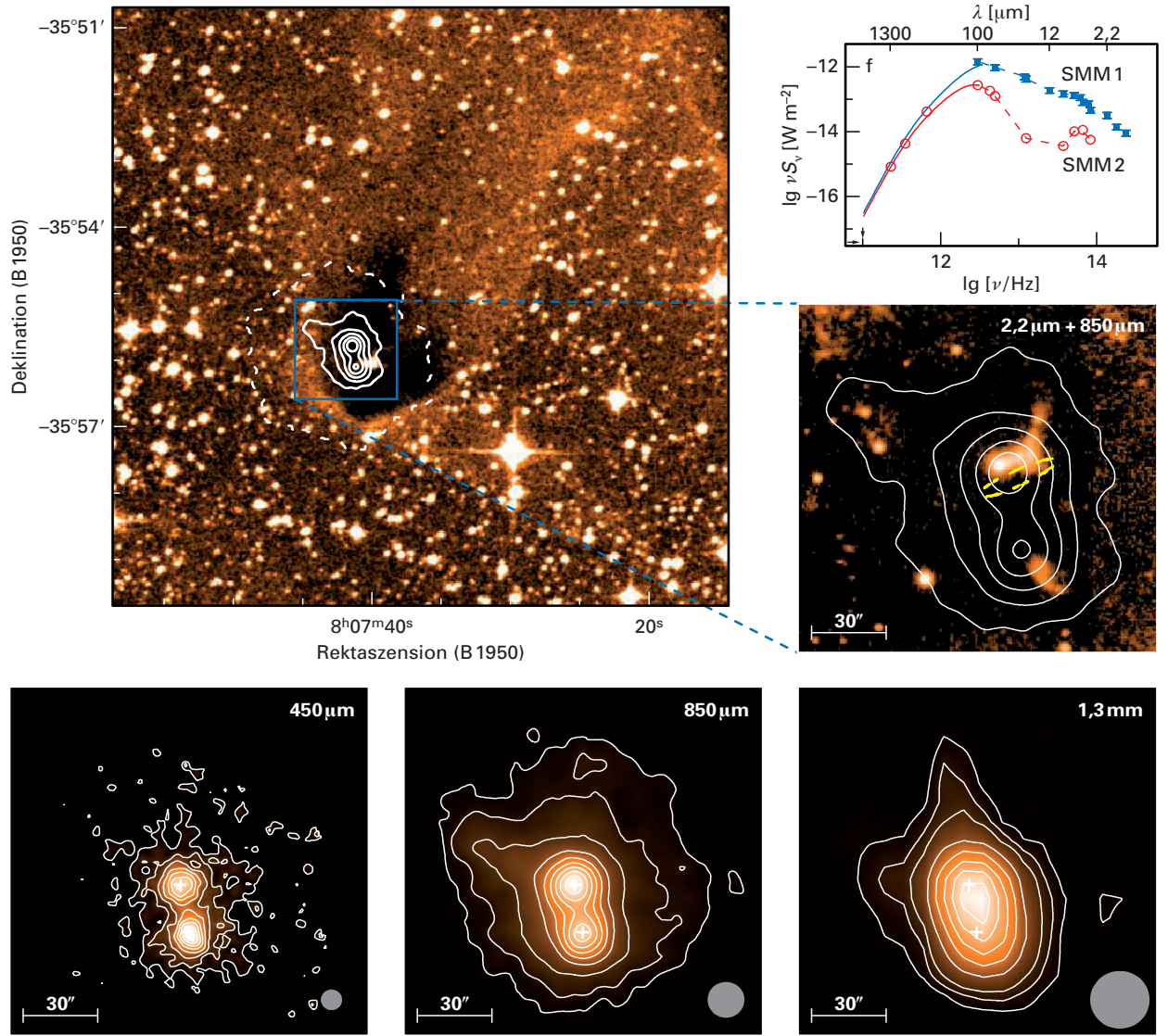


Abb. III.2.3: CG 30 (BHR 12), eine isolierte kometarische Bok-Globule in der Gum-Nebel-Region in 400 pc Entfernung. *Oben links:* Optische Aufnahme (DSS2 rot) mit den Konturen der Staubkontinuum-Emission bei 850 μm . *Mitte rechts:* Aufnahme im K-Band (NIR) mit den Konturen des Staubkontinuums bei 850 μm . Die Position aus dem IRAS PSC ist durch eine gestrichelte Ellipse gekennzeichnet. *Untere Reihe:* Staubkontinuums-

Emission bei 450 μm , 850 μm und 1,3 mm; die Auflösung ist jeweils als graue Ellipse dargestellt. *Oben rechts:* Spektrale Energieverteilungen von SMM1 (Klasse-I-YSO, gefüllte Quadrate) und SMM2 (Klasse-0-Protostern, leere Kreise), gemessen mit ATCA bei 3 mm, mit SEST bei 1,3 mm, mit SCUBA bei 850 μm und 450 μm , mit IRAS (PSC), SPITZER MIPS und IRAC, sowie unter Verwendung bodengestützter Daten (NIR).

nerhalb der Gruppen in Klasse 0 und Klasse I ist relativ groß (2–10 Prozent innerhalb von Klasse 0 und 0,8–3,5 Prozent innerhalb von Klasse I), wobei innerhalb der Gruppen keine signifikante Korrelation zwischen T_{bol} und $L_{\text{smm}}/L_{\text{bol}}$ festgestellt wurde. Allerdings weisen die drei am weitesten entwickelten Quellen der Klasse I mit sichtbaren Sternen und kompakter (Sub)mm-Emission, die vermutlich aus zirkumstellaren Scheiben stammt, auch die geringsten $L_{\text{smm}}/L_{\text{bol}}$ -Verhältnisse ($\leq 1,3\%$) auf. Wir werten dies als vorläufigen Hinweis darauf, dass das Verhältnis $L_{\text{smm}}/L_{\text{bol}}$ – als Maß für die Auflösung der

Hülle – ein besserer Indikator für die Entwicklung innerhalb der Klasse-0- und Klasse-I-Phasen ist.

Mindestens zwei Drittel (16 von 24) der untersuchten sternerzeugenden Globulen lassen die Entstehung mehrerer Sterne innerhalb von etwa 1000 bis 50 000 AE erkennen, entweder als mehrere sternerzeugende Kerne, weite eingebettete Doppelsternsysteme oder kleine Sternhaufen. Der Anteil engerer Doppelsternsysteme, die sich in unaufgelösten mm-Kernen entwickeln, könnte größer sein, bleibt aber im Rahmen dieser Studie unbekannt. Der interessanteste Aspekt dieser Multiplizität

Abb. III.2.4: Verhältnis der Submm- zur bolometrischen Leuchtkraft als Funktion der bolometrischen Temperatur für die in Bok-Globulenkernen eingebetteten Quellen. Die senkrechte gestrichelte Linie bei $T_{\text{bol}} = 70$ K kennzeichnet die Grenze zwischen Quellen der Klasse 0 und der Klasse I. Quellen, die nur NIR/MIR-Nebelflecken aufweisen, und keine sternartigen Punktquellen, sind als grüne Quadrate gekennzeichnet. Quellen mit NIR-Punktquelle (Stern) sind als offene Sternchen gekennzeichnet. Für CB 17-IRS konnten keine aufgelösten FIR (Ferninfrarot)- und Submm-Flüsse ermittelt werden und die Teil-SED ergibt lediglich untere und obere Grenzwerte für T_{bol} bzw. das Helligkeitsverhältnis.

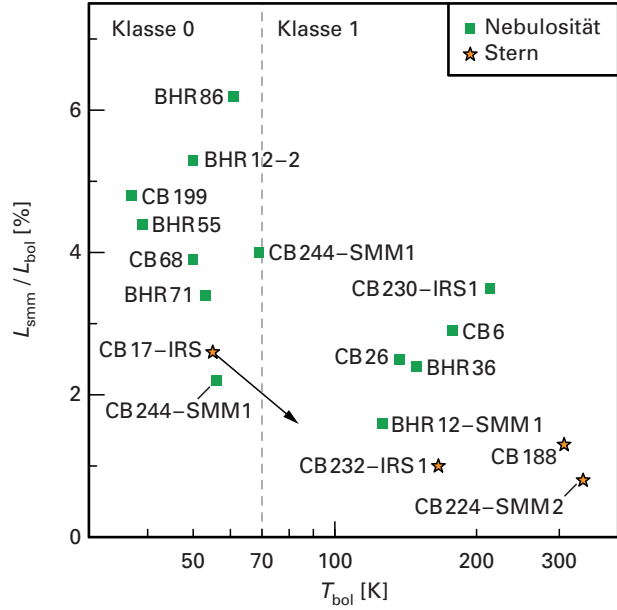
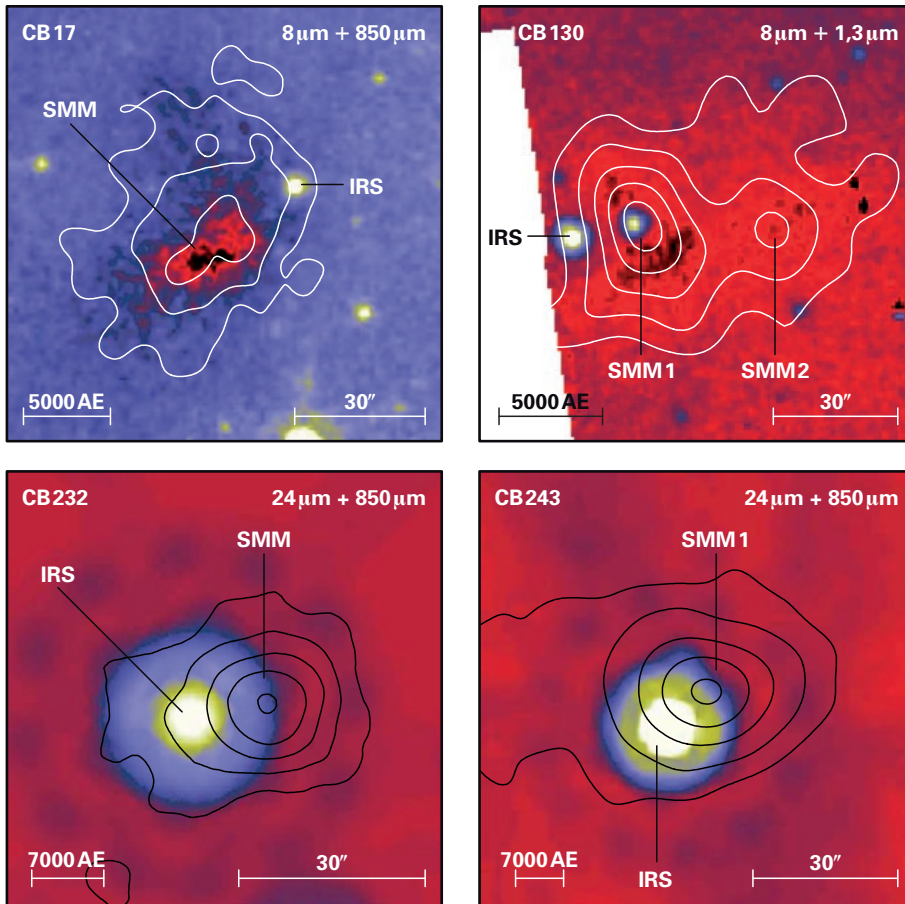


Abb. III.2.5: Vier Beispiele für Globulenkern, in denen Mir- und Submm-Quellen nicht identisch sind und die offensichtlich innerhalb weniger Tausend AE mindestens zwei Quellen unterschiedlicher Entwicklungsphasen enthalten. *Oben links:* CB 17, IRAC 8- μ m-Bild und 1,3-mm-Staubkontinuum-Konturen. *Oben rechts:* CB 130, IRAC 8- μ m-Bild und 1,3-mm-Staubkontinuum-

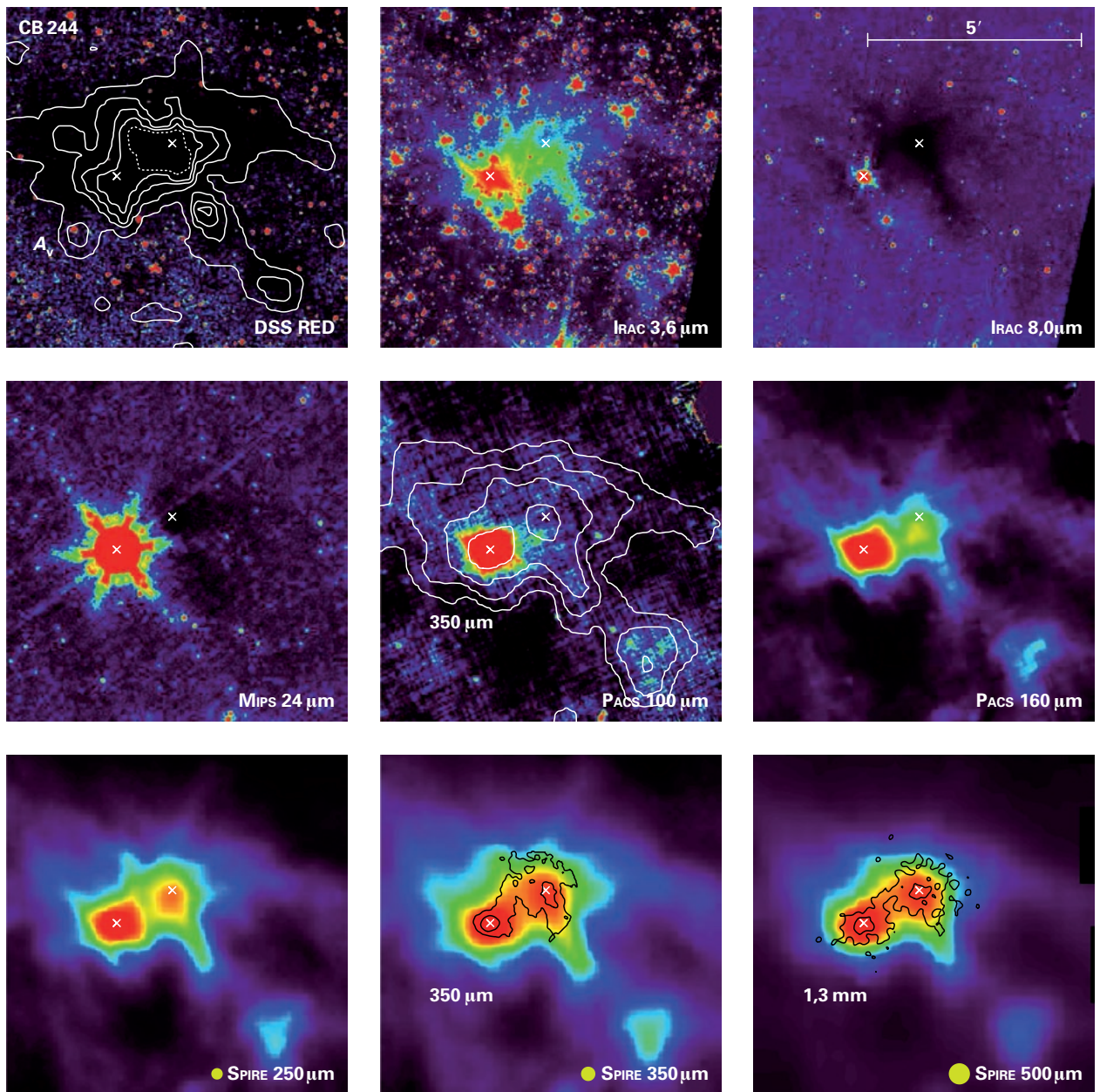
um-Konturen. *Unten links:* CB 232, MIPS-24- μ m-Bild und 850- μ m-Staubkontinuum-Konturen. *Unten rechts:* CB 243, MIPS 24- μ m-Bild und 850- μ m-Staubkontinuum-Konturen. Die IRAS-PSC-Positionen sind gegebenenfalls durch gestrichelte Fehlerellipsen gekennzeichnet.



ist wohl die Feststellung, dass sich die große Mehrzahl dieser kleinen Protostern- und Sterngruppen aus Quellen sehr unterschiedlicher Entwicklungsphasen zusammensetzt. Dazu zählen benachbarte mm-Quellen in offensichtlich unterschiedlichen Entwicklungsstadien, prästellare und protostellare Kerne mit nahe gelegenen IR-Quellen, vermutlich stärker entwickelte Protosterne oder YSOs der Klasse I sowie NIR-Sternhaufen neben riesi-

gen (Sub)mm-Kernen mit dem Potential, weitere Sterne zu erzeugen (Abb. III.2.5). In nur drei Globulen fanden wir gleichaltrige Paare, mehrere prästellare Kerne in CB 246, eingebettete Protosterne der Klasse 0 in BHR 71, und schließlich ein eingebettetes YSO-Paar der Klasse I in CB 230. Diese weit verbreitete Nicht-Gleichaltrigkeit lässt eine langsame und sequenzielle Sternentstehung in isolierten Globulen vermuten. Diesen Ergebnissen sollte besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, wenn man spektrale Energieverteilungen (SEDs) erfasst und versucht, Quelleneigenschaften aus Strömungsmessungen mit unzureichender Winkelauflösung abzuleiten. Man könnte schnell den Fehler begehen, die kombinierte SED eines prästellaren Kernes und eines nahe gelegenen, weiter entwickelten YSO als Klasse-0-Protostern zu klassifizieren.

Abb. III.2.6.: Neun Ansichten einer Globule: $8' \times 8'$ große Bilder von CB 244, aufgenommen bei den unten rechts im jeweiligen Feld angegebenen Wellenlängen. Die Feldkonturen sind mit ihren entsprechenden Wellenlängen gekennzeichnet. Die jeweilige Auflösung ist mit einem grünen Kreis angegeben. Die Orte von Protostern und sternlosem Kern sind mit \times gekennzeichnet. (Stutz et al., 2010)



Der Einsatz von HERSCHEL als Thermometer für Staub in Molekülwolken

Eines der größten Defizite in Untersuchungen wie der oben beschriebenen ist die Tatsache, dass sich die Massen- und Dichteprofilanschätzungen größtenteils auf Annahmen oder Modellberechnungen zur Staubtemperatur stützen müssen und nicht auf echte Temperaturmessungen zurückgegriffen werden kann. Insbesondere bei den in prästellaren Kernen vorherrschenden niedrigen Temperaturen (10 K und darunter) führt bereits ein kleiner Fehler im angenommenen Staubtemperaturwert zu einem enormen Fehler in der Berechnung der Masse des emittierenden Staubes. Da die Temperaturgradienten innerhalb prästellarer Kerne größtenteils nur aus Modellberechnungen stammen, sind »Messungen« der Dichteprofile solcher Kerne größtenteils nicht besonders zuverlässig. Mit dem HERSCHEL-Satelliten und seinem 3,5-m-Teleskop sowie seinen empfindlichen FIR-Bolometern, die die Spitzenwerte der SED solcher Zentren erfassen, steht erstmalig eine Methode zur Messung der Staubtemperatur innerhalb solcher Kerne zur Verfügung.

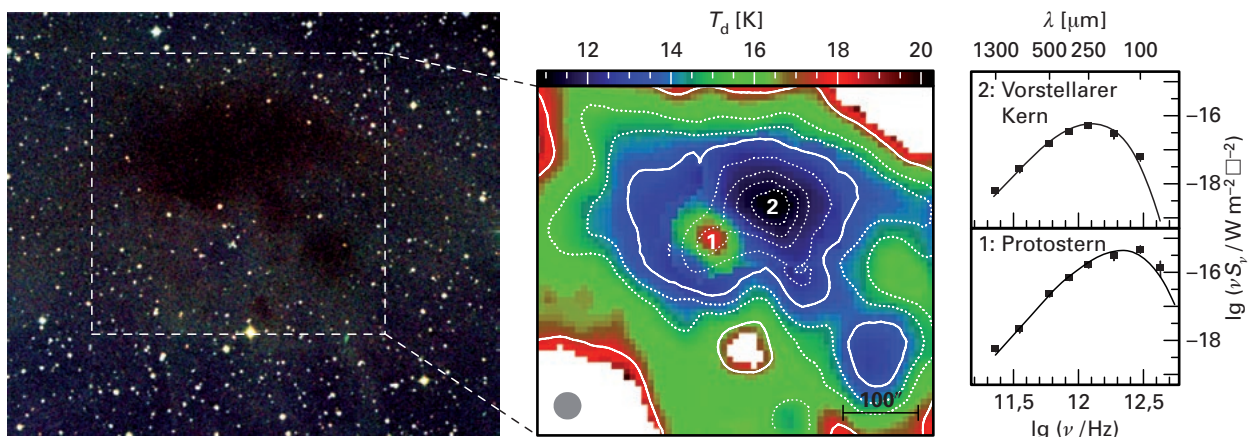
Wir haben die 100- und 160- μm -Daten von PACS und die 250-, 350- und 500- μm -Daten von SPIRE in Verbindung mit der NIR-Extinktionskarte, den MIPS-70- μm -, SCUBA-850- μm - und IRAM-1,3-mm-Staubemissionskarten verwendet, um die über die Sichtlinie gemittelte Staubtemperatur und Säulendichte der Bok-Globule CB 244 (Abb. III.2.6) zu simulieren. Die kali-

brierten Karten wurden auf die Auflösung von $37''$ der SPIRE-Kamera bei 500 μm reduziert und auf ein übliches $8''/\text{Pixel}$ -Raster projiziert. Für jedes Bildpixel wurde dann eine spektrale Energieverteilung (SED) extrahiert und einem modifizierten Schwarzen Körper der Form $S_\nu = \Omega B_\nu(\nu, T_d) (1 - e^{-\tau(\nu)})$ angepasst, wobei Ω der Raumwinkel des emittierenden Elements, B_ν die Planck-Funktion, T_d die Staubtemperatur und $\tau(\nu)$ die optische Tiefe bei der Frequenz ν ist. Unter Verwendung eines Staubmodells mit breiter Korngrößenverteilung, dünnen Eishüllen und ohne Koagulation mit einem Wert von $\kappa(1,3 \text{ mm}) = 0,5 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ haben wir dann die optimalen Werte für T_d und Wasserstoffsäulendichte N_H (die beiden freien Parameter) durch Berechnung von Flussdichten und A_V -Werten ermittelt, die dann mit den Emissions- und Extinktionsbeobachtungen abgeglichen wurden.

Die über die Sichtlinie gemittelten resultierenden Staubtemperatur- und Säulendichtekarten sind in Abb. III.2.7 zusammen mit den SED-Anpassungen an den zentralen Positionen der beiden Submillimeter-Spitzenwerte zu sehen. Wir ermittelten die geeignetsten über die Säulen gemittelten Staubtemperaturen für den Protostern und den prästellaren Kern zu $\sim 17,7 \text{ K}$ bzw. $\sim 10,6 \text{ K}$. Trotz der Tatsache, dass jedes einzelne Bildpixel unabhängig angepasst wurde und die Karten bei unterschiedlichen Wellenlängen unterschiedliche Außengrenzen aufweisen, zeigen sowohl die Temperatur- als auch die Säulendichtekarten sehr geringe Verzerrungen und glatte Verläufe, was für die Güte unseres Ansatzes spricht. Die Integration der Säulendichtekarte ergibt

Abb. III.2.7.: Links – Optisches Echtfarbenbild der Bok-Globule CB 244, zusammengesetzt aus DSS2 Blau-, Rot- und Infrarot-Bildern. Mitte – Staubtemperatur (Farbe) und Wasserstoffsäulendichte (weiße Konturlinien) in CB 244, Pixel für Pixel abgeleitet aus modifizierten Schwarzkörper-SED-Anpassungen an die in homogener Weise geglätteten Emissionskarten von HERSCHEL-PACS- und -SPIRE-, SPITZER-MIPS-70- μm - und bodengestützten Submillimeter-Staubkontinuum-Karten bei 0,8 und 1,2 mm sowie an eine

NIR-Extinktionskarte. Die Säulendichtekonturen liegen bei (0,1 (dick), 0,3, 0,5, 1 (dick), 2, 3,5, 5 und $7 \times 10^{22} \text{ H/cm}^2$). Die Auflösung von $37''$ wird als graue Kreisscheibe angezeigt. Die Staubtemperaturkarte reproduziert selbst so winzige Merkmale wie den kleinen Extinktions-»Klecks« zuunterst der gezeigten Region. Rechts: gemessene spektrale Energieverteilungen und modifizierte Schwarzkörper-Anpassungen für den Klasse-0-Protostern (»1«) und den prästellaren Kern (»2«).



$M_{\text{H}} = 1,6 \pm 0,3 M_{\odot}$ für den protstellaren Kern und $M_{\text{H}} = 5 \pm 2 M_{\odot}$ für den prästellaren Kern, wobei die Unsicherheiten aus einer zu ± 1 K angenommenen Unsicherheit der Staubtemperatur stammen. Die Gesamtmasse der Globule innerhalb der Konturlinie $N_{\text{H}} = 1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ beträgt $M_{\text{H}} = 15 \pm 5 M_{\odot}$. Diese Werte legen nahe, dass bis zu 45 Prozent der Globulenmasse am Sternentstehungsprozess beteiligt sind.

Die vier hier beschriebenen Untersuchungen erstrecken sich über drei Größenordnungen der Wellenlänge und nutzen viele unterschiedliche Beobachtungstechniken. Diese vier Untersuchungen unterschiedlicher Aspekte der Frühstadien im Entstehungsprozess massearmer Sterne, die nur einen Teil der entsprechenden Tätigkeiten unserer Abteilung repräsentieren (so werden beispielsweise Moleküllinien-Untersuchungen oder theoretische

Arbeiten hier gar nicht erwähnt) zeigen bereits, dass eine einzige Technik allein nie so leistungsstark sein kann wie die vollständigere Sichtweise, die wir durch diesen vielseitigen Ansatz einnehmen können.

*Ralf Launhardt, Amelia Stutz, Markus Schmalzl,
Thomas Henning, Jouni Kainulainen, Oliver Krause,
Hendrik Linz, Jürgen Steinacker,
In Zusammenarbeit mit:
Cardiff University, CfA Cambridge/USA,
MPI für Radioastronomie,
Universität Kiel, IRAM Grenoble,
Universität Wien,
Steward Observatory, Institut für Astronomie,
Moskau, Yale University.*

III.3 Quasare als kosmologische Sonden

Wann und wie wurde Wasserstoff im Universum reionisiert? Welcher physikalische Prozess beendete die Sternbildung in massereichen elliptischen Galaxien? Diese grundlegenden Fragen der heutigen Kosmologie lassen sich durch die Beobachtung enger Quasar-Paare mit kleinen projizierten Winkelabständen behandeln. Hier stellen wir unsere Forschungsergebnisse zu diesem Thema vor.

Quasare sind die hellsten Objekte im Universum. Vieles spricht dafür, dass ihre enorme abgestrahlte Energie durch den Einfall von Materie auf supermassereiche Schwarze Löcher in den Zentren großer Galaxien freigesetzt wird. Quasare sind sehr selten, so dass die Wahrscheinlichkeit des Auffindens eines engen Paares am Himmel mit etwa 1 zu 100 000 verschwindend gering ist. Durch die Sichtung mehrerer hundert Millionen Himmelsobjekte in der Bilddatenbank des Sloan Digital Sky Survey haben wir jedoch Hunderte dieser einzigartigen astrophysikalischen Laboratorien finden können. Umfangreiche Folgebeobachtungen an den weltweit größten Teleskopen haben uns eine Sammlung beispielloser Daten beschert, die uns in die Lage versetzten, neue Beobachtungsexperimente zum Verständnis des fernen Universums durchzuführen.

Warum Quasar-Forschung?

Als Maarten Schmidt 1963 den ersten Quasar entdeckte, hatten die Astronomen größte Schwierigkeiten, dieses gänzlich neue Phänomen zu verstehen. Die Existenz dieser Objekte in Entfernungen von mehr als einer Milliarde Lichtjahren widersprach vielen kosmologischen Theorien jener Zeit, schien aber das damals kontrovers diskutierte Urknall-Modell zu bestätigen. Gänzlich rätselhaft waren die enormen, durch die extreme Entfernung der Quasare implizierten Leuchtkräfte. Welcher physikalische Prozess könnte derartig gewaltige Energieströme auslösen?

Man nimmt an, dass Quasare eine kurze Entwicklungsphase der Galaxien darstellen, wobei ihre Energieerzeugung durch den Einfall von Materie auf supermassereiche Schwarze Löcher in den Zentren massereicher Galaxien entsteht. Während dieser Phase sind Quasare die hellsten Objekte im Universum und überstrahlen sogar ihre Muttergalaxien um Faktoren von 100 und mehr. Der Höhepunkt der Quasar-Aktivität wurde erreicht, als das Universum etwa ein Fünftel so alt war wie heute. Inzwischen werden in den Zentren aller massereichen Galaxien ruhende supermassereiche Schwarze Löcher

nachgewiesen, von denen man annimmt, dass es sich um Relikte handelt, die während einer Quasar-Episode in entfernter Vergangenheit entstanden sind.

Quasare spielen für unser Verständnis des fernen Universums eine zentrale Rolle. Da sie sich in den Zentren massereicher Galaxien befinden, können sie zur Identifizierung von Proto-Galaxien im frühen Universum dienen. Da sie hell und auch in kosmologischen Entfernungen leicht zu beobachten sind, wirken sie als kosmische Leuchttürme, die uns die Untersuchung der entlang unseres Sehstrahls zu den Quasaren verteilten Materie extrem geringer Dichte aufgrund ihrer Absorption des Quasarlichts ermöglichen. In diesem Beitrag werden Beobachtungen *enger Quasar-Paare* mit kleinen Winkelabständen am Himmel zwischen einer und etwa zehn Bogensekunde und deren kosmologische Konsequenzen beschrieben. Es wird sich zeigen, dass Quasar-Paare einzigartige, für die Behandlung einer Vielzahl kosmologischer Fragen nützliche astrophysikalische Laboratorien darstellen. Doch da die Quasar-Phase nur etwa ein Tausendstel des heutigen Weltalters dauert, gibt es am Himmel nur wenige Quasare pro Quadratgrad. Noch viel seltener sind enge Quasar-Paare, sie kommen nur etwa einmal auf hundert Quadratgrad vor. Deshalb konnte das Auffinden der engen Quasar-Paare erst in der Ära großflächiger digitaler Himmelsdurchmusterungen und gewaltiger astronomischer Datensammlungen gelingen

Nadeln im Heuhaufen:

Das Auffinden von Quasar-Paaren

Da die Emission der Quasarstrahlung nur aus einer extrem kleinen Region heraus erfolgt ($< 0,01$ pc), erscheinen sie auf astronomischen Aufnahmen als unaufgelöste Quellen und lassen sich von Sternen unserer Galaxis nicht unterscheiden. Da die Sterne am Himmel aber hundertmal so häufig sind wie Quasare, ist die Gefahr einer Fehlidentifikation groß. Die Lokalisierung von Quasar-Paaren kommt somit dem Finden von Nadeln im Heuhaufen gleich und ein brachialer Ansatz würde beim Auffinden solcher Quasar-Paare nur zu einer sehr mageren Effizienz von $\sim 10^{-4}$ führen. Doch die Nutzung subtiler Unterschiede in den Breitbandfarben von Sternen und Quasaren macht eine effizientere Auffindung der Quasare möglich. Das Auffinden einer signifikanten Anzahl von Quasar-Paaren erfordert genau kalibrierte digitale Aufnahmen eines sehr großen Himmelsareals sowie spektroskopische Folgebeobachtungen zur Bestätigung der Quasarnatur der identifizierten Kandidaten.

Wissenschaftler des MPIA haben sich am Sloan Digital Sky Survey (SDSS) aktiv beteiligt. Diese große Durchmusterung bestand aus Aufnahmen in vielen Filtern und spektroskopischen Messungen von Rotverschiebungen in mehr als einem Viertel des gesamten Himmels unter Verwendung eines optischen 2,5-Meter-Weitwinkelteleskops. Obwohl die spektroskopische Quasar-Durchmusterung des SDSS die bisher größte Stichprobe ($\sim 10^5$) von Quasaren geliefert hat, ist sie aufgrund der endlichen Größe der optischen Fasern des verwendeten Multiobjekt-Spektrographen für den Nachweis enger Quasar-Paare nicht geeignet. Die Kollision der Fasern bewirkt, dass bei Paaren, die näher als eine Bogenminute beisammen stehen, lediglich eine der beiden Komponenten als Quasar registriert wird. Um die so übergangenen Quasar-Paare zu entdecken, musste die gesamte SDSS-Bilddatenbank erneut durchsucht werden. Wir entwickelten automati-

sche Klassifikationstechniken, um hunderte Millionen Himmelsobjekte zu sichten und die Quasare auf statistischem Wege von den stellaren Kontaminanten zu trennen. Es kamen kleinere Teleskope einschließlich des 3,5-m-Teleskops auf dem Calar Alto zum Einsatz, um die Quasar-Paar-Kandidaten spektroskopisch zu bestätigen, was mit einer Erfolgsrate von etwa 25 Prozent gelang – ein großer Fortschritt gegenüber der mit dem brachialen Ansatz erreichten Effizienz von etwa 10^{-4} . Bis jetzt haben wir etwa 200 Quasar-Paare mit Winkelabständen unter einer Bogenminute spektroskopisch bestätigt und damit die Anzahl solcher bekannter Systeme um etwa einen Faktor 20 erhöht.

Abb. III.3.1 zeigt eine Aufnahme eines von uns gefundenen Doppel-Quasars bei $z = 4,3$ mit einem Winkelabstand von $10,9''$ und dessen Spektrum. Die hohe Rotverschiebung und der geringe Querabstand von 77 kpc macht ihn zum entferntesten bekannten engen Doppel-Quasar. In unserer Durchmusterung entdeckten wir fünf weitere enge Doppel-Quasare bei $z \sim 4$, also zu einer Zeit, als das Alter des Universums gerade erst ein Zehntel seines heutigen Alters betrug. Diese Sichtlinien sind extrem selten: Unter Berücksichtigung der kleinen Abstände, der hohen Rotverschiebungen und der enormen Leuchtkräfte schätzen wir, dass im gesamten beobachtbaren Universum lediglich 50 davon existieren.

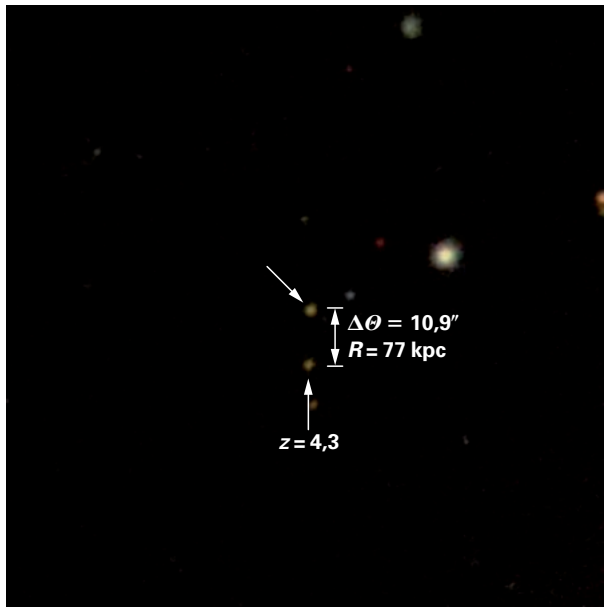
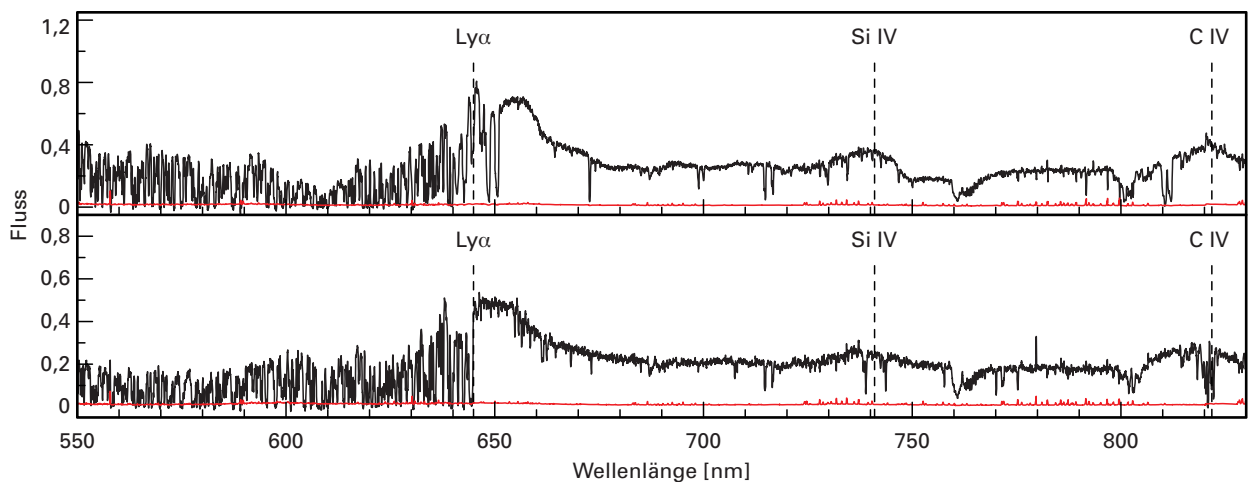


Abb. III.3.1: Der entfernteste bekannte Doppel-Quasar ($z=4,3$, $\Delta\theta 10,90''$). Links: SDSS-Farbbild; unten: Hochgenaue, am Keck-Teleskop aufgenommene optische Spektren beider Komponenten. Die roten Kurven zeigen den 1σ -Fehlerbereich an. Lyman- α und weitere starke Emissionslinien sind gekennzeichnet. In beiden Spektren erstreckt sich der Lyman- α -Wald blauwärts der Lyman- α -Linie bei 650,0 nm. Die starke Absorption bei 760,0 nm in beiden Spektren entstand in der Erdatmosphäre.



Kleinskalige Umgebungen von Quasaren hoher Rotverschiebung

Ein wichtiges Hilfsmittel zum Verständnis der Galaxien im fernen Universum besteht in der Untersuchung ihrer Häufungsmuster am Himmel. Wir leben in einem hierarchischen Universum, in dem die Strukturbildung durch die Verschmelzung von Halos aus Dunkler Materie angetrieben wird – kleine Objekte entstehen zuerst und verschmelzen dann miteinander zu größeren Strukturen. Unter dieser Voraussetzung kann die großskalige Haufenbildung einer Population auf der Skala von etwa 10 Mpc direkt in Beziehung zur Masse der Halos aus Dunkler Materie gebracht werden, die sie beherbergen. So sagt die Haufenbildung von Quasaren etwas aus über die Beziehung zwischen dem Wachstum supermassereicher Schwarzer Löcher und der zugrundeliegenden Dunklen Materie und liefert damit wichtige Randbedingungen für Modelle der Co-Evolution von Quasaren und Galaxien. Die Untersuchung der großskaligen Haufenbildung bei hohen Rotverschiebungen ($z \sim 4$) zeigt, dass Quasare selten in massereiche ($M \geq 10^{13} M_{\odot}$) Halos aus Dunkler Materie eingebettet sind.

Auf kleinen Skalen ($R < 200$ kpc) liefert die Untersuchung der Quasar-Haufenbildung unabhängige und komplementäre Randbedingungen. So wird zum Beispiel oft davon ausgegangen, dass die Quasar-Aktivität von den häufig vorkommenden Galaxienverschmelzungen ausgelöst wird, die eine allgemeine Folge der Strukturbildung nach dem Bottom-up-Prinzip sind. Während dieser Verschmelzungen kann Drehimpuls gewaltsam umverteilt werden und Materie wird mit hoher Effizienz auf das zentrale Schwarze Loch geleitet – das wäre ein natürlicher Mechanismus zur Energieversorgung einer kurzlebigen Quasar-Phase. Tritt Quasar-Aktivität häufiger in dichten Umgebungen auf, in denen es eher zu Verschmelzungen kommt? Wenn das der Fall ist, so kann dies zu einer starken kleinskaligen Häufung von Quasaren führen.

Abb. III.3.2 zeigt die erste Messung der kleinskaligen ($R < 1$ Mpc) Häufung entfernter Quasare ($z > 3,5$), durchgeführt anhand einer Reihe von Doppelsystemen der in Abb. III.3.1 gezeigten Art. Obwohl diese Messung nur auf einer Handvoll Objekte basiert, ergeben sie ein signifikantes Anzeichen für Häufung, da die Wahrscheinlichkeit des zufälligen Auftretens solcher Assoziationen extrem gering ist. Was sind diese hochrotverschobenen Doppel-Quasare? Sind es extrem seltene, sehr unwahrscheinliche Konfigurationen, analog zu den Superhaufen, in den ursprünglichen Bedingungen des frühen Universums? Kann ihnen unser gegenwärtiges Strukturbildungsparadigma (Λ CDM) gerecht werden? Diese Fragen stoßen an die Grenzen unserer theoretischen Modelle der Strukturbildung. Neue kosmologische Simulationen mit Höchstleistungsrechnern haben die nicht-lineare Struktur solcher extrem seltenen Dunkle-Materie-Halos bisher noch nicht bestimmen

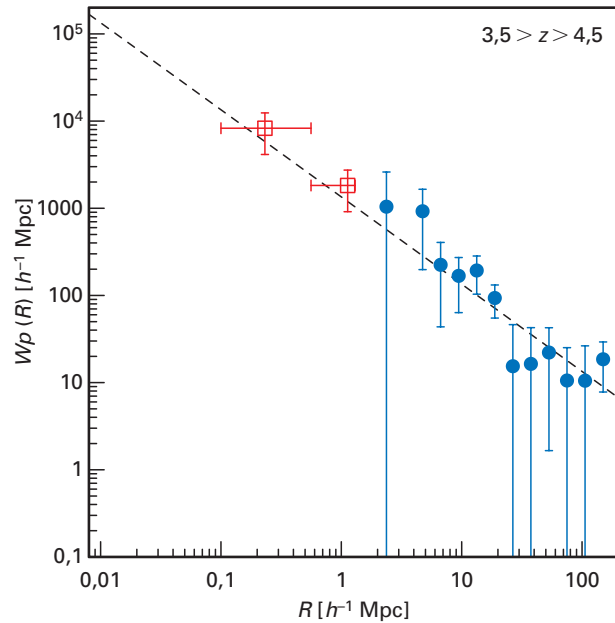


Abb. III.3.2: Messung der kleinskaligen Häufung von Quasaren hoher Rotverschiebung ($z > 3,5$). Die vollen Kreise sind die großskaligen (> 1 Mpc) Messungen der projizierten Korrelationsfunktion aus dem spektroskopischen Quasar-Katalog des SDSS. Die gestrichelte Linie ist eine Potenzgesetz-Anpassung an die großskaligen Haufenbildungsdaten mit einer festen Steigung $\gamma = 2$. Die offenen Quadrate zeigen unsere Messung der kleinskaligen (< 1 Mpc) Haufenbildung in einer Stichprobe von lediglich acht Doppel-Quasaren bei hoher Rotverschiebung (siehe Abb. III.3.1), die in unserer Quasar-Paarsuche entdeckt wurden. Diese allererste Messung einer Haufenbildung auf kleinen Skalen kann den Mechanismus der Auslösung von Quasar-Aktivität einschränken sowie ein Licht auf die Natur der extrem seltenen Doppel-Quasare werfen.

können, da dies Simulationsvolumina erfordern würde, die über das von uns erforschte Volumen von etwa 10 Gpc^3 hinausgehen. Zwar ist die Simulation derartiger großer Volumina sehr rechenzeitintensiv, sie liegt aber durchaus in Reichweite. Auf der Seite der Beobachtung besteht offensichtlich der nächste Schritt in der Durchführung detaillierter Folgeuntersuchungen der individuellen Doppelsysteme zur Suche nach großen Überdichten von Galaxien in deren Umgebung. Dies würde zur Klärung der Frage führen, ob es sich wirklich um Proto-Superhaufen im frühen Universum handelt, und ein Licht auf die Natur dieser rätselhaften Objekte werfen.

Das intergalaktische Medium

Es gibt keinen leeren Raum. Tatsächlich kommen die öden Weiten zwischen den Galaxien dem leeren Raum am nächsten. Doch selbst diese entfernten Regionen des

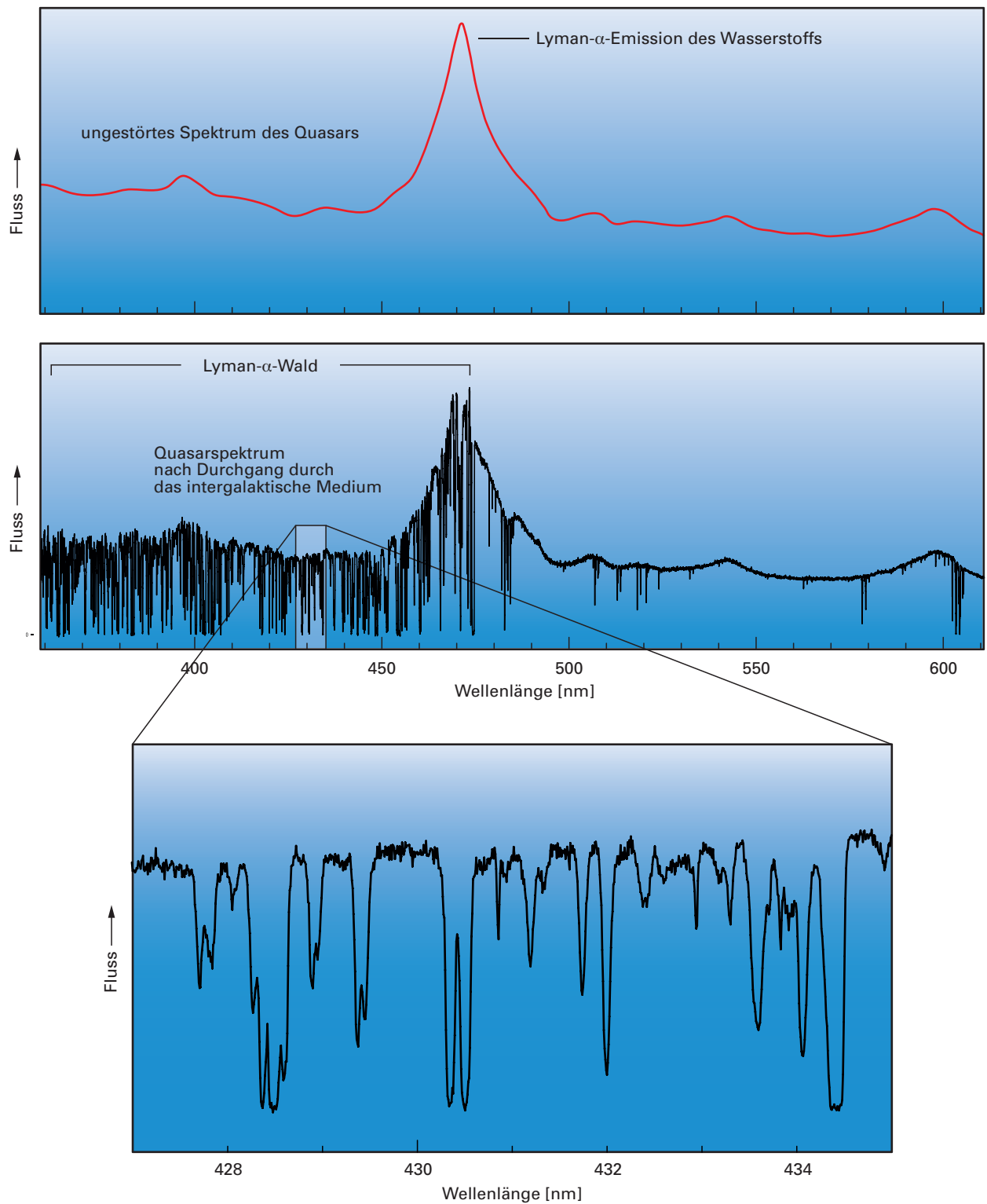


Abb. III.3.3: Die Absorptionslinien des Lyman- α -Waldes. *Oben:* Das ursprüngliche Spektrum. Das zentrale Maximum entspricht der von Wasserstoff-Atomen in der Umgebung des Quasars bei 121,567 nm emittierten Lyman- α -Linie, die hier aufgrund der kosmischen Rotverschiebung bei etwa 560 nm erscheint. *Mitte:* Auf dem Weg durch das intergalaktische Medium entstehen im Spektrum Absorptionslinien links neben dem Maximum da intergalaktische Wasserstoff-Wolken das Licht bei der lokalen

Wellenlänge von 121,567 nm absorbieren. Diese Absorptionen erfolgen in unterschiedlichen Entfernungen von der Erde und deshalb auch bei unterschiedlichen Rotverschiebungen, die jedoch kleiner sind, als die des Quasars, und erzeugen den »Lyman- α -Wald«. Einige schwere Elemente produzieren die wenigen Absorptionslinien rechts des Maximums. (Nach: AmSci/R. Simcoe)

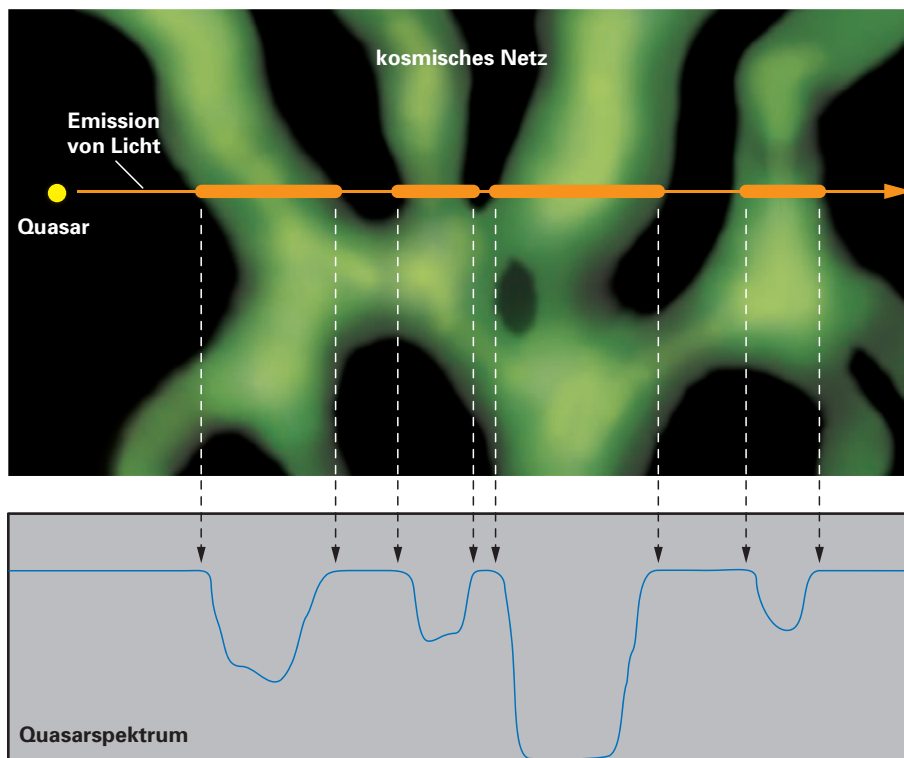
Universums sind von dem intergalaktischen Medium (IGM) durchflutet, primordiales Wasserstoffgas extrem geringer Dichte, das zunehmend stärker verdünnt auftritt, je weiter man sich von Galaxien entfernt. Das Verständnis der Physik des IGM ist ein fundamentales Ziel der Kosmologen, da es letztlich der Baustoff ist, aus dem Moleküle, Sterne und Galaxien gebildet werden.

Aber wie beobachten wir dieses dünne Gas des IGM, das kein eigenes Licht emittiert? Betrachten wir das in Abb. III.3.3 gezeigte Spektrum eines entfernten Quasars. Sein stärkstes Merkmal ist die Lyman- α -Emissionslinie, die in der Nähe des Schwarzen Lochs im Zentrum des Quasars entsteht. Wenn angeregte Elektronen in den Grundzustand des Wasserstoffs zurückfallen, emittieren sie Lyman- α -Resonanz-Photonen der Wellenlänge 121,567 Nanometer. Da der Quasar – mitgeführt von der kosmischen Expansion – sich von der Erde entfernt, beobachten wir in diesem Fall die Emissionslinie bei einer rotverschobenen Wellenlänge von 560 Nanometern. Auf ihrem Weg vom Quasar durch das IGM zur Erde werden Photonen bei 121,567 Nanometer Wellenlänge von Wasserstoff-Atomen abgefangen und absorbiert, und wir beobachten im Spektrum eine Absorptionslinie (siehe Abb. III.3.4). Zwischen dem Quasar und uns liegen im intergalaktischen Raum Wasserstoffgas-Wolken des IGM in unterschiedlichen Entfernungen, die auch unterschiedliche, geringere Rotverschiebungen als der Quasar aufweisen. Deshalb zeigt ein Quasar-Spektrum eine Serie von Absorptionslinien bei unterschiedlichen, kürzeren Wellenlängen als seine Lyman- α -Emissionslinie. Dieses kollektive Absorptionsmuster ist

als Lyman- α -Wald bekannt und liefert ein eindimensionales Abbild der primordialen Dichte-Fluktuationen im frühen Universum.

Ein großer Erfolg der Theorie der Strukturbildung besteht darin, dass heutige Modelle in der Lage sind, die statistischen Eigenschaften der Fluktuationen des Lyman- α -Waldes in den Spektren von Quasaren präzise zu reproduzieren. Unter Verwendung von Höchstleistungsrechnern können sie die Bildung von Strukturen im kosmischen Netz simulieren (Abb. III.3.5). Die Anfangsbedingungen für diese Simulationen sind durch die Anisotropie der kosmischer Hintergrundstrahlung vorgegeben, die präzise gemessen wurde. Entlang von »Sehstrahlen« durch diese simulierten Universen werden Modellspektren konstruiert und mit realen, an großen Teleskopen aufgenommenen Quasar-Spektren verglichen. Die simulierten Spektren stimmen in hohem Maße mit den beobachteten überein. Doch eine wichtige Unbekannte wurde noch nicht erwähnt: Wir haben nur ungefähre Kenntnisse von der Temperatur des Wasserstoffgases des IGM. Tatsächlich stellt sich heraus, dass die eindimensionalen Spektren des Lyman- α -Waldes (Abb. III.3.3) kaum von dem detaillierten ther-

Fig. III.3.4: Absorption im kosmischen Netz. Das filamentartig strukturierte intergalaktische Medium (*oben, grün*) erzeugt in dem von einem fernen Quasar emittierten Licht Absorptionslinien bei unterschiedlichen, der Entfernung des Filaments entsprechenden Rotverschiebungen der Lyman- α -Linie (*unten*). (Quelle: AmSci/R. Simcoe)



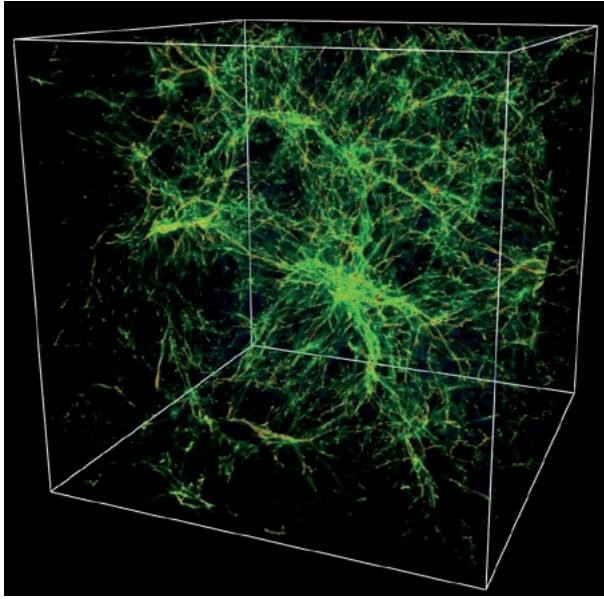


Fig. III.3.5: Das kosmische Netz. Numerische Simulationen der Strukturbildung im Universum zeigen die Bildung fadenförmiger Verdichtungen und Hohlräume im intergalaktischen Gas und die Entstehung des kosmischen Netzes. Solche Computermodelle in Verbindung mit Beobachtungen des Lyman- α -Waldes in Quasar-Spektren zeigen, dass das kosmische Netz bereits eine filamentartige Struktur aufwies, als das Universum ungefähr zwei Milliarden Jahre alt war, etwa ein Siebtel seines heutigen Alters. Die Filamente entwickelten sich durch Akkretion der Dunklen Materie und später des intergalaktischen Mediums auf die winzigen Dichtemaxima, die sich in der Anisotropie der kosmischen Hintergrundstrahlung zu erkennen geben. Der simulierte Kubus hat eine Kantenlänge von 30 Millionen Lichtjahren. Auf der hier abgebildeten Skala wäre unsere Galaxis kaum einen Millimeter groß. (Quelle: Renyue Cen, Princeton University)

mischen Zustand des Gases abhängen. Doch der thermische Zustand des IGM steht in engem Zusammenhang mit einer fundamentalen Frage der Kosmologie. Wie und wann wurde das Universum re-ionisiert?

Kosmische Reionisation

Die kosmische Reionisation (siehe Abb. III.3.6) ist ein zentrales Ereignis in der frühen Geschichte des Universums. Während der ersten 380 000 Jahre nach dem Urknall war das Universum noch so heiß, dass Elektronen und Protonen in der primordialen Suppe sich nicht zu neutralen Wasserstoff-Atomen verbinden konnten.

Doch mit der Expansion des Universums kühlte sich dieses ionisierte Plasma der getrennten Elektronen und Protonen kontinuierlich ab. Als dann das Universum 380 000 Jahre alt war, fiel die Temperatur unter 5000 K, so dass sich Elektronen und Protonen erst-

mals zu Wasserstoff-Atomen kombinieren konnten. Das Universum expandierte weiter und kühlte während einer als »dunkles Zeitalter« bezeichneten Epoche weiter ab.

Mit fortschreitender Strukturbildung begannen sich die ersten Sterne und Galaxien zu bilden und produzierten eine zunehmende Anzahl stellarer ultravioletter Photonen. Diese Photonen begannen Blasen der umgebenden Wasserstoffatome zu reionisieren. Mit der Bildung weiterer Galaxien wurden mehr und mehr ionisierende Photonen produziert, bis die ionisierten Blasen schließlich miteinander verschmolzen, das IGM überwiegend ionisiert und das Universum weitgehend durchsichtig wurde.

Das Studium der kosmischen Reionisationsphase ist heute einer der aktivsten Forschungsbereiche der Kosmologie. Aber die wenigen empirischen Randbedingungen im Vergleich zu den zahlreichen Unbekannten lassen ausreichend Platz für spekulative Modelle. Ein vielversprechender Ansatz liegt in der Beobachtung der *Nachwirkungen* der Reionisation anhand ihrer Spuren im thermischen Zustand des IGM. Vor der Reionisation hatten sich die neutralen Atome, die sich bei der Rekombination gebildet hatten, auf einige zehn Kelvin abgekühlt. Die Strahlung, die dieses Gas reionisiert, erhitzte es schlagartig auf 10 000 K. Da das IGM so dünn ist, entspricht die Zeit, die das Gas zum Abkühlen brauchte, ungefähr dem Alter des Universums. Deshalb sollte das intergalaktische Medium das thermische Gedächtnis des Phasenübergangs der Reionisation erhalten.

Temperaturmessung des Universums

Wie können wir also die Temperatur des IGM messen und herausfinden, wie die Reionisation erfolgte? Entscheidend ist, dass der thermische Zustand des IGM in seiner kleinskaligen (~ 100 kpc) Struktur festgeschrieben ist: Dies ist verständlich, wenn man bedenkt, dass die Dichteschwankungen des IGM-Gases auf die beiden miteinander konkurrierenden Kräfte Schwerkraft und Druck reagieren. Auf den größten Skalen (≥ 1 Mpc) gewinnt die Schwerkraft und der Wasserstoff trassiert das kosmische Netz der Dichte-Fluktuationen, die durch die Gravitationskraft der dominanten Dunklen Materie bestimmt werden (Abb. III.3.5). Doch auf kleinen Skalen verhalten sich die Wasserstoff-Wolken im IGM analog zu den Sternen. In Sternen führt durch nukleare Fusion produzierte Wärme zu Gastemperaturen, die hoch genug sind, so dass der Druck die Gravitationskraft ausgleichen kann. Auf ähnliche Weise erzeugt die aus der Reionisation verbliebene Wärme einen Druck, der dem Gravitationskollaps widersteht. Folglich sollte die Dichteverteilung des Wasserstoffs, der den Lyman- α -Wald erzeugt, auf kleinen Skalen vollständig glatt werden, da hier die Gravitationsinstabilität den Druck nicht überwinden kann.

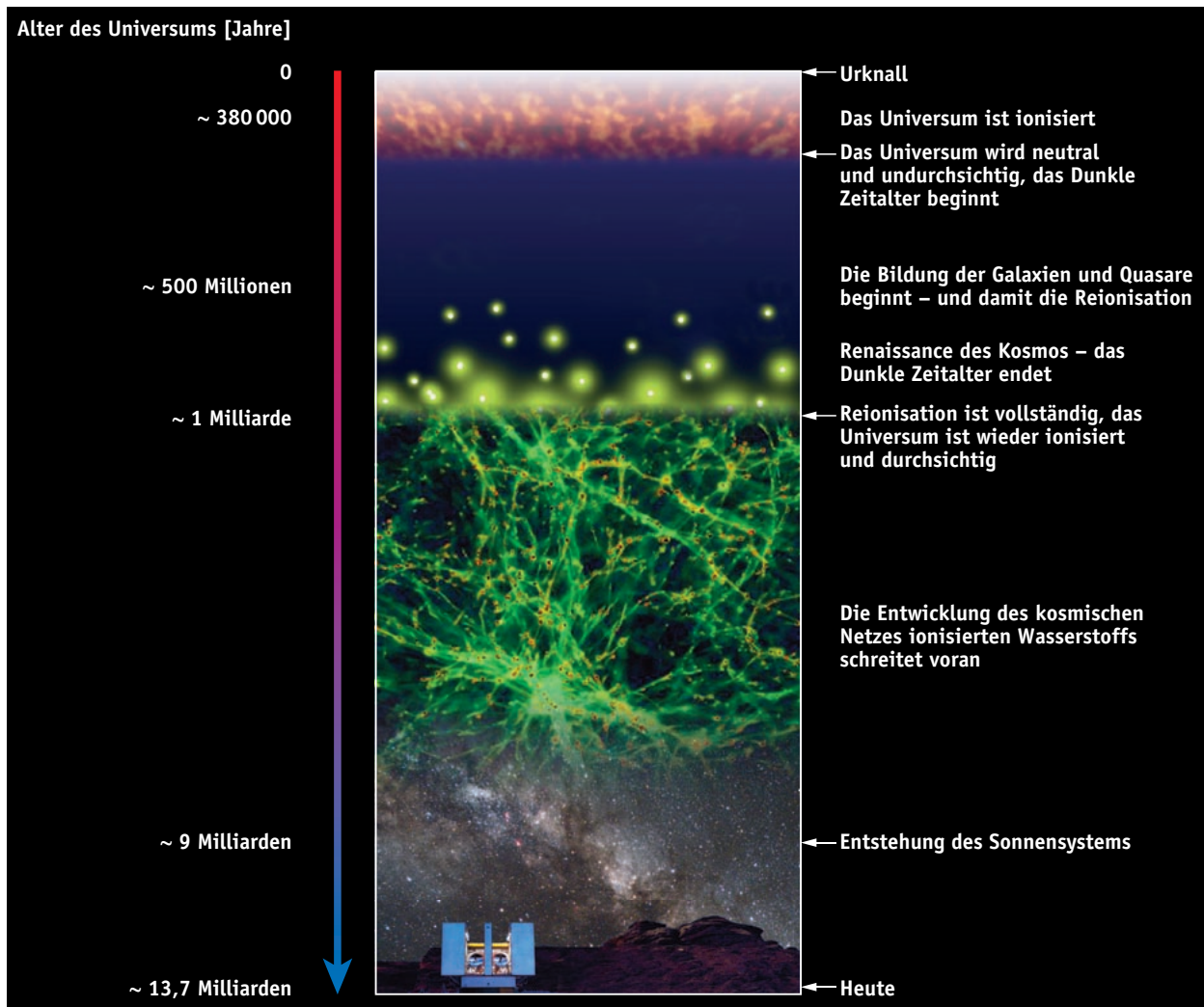


Abb. III.3.6: Eine kurze Geschichte des Universums. Während der ersten drei Minuten nach dem Urknall wurden nur die leichtesten Atome – Wasserstoff und Helium – gebildet. Zunächst waren sie ionisiert, während das Universum noch heiß und dicht war. Mit der kosmischen Expansion kühlte sich das Gas ab und nach 380 000 Jahren, als die Temperatur auf ungefähr 5000 Grad abgesunken war, konnten sich die Atomkerne und Elektronen zu vollständigen Atomen verbinden. Da es zu dem Zeitpunkt noch keine Lichtquellen gab, und weil der gesamte neutrale Wasserstoff das Universum für ultraviolette ionisierende Strahlung undurchlässig machte,

bezeichnen Kosmologen diese Epoche als das kosmische »dunkle Zeitalter«. Mit fortschreitender Strukturbildung begannen sich die ersten Sterne und Galaxien zu bilden und produzierten eine zunehmende Anzahl stellarer ultravioletter Photonen. Ungefähr eine Milliarde Jahre nach dem Urknall reionisierten diese Photonen das IGM, das für ultraviolette Strahlung wieder durchsichtig wurde. Dieser Phasenübergang von einem vollständig neutralen zu einem weitgehend ionisierten Wasserstoffgas ist als kosmische Reionisation bekannt. (Nach: S. G. Djorgovski/Digital Media Center, Caltech)

Unter Verwendung der traditionellen Methode der Untersuchung einzelner Quasar-Sichtlinien war es leider sehr schwierig, die kleinskalige Struktur des Lyman- α -Waldes zu bestimmen, denn die durch die kosmische Expansion bedingte Rotverschiebung erlaubt die Zuordnung von Entfernung und Wellenlänge nur entlang eindimensionaler Sehstrahlen durch das IGM. Wenn die Expansion des Universums absolut gleichmäßig erfolgt wäre, würde das Messen der kleinskaligen Struktur des Lyman- α -Waldes eine einfache Angelegenheit sein. Jedoch treiben Dichte-Inhomogenitäten Bewegungen an,

die lokal leicht von einer gleichmäßigen Expansion abweichen. Weil das IGM-Gas in überdichte Gebiete hineinfällt und von Hohlräumen wegströmt, wird die Beziehung zwischen Entfernung und Geschwindigkeit lokal unwiderruflich verwischt und es wird extrem schwierig, die Struktur des IGM über geringe Entfernungen hinweg mit nur eindimensionalen Messungen zu ermitteln.

Am MPIA wird eine neue Technik zur Messung kleinskaliger Strukturen und damit zur Charakterisierung des thermischen Zustands des IGM entwickelt. Da Quasare am Himmel so selten sind, war der Blick

auf das IGM immer eindimensional. Doch durch die Verwendung enger Quasar-Paare kann die kleinskalige Struktur des IGM zum ersten Mal zweidimensional untersucht werden. Die neu entdeckten Quasar-Paare weisen Querabstände auf, die klein genug sind, um die charakteristische Skala von ~ 100 kpc aufzulösen, auf der die Gaswolken des IGM durch thermischen Druck gegen die Gravitation unterstützt werden. Daraus folgt, dass bei Paaren mit zunehmend kleineren Abständen zwischen den beiden Sichtlinien die Fluktuationen des Lyman- α -Waldes zunehmend kohärenter werden. Abb. III.3.7 zeigt mit dem Keck-Teleskop aufgenommene Spektren der überlappenden Ly α -Wälder des Doppel-Quasars aus Abb. III.3.1 im Vergleich zu den Spektren eines Quasar-Paars bei ähnlicher Rotverschiebung aber mit sehr viel größerem Querabstand (etwa 1 Mpc). Die verblüffende Ähnlichkeit der Absorptionsmuster in beiden Mitgliedern des engen Quasar-Paars zeigt, dass wir die Skala aufgelöst haben, auf der Druckkräfte das IGM glätten. Aus solchen hochwertigen Spektren werden sich Randbedingungen für den thermischen Zustand des IGM und schließlich Einsichten über die kosmische Reionisation ableiten lassen – dieses Arbeitsfeld wird in den nächsten Jahren in unserer Gruppe ein aktiver Forschungsbereich sein.

Mit Quasaren Quasare erforschen

Wir haben etliche Doppel-Quasare bei gleicher Rotverschiebung, die also physisch assoziiert sind, gefunden und zusätzlich die Anzahl bekannter enger projizierter Paare bei unterschiedlicher Rotverschiebung verzehnfacht. Diese Paare weisen kleine Winkel- und damit Querabstände auf, sind aber physisch nicht miteinander assoziiert. In den Absorptionslinien von Wasserstoff und weiteren schweren Elementen im Spektrum des fernen Quasars sind wertvolle Informationen über den physikalischen Zustand des Gases in der Umgebung des näheren Quasars enthalten. Diese einzigartigen Messungen eröffnen einen neuen Weg zur Untersuchung der physikalischen und hydrodynamischen Prozesse, die zur Entstehung ferner Galaxien aus kollabierendem Gas des IGM führen.

Bis vor kurzem galt für die Galaxien folgende Vorstellung. Beim Absturz des intergalaktischen Gases in die Halos aus Dunkler Materie wird Gravitationsenergie in thermische Energie verwandelt, und das Gas wird in Stoßfronten auf Temperaturen von 10^6 K erhitzt. Dieses heiße Plasma kühlt anschließend so weit ab, dass ein kaltes Medium entsteht, in dem sich Moleküle und schließlich auch Sterne bilden. Doch inzwischen haben hydrodynamische Simulationen der Galaxiebildung gezeigt, dass die Abkühlung von stoßerhitztem »virialisiertem« Plasma nur für einen kleinen Teil des für die Sternbildung notwendigen kalten Materials verantwortlich ist. Zusätzlich erfolgt ein »kalter Akkretionsmodus«,

wobei die Galaxien direkt aus dem IGM über große fadenförmige Verdichtungen mit 10^4 K heißem Gas befüllt werden. Die attraktivste Eigenschaft dieses jetzt allgemein akzeptierten Bildes ist der effiziente Transport kalten Gases in die Zentren der Galaxien, der einen natürlichen Mechanismus zur Aufrechterhaltung der in vielen fernen Galaxien beobachteten hohen Sternbildungsraten liefert. Doch der direkte Nachweis dieser kalten Gasflüsse aus der Beobachtung steht noch aus.

Eine weitere wichtige Frage zur Galaxienbildung betrifft die Zweiteilung in massearme blaue Spiralgalaxien und massereichere rote elliptische Galaxien. Die Spiralen sind blau, da ihre Sternpopulationen jünger sind. Da das Alter junger blauer Sterne im Verhältnis zum Alter des Universums sehr kurz ist, deutet dies auf eine kürzliche und kontinuierliche Sternbildung hin. Andererseits sind die Ellipsen rot, da sie keine Sterne mehr bilden und ihre Sternpopulationen bereits älter und damit rötter sind. Im vorgenannten Bild der kalten Akkretion sollten in allen Epochen des Universums große Gasmengen aus dem IGM auf die Vorläufer elliptischer Galaxien akkretieren. Ohne einen Mechanismus zur Unterdrückung der Sternbildung sollte dieser Prozess zu einer (nicht beobachteten) Population massereicher blauer Galaxien führen. Doch ein solcher Mechanismus ist nach wie vor rätselhaft.

Eine beliebte Erklärung für die Unterdrückung der Sternbildung geht davon aus, dass die Quasar-Phase des schnellen Wachstums eines supermassereichen Schwarzen Lochs mit der Entwicklung der Wirtsgalaxie gekoppelt ist. Die Energiebilanz macht dies plausibel: Im Laufe der Lebensdauer eines Quasars setzt die Akkretion auf sein supermassereiches Schwarzes Loch mit etwa $10^9 M_\odot$ eine enorme Energie $E = \epsilon M_{\text{BH}} c^2 \approx 10^{55}$ J frei. Andererseits beträgt die Bindungsenergie einer massereichen Galaxie etwa 10^{53} J. Wenn also nur wenige Prozent der von einem Quasar emittierten Energie an die weitere Umgebung koppeln könnte, würde das ausreichen, um das gesamte Gas aus der Galaxie auszustoßen oder es auf hohe Temperaturen $T \geq 10^6$ K zu erhitzen und die Sternbildung vollständig auszulöschen.

Solche Rückkopplungs-Szenarien wurden zu einem Patentrezept für die Erklärung der beobachteten Eigenschaften von Galaxien, obwohl die Beobachtung bis heute noch keine überzeugenden Hinweise auf die postulierten Kopplungsmechanismen geliefert hat. Um diese Ideen durch Beobachtungen zu testen, müssen wir den physikalischen Zustand des Gases während der Epoche der Bildung der heutigen massereichen roten elliptischen Galaxien auf Skalen von 10 kpc bis 1 Mpc erforschen. Mehrere Nachweislinien deuten darauf hin, dass Quasare tatsächlich die Vorläufer massereicher elliptischer Galaxien sind. Dadurch motiviert, haben wir einen neuen Beobachtungsansatz unter Verwendung projizierter Quasar-Paare entwickelt, bei dem das interstellare Medium und das Halogas eines Vordergrund-Quasars in den Absorptionslinien im

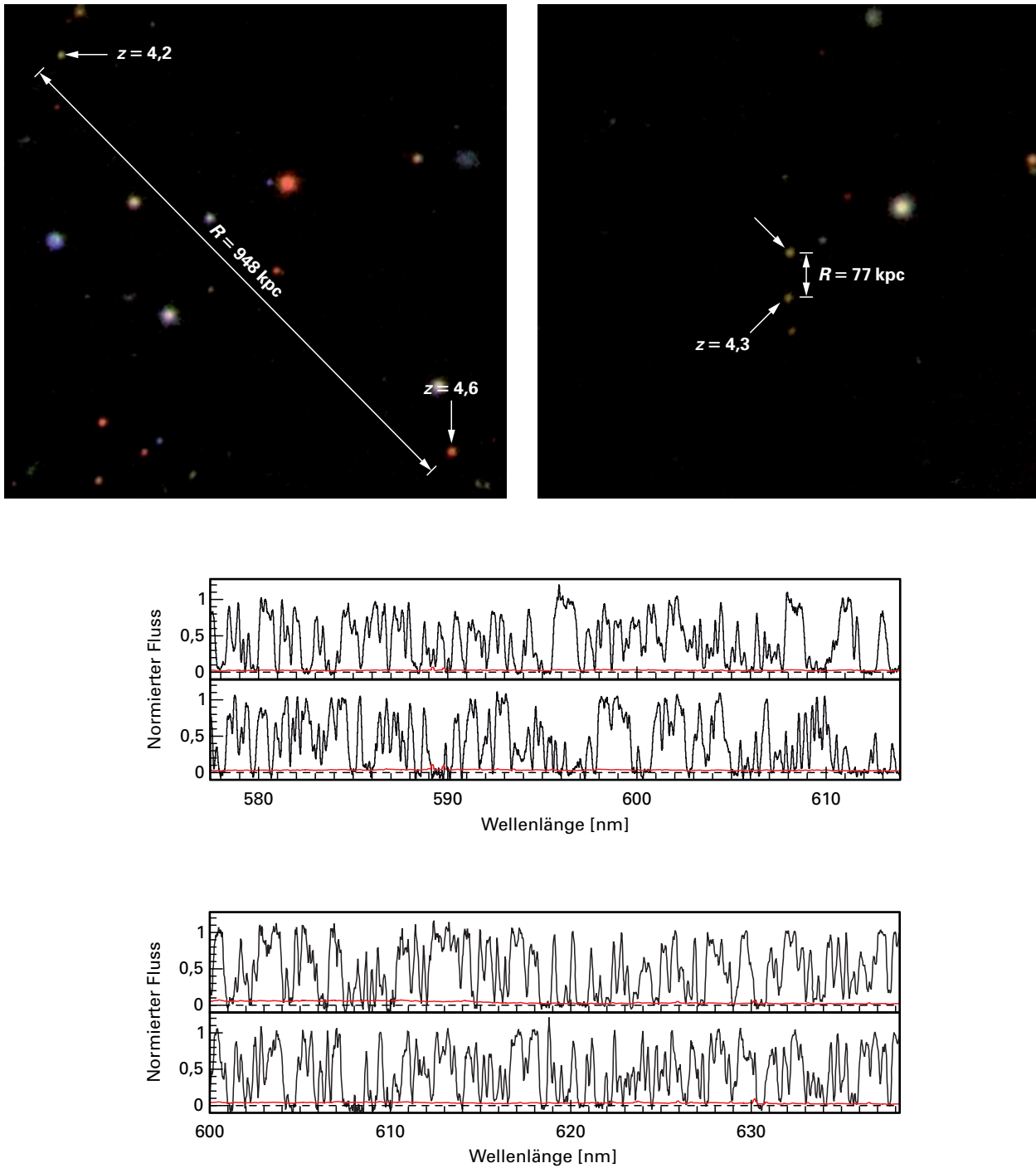


Abb. III.3.7: Vergleich überlappender Spektren des Lyman- α -Waldes weiter und enger Quasar-Paare. *Oben links:* Ein Quasar-Paar bei $z > 4$ mit einem weiten projizierten Abstand $R_{\perp} = 948$ kpc. *Mitte:* Spektren des überlappenden Lyman- α -Waldes für diese beiden Quasare. Die Unterschiede in den Absorptionsmustern der beiden Sichtlinien zeigen, dass wir mit diesen Spektren verschiedene Bereiche des kosmischen Netzes untersuchen. Trotzdem besteht zwischen den Absorptionslinien entlang dieser beiden Sichtlinien eine signifikante Korrelation; doch sie ist mit dem bloßen Auge gerade nicht mehr zu erkennen. *Oben rechts:* Der in Abb. III.3.1 gezeigte enge Doppel-Quasar bei $z = 4,3$ mit einem projizierten Abstand

$R_{\perp} = 77$ kpc. *Unten:* Überlappende Spektren des Lyman- α -Waldes für beide Komponenten dieses Paares. Hier ist die Ähnlichkeit der Absorptionslinien in den beiden Spektren mit dem bloßen Auge erkennbar. Die hohe Kohärenz zwischen den beiden Sichtlinien zeigt, dass der Abstand zwischen den Sichtlinien die Skala auflöst, auf welcher der Druck die Gravitation zu überwinden beginnt und die Struktur des IGM glättet. Aufgrund des Vergleichs der Korrelationen zwischen den Sichtlinien zu diesen und anderen Quasar-Paaren mit kosmologischen Simulationen (Abb. III.3.5) können wir den thermischen Zustand des IGM charakterisieren und die kosmische Reionisation eingrenzen.

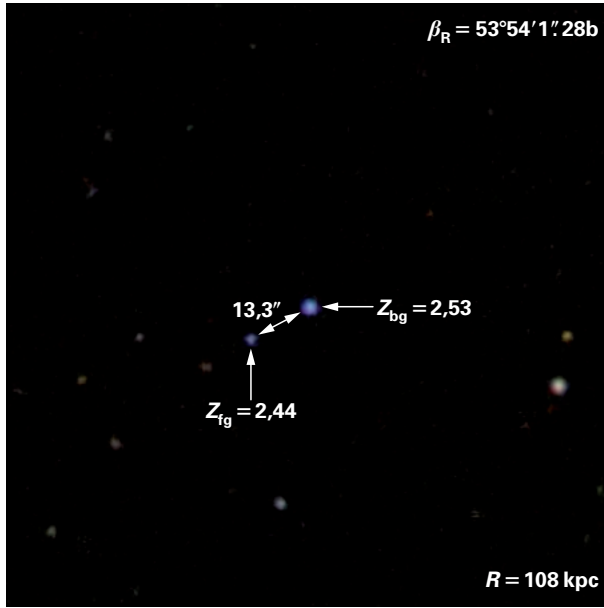
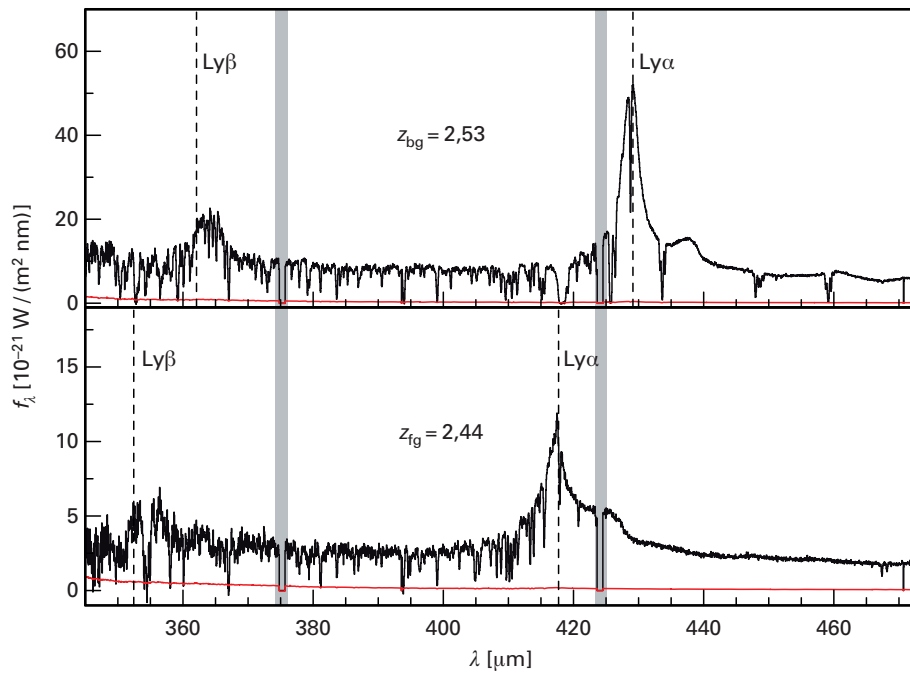


Abb. III.3.8: Studien projizierter Quasar-Paare. *Links:* Das SDSS-Farbbild eines projizierten Quasar-Paars mit einem Abstand von $\theta = 13.3''$ entsprechend $R_{\perp} = 108$ kpc bei der Rotverschiebung des Vordergrund-Quasars. Der durch die Rotverschiebungsdifferenz implizierte Sichtlinien-Abstand beträgt ~ 50 Mpc, die beiden Quasare sind also nicht miteinander assoziiert. *Unten:* Gemini/GMos-Spektrum des Hintergrund-Quasars SDSSJ 1204+0221BG bei $z = 2.53$. Seine Ly α - und Ly β -Emissionslinien sind markiert, die grauen Bänder zeigen Lücken im Spektrum aufgrund von Lücken im Detektor. Das Dickicht der Absorptionslinien kurzweilig der Ly α -Emission ist der auf das intergalaktische Medium zurückgehende Ly α -Wald. Die stärkste Ly α -Absorptionslinie liegt bei $\lambda \approx 418,0$ nm, lediglich um wenige hundert km s^{-1} gegen den Vordergrund-Quasar versetzt. *Darunter:* Das Gemini/GMos-Spektrum des Vordergrund-Quasars. Auch seine Ly α - und Ly β -Emissionen sind markiert und offensichtlich deckt sich die Ly α -Emission mit der starken Ly α -Absorption im Spektrum des Hintergrund-Quasars. Eine detaillierte Analyse der Absorptionslinien im Spektrum des Hintergrund-Quasars liefert uns eine Vielzahl von Informationen über den physikalischen Zustand des kalten Gases im Halo, der den Vordergrund-Quasar umgibt.



Spektrum eines hellen Hintergrund-Quasars untersucht wird, wobei Skalen selbst in einer Größe von 30 kpc aufgelöst werden können. Dieser Ansatz hat den Vorteil des Aufspürens von diffusem Gas über einen großen Dichte- und Temperaturbereich, der von kaltem neutralem Material bei $T \sim 100$ K bis zu stoßionisiertem Plasma bei $T \approx 10^6$ K und für Säulendichten $N \sim 10^{12} - 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ reicht. Abb. III.3.8 zeigt ein Quasar-Paar mit einem projizierten Querabstand $R_{\perp} = 108$ kpc ($\theta = 13.3''$), wobei im Spektrum des Hintergrund-Quasars eine starke Ly α -Absorption an der Position der Ly α -Emission

des Vordergrund-Quasars erscheint. Das Keck-HIRES-Echelle-Spektrum (Abb. III.3.9) ermöglicht uns die direkte Messung der Menge neutralen Wasserstoffs in der Umgebung des im Vordergrund stehenden Quasars und die Auflösung des Geschwindigkeitsfeldes des absorbierenden Gases. Doch am interessantesten ist, dass das von uns in Absorption beobachtete Gas mit schweren Elementen oder »Metallen« angereichert ist, die wir in Absorption anhand von mehr als zwanzig UV-Übergängen verschiedener Ionisationszustände von Elementen wie Si, C, N, O und Fe identifizieren konnten.

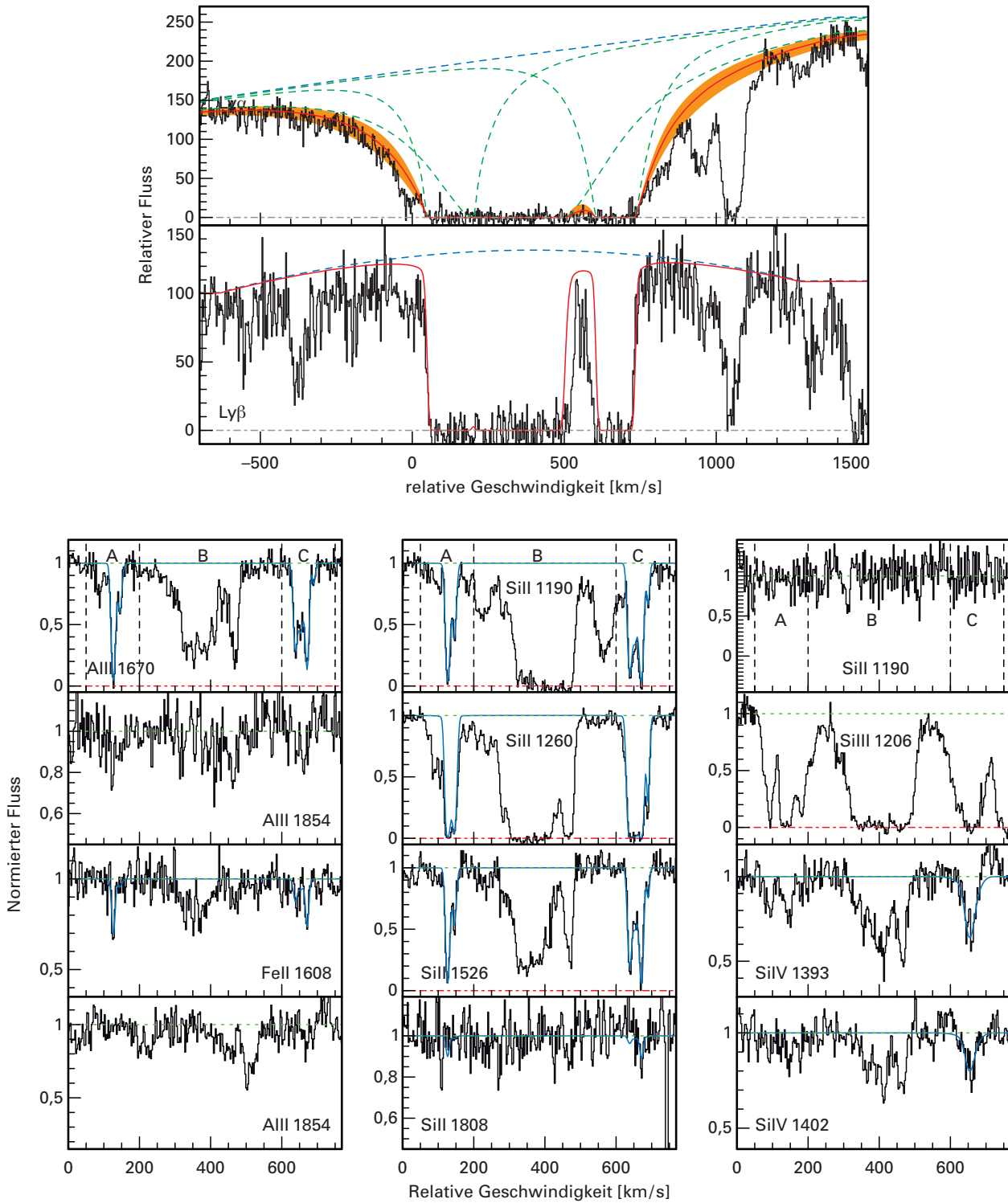


Abb. III.3.9: Die Erforschung des Quasar-Halo-Gases in Absorption anhand eines projizierten Quasar-Paares. *Oben:* Ly α - und Ly β -Profile des im Spektrum des Hintergrund-Quasars in Abb. III.3.8 bei der Rotverschiebung des Vordergrund-Quasars identifizierten kalten Gases. Aus einer simultanen Anpassung an Ly α und Ly β ergibt sich eine Säulendichte $N_{\text{HI}} = 10^{19,65 \pm 0,15} \text{ cm}^{-2}$, die auf ein großes Reservoir kalten ($T \approx 10\,000 \text{ K}$) vorwiegend ionisierten Gases hinweist. *Unten:* Einige der mehr als zwanzig Übergänge verschiedener Ionisationszustände schwerer Elemente, die im links gezeigten

Spektrum des Hintergrund-Quasars in Verbindung mit dem neutralen Wasserstoff identifiziert wurden. Das Gas ist stark mit schweren Elementen angereichert, deren Häufigkeit relativ zum Wasserstoff nahezu den solaren Wert hat. Anhand eines detaillierten Photoionisationsmodells haben wir die Masse des gesamten kalten Gases zu $M \sim 10^{11} M_{\odot}$ berechnet. Die Metalllinien-Komplexe mit einer Linienverbreiterung von $+780 \text{ km s}^{-1}$ zeigen auch die extremen Bewegungszustände im Gas des Vordergrund-Quasar auf.

Die Schichtung der Zustände dieser Metallionen hängt von den detaillierten physikalischen Eigenschaften des absorbierenden Materials ab. Unser akribischer Vergleich des Absorptionslinien-Spektrums mit den Photoionisations-, Stoßionisations- und Stoßanregungsmodellen führt uns bezüglich des absorbierenden Halo-Gases zu folgenden Schlüssen: (1) die Bewegungszustände sind mit einer bis zu $+780 \text{ km s}^{-1}$ reichenden Absorption relativ zum Vordergrund-Quasar extrem; (2) das Gas ist – ähnlich wie in der Sonne – mit einer Vielzahl schwerer Elemente angereichert; (3) das Gas ist bei einer Temperatur $T \approx 10000 \text{ K}$ vorwiegend ionisiert; (4) die Elektronendichte liegt bei $n_e \sim 1 \text{ cm}^{-3}$, was nahelegt, dass die von uns nachgewiesene kalte neutrale Phase sich im Druckgleichgewicht mit einem (unentdeckten) heißen Plasma befindet; (5) es gibt in der Quasar-Umgebung eine vernachlässigbare Menge warmen Gases bei $10^5 \text{ K} \leq T \leq 10^6 \text{ K}$; (6) das Gas wird nicht von der intensiven ionisierenden Strahlung des Vordergrund-Quasars beleuchtet, so dass wir wahrscheinlich »überschattetes« Material von einem teilweise verdeckten Quasar sondieren; (7) die Masse des kalten Gases ($T \sim 10^4 \text{ K}$) beträgt etwa $M \sim 3 \times 10^{11} M_\odot$.

Unser Nachweis einer so großen Menge hoch angereicherten kalten Gases so weit vom Quasar entfernt ($R_\perp \sim 100 \text{ kpc}$) bedarf noch einer Erklärung. Möglicherweise haben wir den kalten Modus der kosmologischen Akkretion nachgewiesen. Doch wenn wir wirklich den Einfall primordialen Gases aus dem IGM entdeckt haben, ist die Tatsache, dass dieses Material so stark mit Metallen angereichert ist, ein großes Rätsel. Man bedenke, dass alle schweren Elemente im Universum im Inneren der Sterne synthetisiert werden. Doch der primordiale Wasserstoff im IGM wurde nie durch diesen nuklearen Abfall kontaminiert. Die beobachtete Häufigkeit der schweren Elemente im IGM relativ zum Wasserstoff ist tausendmal geringer als in der Sonne. Im Bild der kalten Akkretion sollte das von dem IGM in die Galaxien regnende Gas ebenfalls nicht durch Metalle kontaminiert sein. So scheint unser Nachweis einer starken Anreicherung dieser Interpretation zu widersprechen. Tatsächlich passt die hohe Metallizität besser zu einem Ausstoß dieses Gases aus der Wirtsgalaxie des Quasars. Doch wenn wir das entdeckte kalte Gas mit Material assoziieren, das von einem großräumigen galaktischen Ausfluss aufgesammelt wurde, geraten wir in einen weiteren Widerspruch. Unsere Beobachtungen implizieren, dass die Energetik dieses angenommenen Ausflusses extrem ist und sich auf mindestens 5 Prozent der gesamten während der Akkretionsphase des Vordergrund-Quasars freigesetzten Leuchtkraft beläuft. Obwohl die Quasar-Rückkopplungsmodelle es erfordern, dass ein vergleichbarer Anteil der Akkretionsleuchtkraft als Wärme in die Wirtsgalaxie übergeht, nehmen wir an, dass unsere abgeschätzte Energetik die Grenzen der Plausibilität überschreitet, da ein solcher Ausfluss sogar noch mehr Energie hätte abstrahlen sollen.

Aufgrund nur einer einzigen Sichtlinie können wir nicht zwischen kalter kosmologischer Akkretion und einem quasargetriebenen Ausfluss unterscheiden. In Zukunft werden wir mit denselben Techniken die Spektren von etwa 100 solchen projizierten Quasar-Paaren analysieren, um die Umgebungen ferner Galaxien im Detail zu untersuchen. Die Stärke unseres Absorptionslinien-Ansatzes zur Erforschung der Galaxienbildung besteht darin, dass er die ersten beobachteten Randbedingungen für den physikalischen Zustand des Gases auf Skalen $\geq \text{kpc}$ in Protogalaxien mit hohen Rotverschiebungen liefert. Aus theoretischer Perspektive liegt der Vorteil einer direkten Sondierung des Gases in Galaxien darin, dass viele der relevanten hydrodynamischen und physikalischen Prozesse mit Hilfe aktueller Simulationsserien bereits (oder nahezu) aufgelöst sind. Dies bietet einen sehr viel direkteren Test der Galaxienbildungsmodelle als Beobachtungen der stellaren Populationen von Galaxien, da zur Prognose der Sternpopulationen die unsichere »Teilgitter«-Physik der Sternbildung per Hand in die Modelle eingegeben werden muss.

Die Zukunft der Quasar-Paar-Forschung

Quasar-Paare sind einzigartige astrophysikalische Laboratorien, und dieser Beitrag beleuchtet einige ihrer kosmologischen Anwendungen. Alle von uns beschriebenen Experimente wurden zum ersten Mal durchgeführt und so ist es nicht erstaunlich, dass noch viele Fragen offen bleiben. Gegenwärtig ist ein Großteil der Interpretation durch die geringe Anzahl der Stichproben und/oder der im Detail erforschten Objekte begrenzt. Drei am MPIA durchgeführte Projekte werden es uns erlauben, die Erforschung von Quasar-Paaren auf eine stabilere Statistik- und Beobachtungsgrundlage zu stellen.

Unsere erste Stichprobe von Quasar-Paaren wurde bei einer Durchforstung der SDSS-Bilddatenbank entdeckt. Das MPIA ist Partner des PanSTARRS1-Projekts (Panoramic Survey Telescope Rapid Response System), der ambitioniertesten je durchgeführten Himmelsdurchmusterung. PanSTARRS1 nutzt ein 1,8-m-Teleskop mit einem 7 Quadratgrad großen Bildfeld und einer 1,4-Gigapixel-Kamera, um die vom Standort des Teleskops in Haleakala (Hawaii) aus sichtbaren drei Viertel der Himmelskugel in fünf Filtern wiederholt zu kartieren. Ein wichtiger Vorteil liegt darin, dass die PanSTARRS1-Studie synoptisch ist, was bedeutet, dass der Himmel mehrfach wiederholt abgebildet wird. Wir werden daher in der Lage sein, Quasare aufgrund ihrer Variabilität und Farbe zu identifizieren und damit die Effizienz der Suche nach Quasar-Paaren dramatisch verbessern, da PanSTARRS1 ein dreimal so großes Areal wie der SDSS abdeckt, zu lichtschwächeren Objekten reicht und eine höhere Effizienz aufweist. Wir schätzen, dass wir die Anzahl bekannter enger Quasar-Paare verzehnfachen können, so dass etwa 1000 Paare durchaus erreichbar werden.

Die nachfolgende Spektroskopie dieser Paar-Kandidaten zur Bestätigung ihrer Natur wird am 3,5-m-Teleskop des Calar-Alto-Observatoriums erfolgen.

Alle von uns beschriebenen Experimente erforderten hochwertige Folge-Beobachtungen an Teleskopen der 8-m-Klasse. Die Instrumente der ersten Generation am Large Binocular Telescope stellen eine wichtige Ergänzung unserer Quasar-Paar-Forschung dar. Insbesondere tiefe Aufnahmen mit der Large Binocular Camera (LBC) werden zur Suche nach Überdichten von Galaxien in der Umgebung von Quasar-Paaren bei $z \sim 4$ dienen, um zu prüfen, ob es sich tatsächlich um seltene Proto-Galaxienhaufen im frühen Universum handelt. Wir verwenden das erst kürzlich am LBT in Betrieb genommene Instrument LUCIFER 1, eine Nahinfrarot-Kamera mit Spektrographen, um Nahinfrarot-Spektren von Vordergrund-Quasaren in unseren projizierten Paaren zu erhalten. Spektren im Nahinfrarot-Bereich sind wünschenswert, um die Rotverschiebung der Vordergrund-Quasare genau zu bestimmen, die dann zur Erforschung der Kinematik des Vordergrund-Quasars relativ zu dem in der Sichtlinie des Hintergrund-Quasars gemessenen absorbierenden Gas dient. Schließlich wird der Multiobjekt-Doppelspektrograph MODS am LBT die Aufnahme von Spektren noch höherer Qualität, ähnlich den hier gezeigten, ermöglichen.

Wir haben begonnen, projizierte Quasar-Paare mit dem IRAM-Interferometer auf dem Plateau de Bure zu beobachten. Mit empfindlichen Millimeter-Beobachtungen hoffen wir die molekularen Gasmassen, die molekulare Kinematik und die Sternbildungsraten der Vordergrund-Quasare messen zu können. Durch den Vergleich dieser Größen mit der Masse des großskaligen ($\sim 10 - 100$ kpc) kalten Gases, das in die Galaxie fällt und aus unseren

Spektren der Hintergrund-Quasare bestimmt wird, werden wir alle Einzelteile des Puzzles beisammen haben, um zu verstehen, wie entfernte sternbildende Galaxien mit Energie versorgt werden. Wenn nur 10 Prozent des in Abb. III.3.9 entdeckten kalten Gases innerhalb einer dynamischen Zeitskala auf dem Vordergrund-Quasar deponiert werden könnten, wäre dies ausreichend, um die Reservoir molekularen Gases aufzufüllen und die kräftige Sternbildungsaktivität der Population der Quasare bei $z \sim 2 - 3$, die wir bei Millimeter-Wellenlängen erforscht haben, mit Energie zu versorgen.

Die volle Nutzung des wissenschaftlichen Potentials dieser Quasar-Paare erfordert ein vielfältiges Instrumentarium an der vordersten Front moderner kosmologischer Forschung: die Nutzung großer Durchmusterungen, Beobachtungen an den größten Teleskopen mit den leistungsfähigsten Instrumenten, das Verständnis der detaillierten Physik, die den Quasar-Absorptionslinien zugrunde liegt, und Modellrechnungen auf Höchstleistungsrechnern einschließlich Hydrodynamik, Strahlungstransport und komplexer statistischer Analysen der großskaligen Struktur des Universums. Glücklicherweise besteht die Gruppe »Galaxien und Kosmologie« am MPIA aus einer Reihe vielseitig orientierter Forscher, und ist in Projekte involviert, die all diese Bereiche umfassen.

*Joseph F. Hennawi,
in Zusammenarbeit mit:
University of California Observatories, Santa Cruz,
California Institute of Technology, Pasadena,
Princeton University,
University of Illinois at Urbana-Champaign.*

III.4 Sternpopulationen in Galaxien

Sterne sind eine wesentliche Komponente der Galaxien und, obwohl sie weniger als zehn Prozent der gesamten baryonischen Komponente des Universums ausmachen, tragen sie wichtige Informationen über die komplexen Prozesse der Sternbildung und der Aufbauprozesse der heutigen Galaxien. Die Menge der in einer Galaxie vorhandenen Sterne (also die stellare Masse der Galaxie), deren Alter und deren chemische Zusammensetzung sind das Ergebnis der Vorgeschichte der Galaxie in Bezug auf die Sternbildung und die chemische Entwicklung. Die physikalischen Eigenschaften der stellaren Populationen haben im integrierten Licht der Galaxie ihre Spuren hinterlassen. Die Synthese-Modelle der Sternpopulationen stellen das wichtigste Instrument zur Interpretation der integrierten Farben und Spektren von Galaxien in Bezug auf die physikalischen Parameter ihrer Sternpopulationen dar.

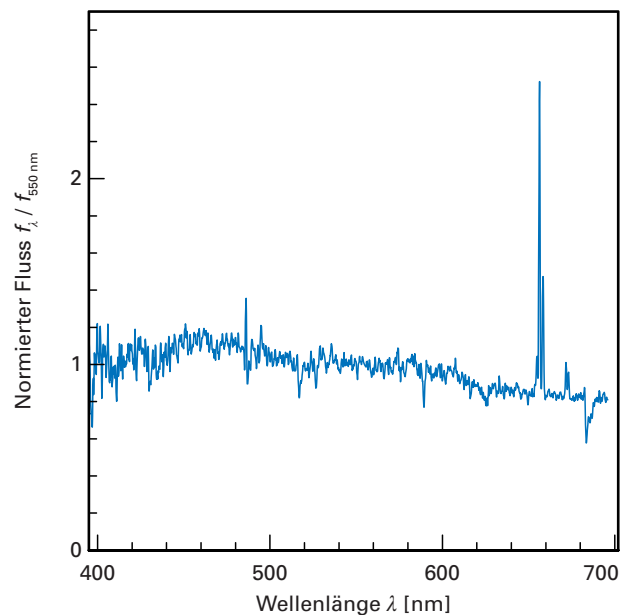
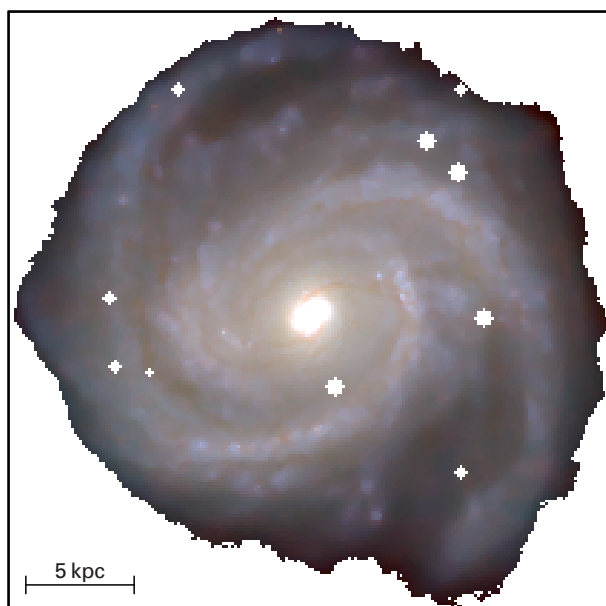
Die stellare Zusammensetzung entfernter Galaxien ist uns aufgrund der Strahlung zugänglich, die uns im Wellenlängenbereich vom UV bis zum optischen und NIR erreicht (siehe Abb. III.4.1). Diese integrierte Strahlung resultiert aus der Emission zahlloser Sterne, die abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Ga-

ses, aus dem sie entstanden, und dem Zeitpunkt ihres Entstehens mehrere Größenordnungen in Masse und Leuchtkraft umspannen und sehr unterschiedliche chemische Zusammensetzungen aufweisen. Darüber hinaus wird die Strahlung weiter durch Staub beeinflusst, der mit einer Effizienz Licht absorbiert und streut, die von der Wellenlänge und der relativen räumlichen Verteilung der Sterne und des Staubs abhängt. Die Interpretation der beobachteten Strahlung zur Ableitung der grundlegenden physikalischen Eigenschaften von Sternpopulationen (ihrer Masse sowie ihrer chemischen Zusammensetzung und Entstehungsgeschichte) stellt deshalb eine große Herausforderung dar. Die Astronomen am MPIA leisten in diesem Bereich in Zusammenarbeit mit internationalen Wissenschaftlern grundlegende Beiträge.

Unter Berücksichtigung der Komplexität der Beziehungen zwischen den Observablen und den physikalischen Parametern sowie der Weite des möglichen Parameterraums hängt der Ansatz, nach dem sich die physikalischen Parameter aus dem integrierten Licht einer Galaxie erschließen lassen, zu einem großen Teil von Modellen ab. Es werden umfangreiche Modell-Bibliotheken angelegt, um die Observablen unter der Annahme

Abb. III.4.1: Die Spiralgalaxie M 100, wie sie im optischen und NIR-Wellenlängenbereich sowie in einem Spektrum mittlerer Auflösung erscheint. Das Bild ist die Überlagerung dreier Aufnahmen bei 1,65 μm (rot dargestellt), 750 nm (grün) und 450 nm (blau). Das rechts gezeigte Spektrum mittlerer Auflösung bietet eine Fülle zusätzlicher Informationen in

Bezug auf die Sternbildungsaktivität, die durch markante Emissionslinien (insbesondere die H α -Linie bei 656,3 nm) bezeugt wird, sowie über das Alter und die chemische Zusammensetzung von Sternen und Gas. (Quellen: Sloan Digital Sky Survey und Goldmine)



verschiedener Eingabesätze physikalischer Parameter vorherzusagen. Die prognostizierten Observablen werden dann mit den beobachteten Größen verglichen, um die physikalischen Eigenschaften von Galaxien zu erschließen. Die von den Modellbauern zur Prognose von Observablen eingesetzte Technik wird als Sternpopulationssynthese bezeichnet.

Sternpopulationssynthese-Modelle

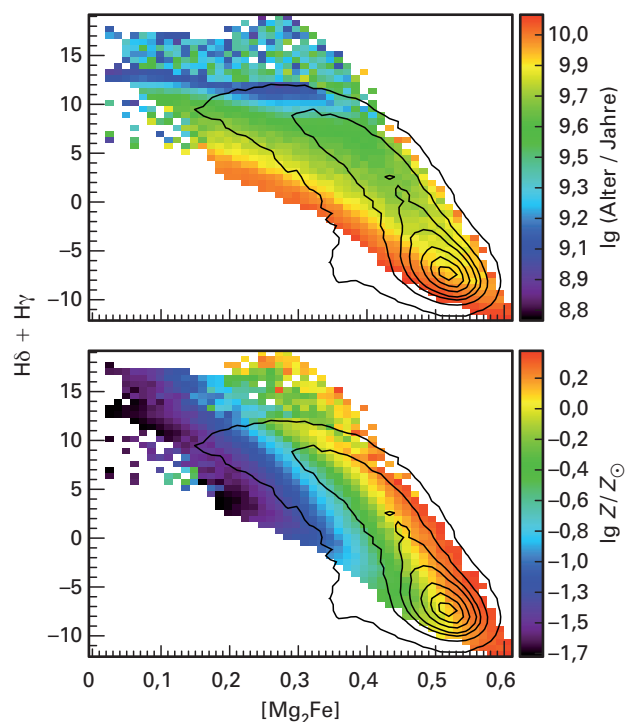
Entfernte Galaxien können nicht in einzelne Sterne aufgelöst werden – wir können lediglich ihr integriertes Licht messen, das aus dem Beitrag der verschiedenen Sternenerationen unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Metallizität resultiert. Die Sternpopulationen einer Galaxie mit einer beliebigen Sternentstehungsgeschichte können in eine Serie einfacher stellarer Populationen (Simple Stellar Populations, SSPs) – also in eine gleichaltrige Sternpopulation, die unmittelbar (in einem Sternentstehungs-Burst) mit einer bestimmten Metallizität entstanden ist – zerlegt werden. Dieses Konzept bildet die Grundlage für Sternpopulationssynthese-Modelle (Stellar Populations Synthesis, SPS). Das Ziel der SPS-Modelle liegt in der Beschreibung der zeitabhängigen Verteilung von Sternen im Temperatur-Leuchtkraft-Diagramm und der Ableitung der integrierten spektralen Entwicklung einer Sternpopulation.

Die Hauptbestandteile der SPS-Modelle sind 1) die Anfängliche Massenfunktion (Initial Mass Function, IMF) von Sternen, die die Verteilung der Sternmassen einer neu entstandenen Sternpopulation beschreibt, 2) die theoretischen Entwicklungslinien von Sternen unterschiedlicher Masse, und 3) die Bibliotheken beobachtbarer oder theoretischer Sternspektren, die in jeder Entwicklungsphase jedem einzelnen Stern zuzuordnen sind. Durch die Kombination dieser drei Bestandteile werden die SPS-Modelle zunächst zur Vorhersage der zeitlichen Entwicklung des Spektrums der SSP einer bestimmten Metallizität verwendet. Die spektralen Eigenschaften einer komplexen Sternpopulation werden dann durch das Aufsummieren der Spektren der SSPs (unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Metallizitäten), aus denen sie besteht, vorhergesagt. Da Galaxien ihre stellare Masse typischerweise über einen Zeitraum von mehreren Milliarden Jahren aufbauen, ist es unabdingbar, über das SSP-Modellieren hinaus zu gehen und komplexe Sternentstehungsgeschichten (Star Formation Histories, SFHs) zu berücksichtigen, um realistische Modelle zu erhalten. Der Vergleich der vorhergesagten spektralen Energieverteilungen mit den beobachteten ermöglicht eine Ableitung physikalischer Parameter der Galaxien, wie zum Beispiel der stellaren Gesamtmasse, des Durchschnittsalters ihrer Sternpopulationen (gewichtet nach ihrer Leuchtkraft) und ihrer durchschnittlichen Metallizität.

Die erste Diagnose der Sternpopulationen einer Galaxie besteht in der Analyse ihrer Breitband-Farben. Sie sind klar mit dem stellaren Masse-Leuchtkraft-Verhältnis (M/L) korreliert und liefern uns somit eine einfache und relativ robuste Einschätzung der Sternmasse der Galaxie. Eine detailliertere Interpretation von Breitband-Farben in Bezug auf Sternpopulationen wird hingegen durch die starke Entartung von Alter und Metallizität, und darüber hinaus in gasreichen Systemen durch die Staubextinktion begrenzt: Alle diese Parameter tendieren dazu, die Farben der Galaxien auf ähnliche Weise rot zu verfärben. Eine gut eingeführte Methode zur zumindest teilweisen Aufhebung dieser Mehrdeutigkeiten besteht darin, sich auf stärker verfeinerte Spektraldiagnosen zu stützen, die auf der Stärke individueller Absorptionsbanden beruhen, die für Alter und Metallizität empfindlich sind und kaum durch eine Abschwächung durch Staubabsorption beeinflusst werden, da sie in engen Wellenlängenbereichen definiert sind. (Siehe Abb. III.4.2)

Moderne SPS-Modelle sind – basierend auf Spektralbibliotheken mit einer verbesserten Erfassung des stellaren Parameterraums – in der Lage, nicht nur Breitband-Farben und die Stärke individueller Eigenschaf-

Abb. III.4.2: Stärke der Balmer-Absorptionslinien ($H\delta + H\gamma$) als Funktion des Metallizitätsindikators $[Mg_2Fe]$. Die Farbkodierung der Modellrechnungen gibt das durchschnittliche Sernalter (*oberes Feld*) und die durchschnittliche stellare Metallizität (*unteres Feld*) an. Die Balmer-Linien sind hauptsächlich gegenüber dem Alter empfindlich, wohingegen der Mg-Fe-Indikator hauptsächlich gegenüber der gesamten Metallizität empfindlich ist: So hilft die Kombination solcher Indizes bei der Aufhebung der Alters-Metallizitäts-Entartung. Die Konturen zeigen die Verteilung der SDSS-Galaxien bei Rotverschiebung $z \sim 0,1$.



ten, sondern das gesamte Spektrum einer beliebigen Sternpopulation bei hoher spektraler Auflösung vorherzusagen. Dies bedeutet eine große Flexibilität im Vergleich von modellierten und beobachteten Galaxiespektren, wenn man die Modelle an die Qualität der Beobachtungen anpasst (anstatt umgekehrt) und so die vollständigen Informationen aus den beobachteten Galaxiespektren extrahiert. Die verbesserte Abdeckung der stellaren Parameter in den Spektralbibliotheken ermöglicht eine bessere Bearbeitung der Komplexität in den SFHs realer Galaxien und weitet die Interpretation auf junge Sternpopulationen aus.

Stellare Massen

Unter vielen Gesichtspunkten zählt die stellare Masse zu den grundlegenden Parametern, die eine Galaxie charakterisieren, und sie steuert eine Anzahl so genannter »Skalierungsbeziehungen«, wie wir im Folgenden aufzeigen werden. Genaue Berechnungen der gesamten stellaren Masse in Galaxien sind unabdingbar, um zu verstehen, wie Galaxien sich entwickeln, indem sie primordiales Gas in Sterne umwandeln, und welche Faktoren die Effizienz dieses Prozesses beeinflussen. Darüber hinaus ermöglicht der Zugang zur aktuellen räumlichen Verteilung der stellaren Masse in einer Galaxie die Untersuchung ihrer Dynamik und ihrer säkularen Entwicklung.

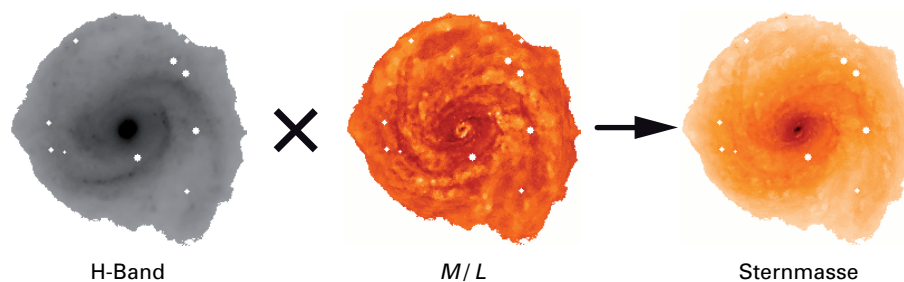
Die Sternpopulations-Synthesemodelle ermöglichen durch Vergleich der Observablen mit Modell-Prognosen die Ableitung von Konversionsfaktoren zwischen der Leuchtkraft und der stellaren Masse (so genannte Masse-Leuchtkraft-Verhältnisse, M/L). Aufgrund der Beobachtung, dass alle drei Parameter die Farben auf gleiche Weise dadurch beeinflussen, dass sie ein intensiveres Rot annehmen, konnte in der Vergangenheit die allgemeine Prognose von SPS-Modellen in großem Umfang bestätigt werden, dass das M/L -Verhältnis mit dem Alter, der Metallizität und der Staub-Extinktion einer Sternpopulation zunimmt. Bell und de Jong (2001) schlussfolgerten richtig, dass die Farbe der Sternpopulationen mit deren M/L korrelieren muss und lieferten einen passenden Formelsatz, um aus einer gegebenen optischen oder NIR-Farbe aufgrund einfacher Annahmen das M/L -Verhältnis zu berechnen. Andererseits ermöglicht die Verwendung von Spektren höherer Auflösung

die Aufhebung der Mehrdeutigkeit der Einflüsse des Alters und der Metallizität und verbessert die Genauigkeit der abgeleiteten M/L -Werte. In den letzten Jahren haben Wissenschaftler am MPIA an der Verfeinerung dieser Methoden und der Quantifizierung der systematischen Unsicherheiten aufgrund der Annahmen gearbeitet, auf denen die Modelle basieren.

In einer 2009 veröffentlichten Arbeit haben Stefano Zibetti, Stéphane Charlot (Institut d'Astrophysique de Paris) und Hans-Walter Rix eine umfangreiche Modellbibliothek einschließlich einer großen Anzahl von SFHs, verschiedener Metallizität sowie Staubmengen und -verteilungen verwendet, um die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit von M/L -Werten als eine Funktion von zwei Farben im Optischen und im nahen Infrarot zu berechnen. Diese Modelle verwenden modernste Verfahren zur Behandlung der wichtigsten stellaren Entwicklungsphasen und stellen aufgrund der Übernahme sehr viel realistischerer SFHs und der Einbeziehung der Einflüsse von Staub eine Verbesserung gegenüber früheren Arbeiten dar.

Diese neuen M/L -Abschätzungen liefern eine typische Genauigkeit von 30 Prozent im nahen Infrarot und damit eine dramatische Verbesserung in Bezug auf die früheren Methoden, die auf nur einer Farbe basieren. Die Methode ist nicht erheblich ungenauer als die auf spektralen Indizes basierenden Methoden. Im Gegensatz zu spektroskopischen Daten ermöglichen Breitband-Aufnahmen mit einer typischen bodengebundenen Auflösung jedoch die Kartierung des M/L -Verhältnisses in Galaxien und damit deren stellarer Massenverteilung für große Galaxien-Stichproben auf eine sehr viel effizientere Weise. Die photometrischen Informationen in drei optischen und NIR-Bändern werden basierend auf einer fortschrittlichen Bildbearbeitungstechnik mit der Bezeichnung »durchschnittliche adaptive Glättung« (Zibetti 2009) zuverlässig an jedem Pixel des gesamten Bildes einer Galaxie extrahiert und zur Berechnung von

Abb. III.4.3: Konzept der Kartierung der stellaren Masse. Die Breitband-Abbildung im NIR-Bereich (*links*, dunkler bedeutet heller) wird mit der Kartierung des Masse-Leuchtkraft-Verhältnisses (*Mitte*, dunkel bedeutet hohes M/L) multipliziert, die durch die Kombination der Flussdichte in verschiedenen Bändern Pixel für Pixel abgeleitet wird, um die Verteilung der stellaren Masse (*rechts*, dunkler bedeutet massereicher) zu erhalten.



M/L kombiniert. Dies wird dann wiederum mit der im Pixel gesammelten Lichtmenge multipliziert, um dessen stellaren Masseninhalte zu erhalten, wie in Abb. III.4.3. gezeigt. Die Analyse einer vorläufigen Stichprobe von neun Galaxien hat ergeben, dass systematische M/L -Abweichungen (z. B. als Funktion des Radius) auf signifikante Weise von der Struktur einer Galaxie abweichen können, wie sie sich aus ihrer Flächenhelligkeitsverteilung ergibt, was einen starken Einfluss auf die abgeleitete Dynamik hat. Eine erste Anwendung dieser neuen Methode der dynamischen Untersuchungen wurde von Kelly Foyle, Hans-Walter Rix und Stefano Zibetti in ihrer Arbeit über Gravitationsdrehmomente in Spiralgalaxien vorgestellt. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass die durch die Integration räumlich aufgelöster Karten abgeleitete gesamte stellare Masse erheblich (bis zu 40 Prozent) von der Masse abweichen kann, die aus den globalen Farben und der globalen Leuchtkraft abgeleitet wird. Dies geschieht in Galaxien mit stark staubverdunkelten Regionen: Während diese Regionen die globale Leuchtkraft und die globalen Farben einer Galaxie kaum beeinflussen, kann ihr Massenanteil erheblich sein und nur dann genau berücksichtigt werden, wenn lokale M/L -Werte berechnet werden.

Dieses Ergebnis beleuchtet einen der wichtigen Faktoren, die die genaue Bestimmung der stellaren Masse in einer Galaxie erschweren, nämlich den Staub. Andere Annahmen, insbesondere in Bezug auf die Sternentstehungsgeschichte, können sogar noch größere Verzerrungen produzieren. Anna Gallazzi und Eric Bell haben untersucht, wodurch unser Wissen von der stellaren Masse in Galaxien begrenzt wird, indem sie die Bestimmung der stellaren Masse an Modell-Galaxien aufgrund photometrischer und spektroskopischer Daten unterschiedlicher Genauigkeit simulierten.

Im allgemeinen wird mit hochwertigen spektroskopischen Daten eine Genauigkeit von mindestens ± 20 Prozent erreicht. Wenn Staubextinktion vernachlässigt werden kann, sowie bei Galaxien, die von alten Sternpopulationen dominiert werden, und bei Galaxien mit glatter SFH können von den Farben ausgehende Abschätzungen eine vergleichbare Genauigkeit erreichen. Das Vorhandensein eines relativ jungen Sternentstehungsausbruchs begrenzt unsere Fähigkeit der Einschränkung von M/L mit einer höheren Genauigkeit als ± 40 Prozent und kann starke Verzerrungen hervorbringen, wenn ausschließlich Farben verwendet werden. Eine wichtige Schlussfolgerung besteht darin, dass eine Nichtübereinstimmung zwischen der angenommenen SFH und den angenommenen Metallizitätsverteilungen einerseits, und den wahren Werten andererseits einen signifikanten Einfluss auf die abgeleiteten M/L -Werte haben kann. In jeder Studie mit dem Ziel, die Sternpopulationen in Galaxien genau zu quantifizieren und zu charakterisieren, sollte man deshalb nach Kräften versuchen, die plausibelsten und umfassendsten Annahmen über die SFH und die Metallizität zu verwenden.

Die Beteiligung des MPIA an der integralen Feldspektroskopie-Durchmusterung CALIFA (siehe unten) ermöglicht uns das umfangreiche Testen von Methoden zur Rekonstruktion stellarer Massen für verschiedene Galaxien bei unterschiedlichen physikalischen Bedingungen durch eine Kombination aufgelöster Breitband- und spektroskopischer Informationen für mehrere hundert Galaxien: Ein riesiges Spielfeld, das unser Verständnis der Sterne und ihrer Entwicklung herausfordert!

Die Miteinbeziehung räumlich aufgelöster Informationen aus anderen Wellenlängen, insbesondere aus dem IR-Bereich, die vom Weltraum-Observatorium HERSCHEL geliefert werden, ermöglicht uns eine bessere Beschreibung des Einflusses von Staub auf die Bestimmung stellarer Massen. Die Astronomen am MPIA beteiligen sich aktiv an der Untersuchung KINGFISH (Key Insights on Nearby Galaxies – Schlüsseleinblicke in nahe Galaxien: eine Fern-Infrarot-Untersuchung mit HERSCHEL) in der ungefähr 60 nahe Galaxien im IR-Bereich mit ausgezeichneter Auflösung beobachtet werden. Stefano Zibetti bemüht sich um Nachfolgebeobachtungen mit optischen und NIR-Abbildungen (KINGSTAR: Key Insights into Nearby Galaxies – Schlüsseleinblicke in nahe Galaxien: der STellar mass Ancillary suRvey für KINGFISH) am deutsch-spanischen Calar-Alto-Observatorium und am ESO-MPG 2,2-m-Teleskop in La Silla, um Karten der stellaren Massenverteilung zu erstellen und den Vorteil dieser enormen Wellenlängenabdeckung und der gleichzeitigen Informationen über stellare und durch Staubabsorption thermalisierte Strahlung zu nutzen.

Auch in der Konstruktion von SPS-Modellen enthaltene Grundvoraussetzungen führen zu systematischen Verzerrungen. Darunter sind die wichtigsten sicherlich 1) die erste stellare Massenfunktion für SPSs, die das M/L ungefähr um den Faktor 2 verändern kann, wenn zwischen extremen Verfahren gewechselt wird, und 2) die auf die Modellierung der kritischen stellaren Entwicklungsphase des thermisch pulsierenden asymptotischen Riesenastes (thermal pulsing asymptotic giant branch – TP-AGB) angewandten Verfahren, welche die Flussdichte insbesondere der Sternpopulationen im Alter zwischen 0,3 und zwei Milliarden Jahren im NIR-Bereich wesentlich beeinflussen können. Am MPIA wurden spektroskopische Beobachtungsprogramme im NIR-Bereich begonnen, um die theoretischen Modellen und spektralen Muster (templates) dieser stellaren Entwicklungsphase zu liefern.

Das Alter und die Metallizität heutiger Galaxien

Seit zehn Jahren gab es große Fortschritte im Verständnis heutiger Sternpopulationen – vorangetrieben durch große und homogene spektroskopische Durchmusterungen, wie zum Beispiel den Sloan Digital Sky Survey, an denen das MPIA neben der Weiterentwicklung von SPS-Modellen beteiligt ist.

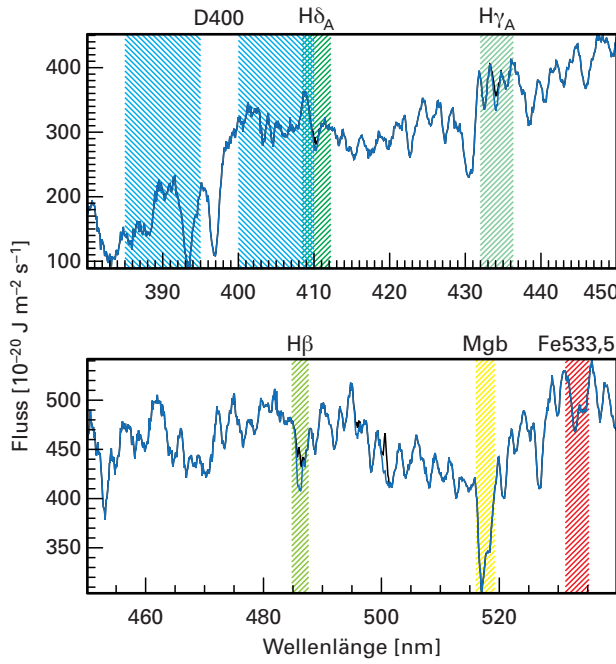
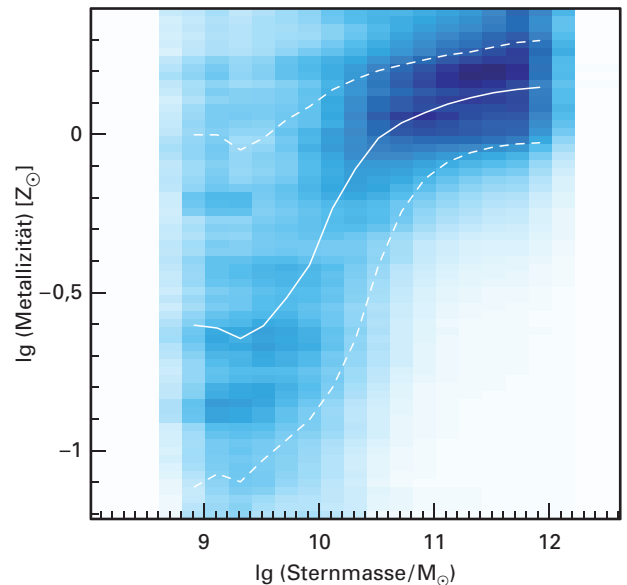
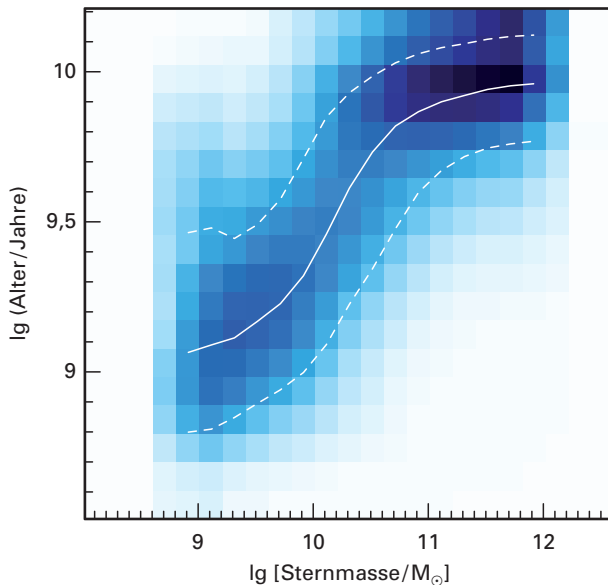


Abb. III.4.4 (oben): Das SDSS-Spektrum der elliptischen Galaxie NGC 5846. *Blau schraffiert* sind die beiden Spektralbereiche, die den 400-nm-break (D400) definieren, während die anderen Regionen den zentralen Spektralbereich gewisser Alters- oder metallizitätsempfindlicher Absorptionsindizes aufzeigen. In Verbindung mit der Stärke der Balmer-Absorptionen dient der D400-Index zur Untersuchung der SFH während der letzten zwei Milliarden Jahre und zur Bestimmung des Sternalters. Die Mg- und Fe-Linien dienen zur Bestimmung der Häufigkeit dieser Elemente. Die hohe Auflösung der Modelle ermöglicht die genaue Berücksichtigung selbst schwacher Emissionslinien, die die reine stellare Absorption kontaminieren (*blaues Spektrum*).

Wissenschaftler am MPIA nutzen modernste SPS-Modelle und optimierte Anpassungsverfahren um die Sternpopulationen heutiger Galaxien höchst detailliert zu interpretieren. Der SDSS liefert Photometrie und Spektroskopie mittlerer Auflösung für hunderttausende Galaxien im nahen Universum ($z \sim 0,1$). Anna Gallazzi entwickelte ein Programm zum Vergleich des beobachteten Spektrums jeder einzelnen Galaxie mit einer umfangreichen Bibliothek von Modellspektren, die einen weiten Bereich von SFHs und Metallizitäten umfassen und robuste Einschränkungen in Bezug auf die Masse, das Alter und die chemische Zusammensetzung der Sternpopulationen der Galaxien ermöglichen. Der Vergleich konzentriert sich auf einen optimierten Satz stellarer Absorptionsmerkmale, die für Alter oder stellare Metallizität empfindlich sind (siehe Abb. III.4.4). Die verbesserte spektrale Auflösung der Modelle ermöglicht die genaue Korrektur der Kontamination des reinen stellaren Spektrums durch Emissionslinien ionisierter Gase, die in Galaxien mit noch laufender Sternentstehung besonders wichtig ist. Darüber hinaus

Abb. III.4.5 (unten): Zusammenhang zwischen der stellaren Masse einer Galaxie und ihrem leuchtkraftgewichteten Durchschnittsalter (*linkes Feld*) sowie zwischen der stellaren Masse der Galaxie und der durchschnittlichen stellaren Metallizität (*rechtes Feld*) ihrer Sternpopulationen. Im Mittel (*durchgezogene Linien*) enthalten massereichere Galaxien ältere Sternpopulationen und haben einen höheren Grad chemischer Anreicherung erreicht, doch beide Relationen zeigen eine signifikante Streuung um den Mittelwert (*gepunktete Linien*). Die schattierten Bereiche geben die zahlenmäßige Dichte der Galaxien in jeder Position im Feld an und zeigen wie diese Galaxien vorzugsweise zwei unterschiedliche Bereiche besiedeln: i) massearm, jung und metallarm sowie ii) massereich, alt und metallreich. Der Übergang zwischen diesen beiden Regimen erfolgt bei einer stellaren Masse von etwa 3×10^{10} Sonnenmassen.



können die Linien der Modellspektren verbreitert werden, um die Geschwindigkeitsdispersion einer Galaxie zu berücksichtigen, welche die Stärke der Absorptionslinien beeinflusst.

Die von Anna Gallazzi an einer repräsentativen Stichprobe naher Galaxien aus dem SDSS durchgeführte Analyse hat eine vollständige Bestimmung der gegenwärtig in den Sternen eingeschlossenen Baryonen und Metalle geliefert. Diese Messungen liefern insgesamt und als Funktion der integralen Eigenschaften der Galaxien wesentliche Einschränkungen der kosmischen SFH und der Effizienz von Rückkopplungsmechanismen, die die Menge der von den Galaxien ausgestoßenen Gase und Metalle regulieren, sowie fundamentale Tests für Modelle der Entstehung und Entwicklung von Galaxien.

Die Galaxien teilen sich entsprechend ihren Observablen in zwei große Klassen auf: Galaxien der »Roten Sequenz«, deren rote Farben zumeist das Altern ihrer Sternpopulationen nach Beendigung der Sternentstehung reflektieren und die zumeist durch elliptische Morphologien charakterisiert werden, und »Blaue Wolken«-Galaxien mit noch aktiver Sternentstehung und scheibenähnlicher Morphologie. Dem entsprechen ausgeprägte physikalische Eigenschaften, die von verschiedenen Entwicklungspfaden abgeleitet werden, die zu allererst aufgrund der stellaren Masse der Galaxien prognostizierbar sind. Es gibt tatsächlich eine deutliche Korrelation zwischen dem mittleren Sternalter und der mittleren Metallizität von Galaxien und ihrer Masse, die entsprechend den Untersuchungen des SDSS drei Größenordnungen der Galaxiemasse umfassen (siehe Abb. III.4.5). Ein schneller Übergang von jungen metallarmen zu alten metallreichen Galaxien erfolgt bei einer charakteristischen stellaren Masse von etwa 3×10^{10} Sonnenmassen und zeigt sich in der Veränderung mehrerer beobachtbarer Eigenschaften, wie zum Beispiel der Farbe und der Morphologie. Diese Abhängigkeiten weisen eine starke Streuung auf, insbesondere im Bereich der Übergangsmasse, wo scheibendominierte sternbildende Galaxien und ellipsenförmige ruhige Galaxien sich überlappen. Diese große Streuung deutet darauf hin, dass Galaxien mit gleicher Masse unterschiedliche Entwicklungspfade eingeschlagen haben, und dass es mindestens einen zweiten Parameter geben muss, der die Eigenschaften der einzelnen Galaxien bestimmt.

Die Umgebung einer Galaxien kann einen wichtigen Einfluss auf ihre Entwicklung haben. Eine isolierte Galaxie bildet so lange ungestört Sterne, bis ihr Gasgehalt erschöpft ist. Wenn eine Galaxie hingegen in einer Gruppe oder einem Haufen von Galaxien lebt, kann sie auf verschiedene Weise mit anderen Galaxien oder mit dem intergalaktischen Medium wechselwirken, wodurch sich ihr Gas-Reservoir, ihre Sternbildungsrate, und damit ihre aktuellen Sternpopulationen ändern. Eine von Anna Gallazzi und Anna Pasquali geleitete Arbeitsgruppe am MPIA hat die Abhängigkeit des Alters bzw. der Metallizität von der stellaren Masse für unterschiedli-

che Umgebungen untersucht. Es ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen isolierten Galaxien und solchen, die im Zentrum von Galaxiengruppen oder -haufen stehen (»Zentrale«) einerseits, und solchen, die von Gruppen oder Haufen aufgesammelt wurden, die aber keine zentrale Stellung einnehmen (»Satelliten«) andererseits. Satelliten-Galaxien sind älter und metallreicher als Zentrale gleicher stellarer Masse. Die Unterschiede zwischen Satelliten und Zentralen sind unterhalb der charakteristischen Masse von 3×10^{10} Sonnenmassen stärker ausgeprägt und erhöhen sich bei gegebener stellarer Masse mit zunehmender Masse der Gruppe oder des Haufens, in dem die Satelliten existieren. Diese Trends sind verständlich, wenn die Satelliten ihre Reserven an heißem Gas bei der Wechselwirkung mit ihrer Umgebung verlieren, was zu einem schnelleren Abklingen der Sternentstehung führt und in massereicheren Gruppen und Haufen in kürzerer Zeit geschieht.

Oberhalb der stellaren Übergangsmasse von 3×10^{10} Sonnenmassen flachen sich die oben besprochenen Skalierungsbeziehungen ab und die Galaxien überspannen einen engeren Bereich physikalischer Eigenschaften. Dieses Regime wird durch ruhige Galaxien der roten Sequenz dominiert. Doch selbst diese bilden bei weitem keine homogene Klasse: Sowohl ihr Alter als auch ihre Metallizität erhöht sich mit ihrer stellaren Masse und sie überspannen in Bezug auf das Alter einen Bereich von fast vier Milliarden Jahren und in Bezug auf die Metallizität einen Faktor 2. Dies gibt uns wichtige Hinweise über die Effizienz der astrophysikalischen Prozesse, die zur Bildung elliptischer Galaxien führen. Massearme Ellipsen weisen zudem bei gegebener stellarer Masse eine nicht unerhebliche Streuung im stellaren Alter auf – das weist entweder darauf hin, dass kleine episodische Ausbrüche von Sternentstehung einige dieser Galaxien »verjüngen«, oder dass die Rote Sequenz an ihrem massenarmen Ende kontinuierlich durch das Abklingen der Sternentstehung in Blaue-Wolken-Galaxien aufgebaut wird.

Raum für Verbesserungen ...

Trotz des unbestrittenen Fortschritts bei unserem Verständnis der heutigen Galaxien bleibt die Verbesserung der Modelle und der spektralen Anpassungstechniken von größter Bedeutung, um genauere Einschränkungen für die Massen und Sternpopulationen sowohl naher Galaxien als auch bei höheren Rotverschiebungen zu erhalten. Insbesondere basieren die meisten verfügbaren SPS-Modelle auf Spektren von Sternen, welche die Häufigkeitsverhältnisse chemischer Elemente in der Sonnenumgebung reflektieren. Das Verhältnis $[\alpha/\text{Fe}]$ zwischen α -Elementen und Elementen der Eisengruppe ist ein Indikator für die relative Anreicherung durch Supernovae vom Typ II (SN II) und Supernovae vom Typ I (SN I). SN II tragen hauptsächlich zur Anreicherung der

α -Elemente bei und erfolgen innerhalb einer kurzen Zeit von nur zehn Millionen Jahren. Dagegen leisten SN I wichtige Beiträge zur Eisengruppe und erfolgen über eine längere Zeitskala von einigen Milliarden Jahren. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Zeitskalen dieser Ereignisse ist $[\alpha/\text{Fe}]$ ein Zeitmesser der Sternentstehungsaktivität.

Die Begrenztheit der stellaren Bibliotheken der SPS-Modelle führt möglicherweise zur Verfälschung der Analyse von 1) massereichen Ellipsen, die sowohl eine hohe Gesamtmetallizität, als auch eine Überhäufigkeit der Alpha-Elemente in Bezug auf Eisen aufzuweisen scheinen, und 2) der Galaxien bei hoher Rotverschiebung, in denen SN I noch keine Zeit hatten, in ihrem interstellaren Medium das Eisen anzureichern. In einer internationalen Zusammenarbeit entwickelt Anna Gallazzi einen neuen Ansatz, um die Reaktion des gesamten Spektrums auf alle möglichen Variationen der Metallizität und des $[\alpha/\text{Fe}]$ -Verhältnisses zu prognostizieren. Mit diesen fortschrittlichen Instrumenten wird es möglich sein, zusätzlich zum mittleren Alter und zur gesamten Metallizität das $[\alpha/\text{Fe}]$ -Verhältnis der Sternpopulationen in Galaxien mit beliebiger SFH zuverlässig einzuschränken. Dies wird einen direkten Einblick in die Zeitskala der Sternentstehung als Funktion von Galaxiemasse und -umgebung liefern.

Eine weitere Begrenzung, die die meisten Studien der Sternpopulationen bei geringer Rotverschiebung einschließlich der auf dem SDSS basierenden Studien beeinflusst, besteht darin, dass Spektren aufgrund instrumenteller Einschränkungen immer nur einen Bruchteil des Galaxienlichtes aufsammeln. Dieser Bruchteil variiert mit der Entfernung der Galaxien und ihrer Helligkeitsverteilung (also ihrer Morphologie). Dies kann zu Verzerrungen bei der Berechnung der physikalischen Parameter führen, da das typische Alter und die typische Metallizität von Sternen als eine Funktion des galaktischen Radius variieren können. Die Berücksichtigung solcher Einflüsse ist ohne eine genaue Kenntnis der Alters und Metallizitätsgradienten als Funktion der Masse und der Morphologie extrem schwierig. Die Aneignung solcher Kenntnisse ist eines der Ziele des CALIFA-Projekts, einer feldspektroskopischen Untersuchung naher Galaxien, die unter Beteiligung mehrerer MPIA-Wissenschaftler am Calar Alto 3,5-m-Teleskop durchgeführt wird. Die bei dieser Untersuchung gesammelten Daten werden die Konstruktion räumlich aufgelöster Karten der Absorptionslinienindizes sowie abgeleiteter Sternpopulationsparameter für eine repräsentative Stichprobe naher Galaxien ermöglichen, die einen großen Bereich stellarer Masse und Sternentstehungsaktivität erfasst. Darüber hinaus werden Gradienten im Sternalter und in der stellaren Metallizität in Verbindung mit Gradienten der Gasphasen-Metallizität, der stellaren Massenverteilung und -dynamik (alles Ergebnisse von CALIFA) fundamentale Einschränkungen der möglichen Szenarien der Galaxienbildung und der chemischen Anreicherung liefern.

Die Entwicklung massereicher Galaxien

Die Galaxienpopulation oberhalb der Übergangsmasse von 3×10^{10} Sonnenmassen wird durch ruhige Galaxien der Roten Sequenz dominiert. Heute tragen sie mehr als die Hälfte der gesamten stellaren Massendichte im Universum bei und enthalten doppelt so viele in Sternen gebundene Metalle wie die Blaue-Wolken-Galaxien. Die allgemeine Zunahme des Alters und der Metallizität mit der Galaxiemasse, die bei geringer Rotverschiebung beobachtet wird, führt zu einem Bild, in dem die Sterne in massereicheren Objekten eher entstanden sein müssen als jene in massearmen. Dies passt auch zu der seit der Rotverschiebung $z = 1$ beobachteten Abnahme der kosmischen Sternentstehungsrate in Abhängigkeit von der Masse: Massereiche Galaxien der Roten Sequenz haben vor mehr als acht Milliarden Jahren eine Epoche hoher Sternbildungsaktivität durchlaufen und sind seitdem zumeist ruhig gewesen – während massearme Galaxien bis in die Gegenwart weiter Sterne bilden, wenn auch mit abnehmender Rate. Trotzdem weisen Beobachtungen bei verschiedenen Rotverschiebungen darauf hin, dass die Population der Galaxien der Roten Sequenz im Laufe dieses Zeitraums kontinuierlich gewachsen ist und ihre gesamte stellare Massendichte verdoppelt hat. Welche Mechanismen steuern die Entwicklung der Galaxien zwischen $z = 1$ und $z = 0$ und bewirken die Unterdrückung der Sternentstehung in Blaue-Wolken-Galaxien und den Aufbau der Roten Sequenz?

Die Verfolgung der Evolution des Alters und der chemischen Zusammensetzung der massereichen Galaxienpopulation über diesen Zeitraum ist entscheidend, um diese Frage näher beleuchten zu können. Ein internationales Team von Astronomen hat unter der Führung von Anna Gallazzi tiefe Multiobjekt-Spektroskopie mittlerer Auflösung an einer Stichprobe von 100 massereichen Galaxien bei Rotverschiebung $z \sim 0.7$ gesammelt. Für diese aus der COMBO-17-Durchmusterung des MPIA entnommene Stichprobe liegen auch Beobachtungen bei verschiedenen Wellenlängen vom UV bis zum fernen Infrarot sowie Aufnahmen des Weltraumteleskops HUBBLE, und damit gute morphologische Charakterisierungen vor (GEMS-Projekt des MPIA). Die spektroskopisch abgeleiteten Eigenschaften der Sternpopulationen in Galaxien bei hohen Rotverschiebungen in Verbindung mit Sternentstehungsdiagnostik und -morphologie werden zum Verständnis ihrer Entwicklung führen und klären, ob gewaltsame Prozesse (zum Beispiel Galaxienverschmelzung) oder eher graduelle Prozesse (zum Beispiel »gas stripping«) für die Entstehung heutiger Galaxienpopulationen eine wichtige Rolle gespielt haben.

*Anna Gallazzi, Stefano Zibetti, Eric Bell,
Kelly Foyle, Anna Pasquali, Hans-Walter Rix,
in Zusammenarbeit mit:
Institut d'Astrophysique de Paris,
Max-Planck-Institut für Astrophysik,
ESA-ESTEC, University of Utah.*

IV. Instrumente und Projekte

Aus unseren laufenden Instrumentierungsaktivitäten für das LBT berichten wir hier über hochgenaue und interferometrische Abbildungssysteme und Spektrographen (LUCIFER 1/2 und LINC-NIRVANA), sowie über künstliche Sterne und aktive Optik (ARGOS). Das MPIA beteiligt sich an der Planung für METIS, eine Kamera mit Spektrographen für das europäische E-ELT. Für das Calar-Alto-Observatorium ist die Durchmusterungs-Kamera PANIC im Bau. Schließlich berichten wir über spezielle technologische Entwicklungen in unseren technischen Abteilungen.

IV.1 Instrumente und Projekte für das LBT

LUCIFER 1 und 2: Infrarotkameras und Spektrographen

LUCIFER 1 und LUCIFER 2 sind nahezu identische Instrumente für den Einsatz im nahen Infrarot. Die beiden komplexen Systeme bestehen jeweils aus einer hochauflösenden Infrarotkamera, einem Langspaltspektrographen und einem Multi-Objekt-Spektrographen und sind als zentrale Infrarotgeräte am LBT vorgesehen. Im Berichtsjahr wurde LUCIFER 1 in Betrieb genommen. LUCIFER 2 soll in einem Jahr folgen.

LUCIFER 1 und 2 liefern Infrarotbilder und -spektren, sowohl mit seeing- als auch mit beugungsbegrenzter Winkelauflösung. Die Instrumente werden bei Temperaturen unter 70 K arbeiten. Im Wesentlichen stehen die folgenden Beobachtungsmodi zur Verfügung:

- Seeing-begrenzte Aufnahmen – Gesichtsfeld $4' \times 4'$
- beugungsbegrenzte Aufnahmen mit einem Gesichtsfeld von $0,5 \times 0,5$ Quadratbogenminuten
- Seeing- und beugungsbegrenzte Langspalt-Spektroskopie
- Multi-Objekt-Spektroskopie mit geteilten Masken

Zusätzlich ist für LUCIFER 2 ein Modus für differenzielle Abbildungen in Arbeit, der insbesondere für die Untersuchung von Exoplaneten nützlich sein wird.

Der Wechsel des Beobachtungsmodus von der Direktabbildung auf die Spektroskopie geschieht durch das Schwenken der Gittereinheit (Austausch eines Planspiegels gegen ein Gitter) und den Wechsel von einer feldbegrenzten Fokalmaske zu einer Langspalt- oder Mehrspalt-Maske. Den Austausch der Fokalmasken bewerkstelligt ein kompliziertes kryogenes Robotersystem, das

Abb. IV.1.1: LUCIFER 1 wird am Gregory-Fokus des LBT angebracht.





Abb. IV.1.2: Dreifarbiges Bild des Sternentstehungsgebiets S255, aufgenommen mit LUCIFER 1. Das $5,5 \times 5,5$ Quadratbogenminuten große Bild ist zusammengesetzt aus mehreren 4×4 Quadratbogenminuten großen Einzelaufnahmen. Blau entspricht dem H-Band, Grün der H_2 ($2.12 \mu\text{m}$)-Linie und Rot dem K-Band. (Arjan Bik et al.)

eine bestimmte Fokalmaske aus einem Magazin entnimmt und in der Fokalebene platziert. Das Maskenmagazin kann tagsüber ohne Kryozyklus des Instruments ausgetauscht werden.

Im Berichtsjahr wurde während mehrerer Inbetriebnahmelaufe das Zusammenspiel von Instrument und Teleskop getestet und optimiert. Weiterhin wurde das auf Mount Graham für die Instrumente zuständige Team in den Betrieb und die Wartung von LUCIFER eingewiesen. Danach erfolgte noch ein letzter Inbetriebnahmelauf, bevor das Science Demonstration Team im Dezember 2009 den Betrieb aufnahm. Zwar stand die durch voll-adaptive Optik gestützte Konfiguration am Teleskop noch nicht

zur Verfügung, dennoch konnten alle Beobachtungsmodi erfolgreich getestet werden. Sobald der verformbare Spiegel einsatzbereit ist, können möglicherweise verbleibende, unter dem Seeing-Limit in Erscheinung tretende Pfadfehler berücksichtigt und vom AO-System korrigiert werden.

Bis Ende 2009 wurde LUCIFER 2 am MPE vorbereitet und wird im Frühjahr 2010 zum endgültigen Zusammenbau und nachfolgenden Tests zum MPIA transportiert. Nach der Endabnahme in Europa, die voraussichtlich vor Ende 2010 erfolgt, wird das Instrument an das Teleskop geliefert.

*Rainer Lenzen, Werner Laun,
Michael Lehmitz, Ulrich Mall,
Vianak Naranjo, Karl Wagner, Clemens Storz
In Zusammenarbeit mit
Landessternwarte Heidelberg,
MPE Garching und weiteren Partnern.*

LINC-NIRVANA: Abbildendes Nah-Infrarot-Interferometer für das LBT

Die Kombination von LINC-NIRVANA (LN) und LBT ist eine einzigartige interferometrische Anordnung, da die beiden 8,4-m-Hauptspiegel auf einer gemeinsamen Montierung eine orientierungsunabhängige Eintrittspupille des Instruments darstellen. Damit kann LN im sogenannten Fizeau-Modus arbeiten, die Auflösung entspricht der eines 23-m-Spiegels, die Lichtstärke der eines 12-m-Spiegels, bei großem Gesichtsfeld. Bei LN kommen diverse neuartige Technologien zum Einsatz, einschließlich multikonjugierter adaptiver Optik, modernster Materialien, mechanischer Kühlsysteme mit geringsten Vibrationen, aktiver und passiver Steuerung, und hochkomplexer Software zur Datenanalyse.

Im Berichtsjahr erzielte das LN-Team weiterhin stetige Fortschritte bei der Integration des Instruments und bei den entsprechenden Tests. Das LN-Konsortium führt diesen Prozess nach einem hierarchischen Schema durch. Zunächst werden die einzelnen Komponenten beim Hersteller getestet. Anschließend werden sie in einem konventionellen Labor in die entsprechenden Untersysteme integriert, und schließlich werden die funktionstüchtigen Untersysteme im großen Reinraum des MPIA auf dem Königstuhl zusammengebaut. Ende 2009 waren die meisten und wichtigsten Komponenten und Untersysteme komplett, und mehrere waren bereits zur Integration in Heidelberg.

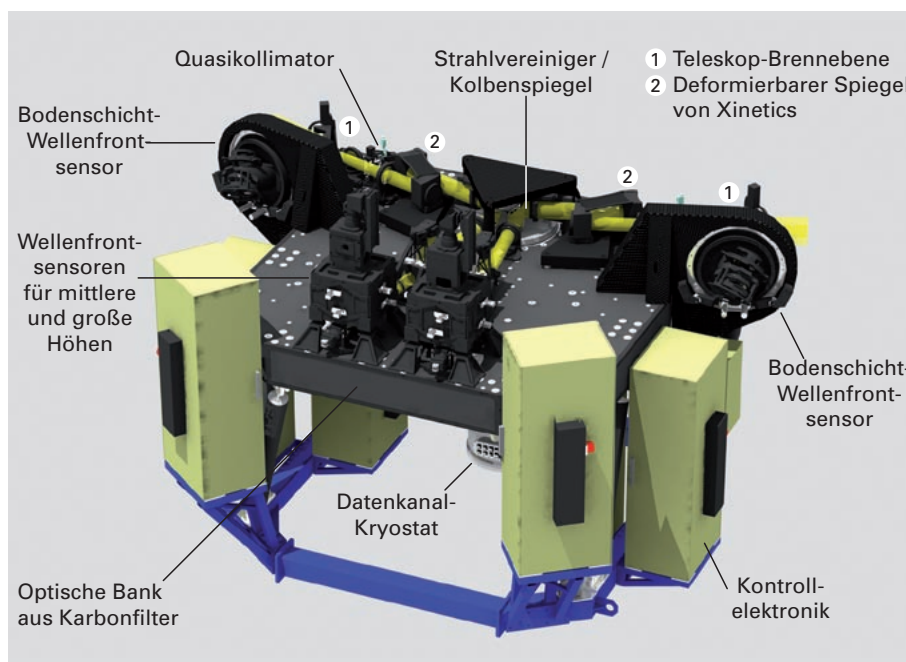
Zu den wichtigen Fortschritten während des Berichtsjahres zählen bei der adaptiven Optik die Ausrichtung der einzelnen Sternsensoren im ersten Wellenfront-Sensor für die mittlere Atmosphärenschicht, das Schließen

des Regelkreises im Labor und der Entwurf der beiden Multilayer-Turbulenz-Simulatoren. Unsere LN-Partner in Bologna und in Padua stellten den zweiten Wellenfront-Sensor für mittlere Atmosphärenschichten und den ersten Wellenfront-Sensor für bodennahe Schichten fertig. Beide sind bereit für die Lieferung nach Heidelberg und die Integration auf der optischen Bank im Jahr 2010.

Beim Bau des Kryostaten, der den Wissenschaftskanal und den FrInGe-Tracker enthält, gab es erhebliche Fortschritte. Alle Tests der internen Kryomechanismen, einschließlich des Sekundärspiegels, der Filterräder und des Detektor-Derotators wurden bis Jahresende entweder abgeschlossen, oder befanden sich in der Verifikationsphase unter Betriebsbedingungen in einem kleineren Testkryostaten. Ein weiteres wichtiges Zwischenergebnis war der Abschluss der Charakterisierung und Minimierung der durch den einzigen Kühlungsmechanismus verursachten Schwingungen, und eine erste Integration der kalten Komponenten in dem Kryostaten erwies sich als erfolgreich. Weiterhin zeigten sich die Verfahren zur Installation des Kryostaten und seiner Ausrichtung bezüglich der Optik als zielführend.

Das aktualisierte gemeinsame Software-Paket wurde regelmäßig herausgegeben, und Komponenten der endgültigen Kontrollsoftware wurden für die Integration mit der Hardware und die Labortests bereitgestellt. Im Sommer 2009 gab es ein Arbeitstreffen mit den künftigen Nutzern über Vorbereitung und Planung von Beobachtungsabläufen. Die entsprechende Software wurde mittlerweile ausgetestet, sodass man sich nun auf die noch

Abb. IV.1.3: Computerdarstellung der Teilsysteme von LN auf ihrer optischen Bank. Die Strahlengänge sind gelb markiert.



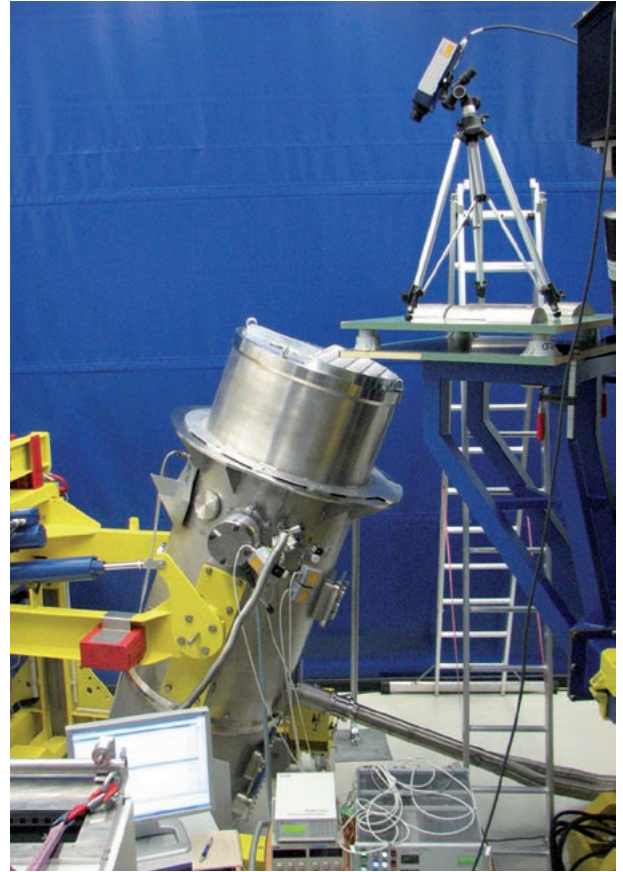
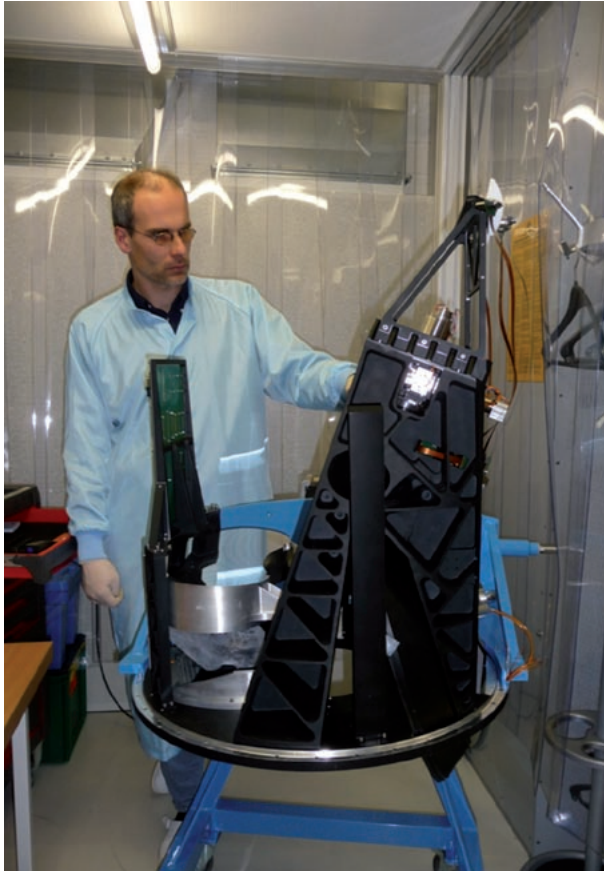


Abb. IV.1.4: *Links* – das Vibrationsverhalten des Kühlsystems für den Kryostaten wird interferometrisch getestet. Man beachte die Leitungen für das Heliumgas, die den Kryostaten mit dem fernen mechanischen Kühlsystem verbinden. *Rechts* – die kalte Optomechanik von LN im Reinraum.

unvollständigen gemeinsamen Software-Module konzentrieren kann. Auch die Datenreduktions-Software ist weit entwickelt und befindet sich bereits in den Händen zukünftiger Nutzer.

LN ist ein gemeinsames Projekt deutscher, italienischer und amerikanischer Partner. Wesentliche Beiträge kommen von unserem Institut, INAF (Padova, Bologna, Arcetri und Rom), Köln und dem MPI für Radioastronomie in Bonn.

*Harald Baumeister, Thomas Bertram,
Jürgen Berwein, Peter Bizenberger, Armin Böhm,
José Borelli, Florian Briegel, Mario Brix,
Fulvio DeBonis, Roman Follert, Wolfgang Gässler,
Tom Herbst (PI), Ralph Hofferbert, Frank Kittmann,
Martin Kürster (PM), Lucas Labadie, Werner Laun,
Ulrich Mall, Tobias Maurer, Daniel Meschke,
Lars Mohr, Vianak Naranjo, Aleksei Pavlov,
Jörg-Uwe Pott, Jose Ricardo Ramos,
Hans-Walter Rix, Ralf-Rainer Rohloff,
Eva Schinnerer, Clemens Storz,
Jan Trowitzsch, Karl Wagner,
in Zusammenarbeit mit:
INAF (Padova, Bologna, Arcetri, Roma, Genova),
University of Cologne, MPIfR Bonn.*

ARGOS: künstliche Sterne und adaptive Optik

ARGOS, das »Advanced Adaptive Optics System«, wird am LBT künstliche Laser-Leitsterne erzeugen und die Verformung der Wellenfront innerhalb eines vier Bogenminuten großen Gesichtsfeldes kompensieren. Zur Korrektur der Turbulenz in bodennahen Schichten werden oberhalb der beiden LBT-Hauptspiegel jeweils drei gepulste Laserstrahlen genutzt. Anders als übliche einfach konjugierte adaptive Optiken, wird ARGOS die Beugungsgrenze des Teleskops nicht erreichen, aber es wird die Bildqualität für LUCIFER um mindestens einen Faktor 1.5 in der Halbwertsbreite verbessern und die Energiekonzentration für LUCIFERS Multiobjektspektroskopieeinheit um mindestens einen Faktor 2 erhöhen.

Nachdem ARGOS im März 2009 das »Preliminary Design Review« erfolgreich überstanden hatte, folgte die Phase seines endgültigen Entwurfs, die im März 2010 mit einer weiteren Begutachtung abgeschlossen wird. Das umfangreiche ARGOS-System ist über das gesamte Teleskop verteilt. Das Kontrollsystem und die Software für ARGOS werden am MPIA entwickelt.

Abb. IV.1.5 zeigt das Kontrollsystem für ARGOS. Der optische Pfad ist farbig gestrichelt dargestellt, die Kontrollwege sind als durchgezogene Linien mit Pfeilen gezeichnet. Die »Clock« synchronisiert den Sensor mit den Lasereinheiten. Die dazugehörige Verbindung ist gestrichelt gezeichnet.

Abb. IV.1.5: Das Kontrollsystem für ARGOS. Kreise beschreiben optische Elemente (M1 – Primärspiegel, HEX – Hexapod, ASM – Adaptiver Sekundärspiegel, M3 – Tertiärspiegel, DIC – chromatischer Strahlteiler, TT – Tip-Tilt Spiegel, BS – Strahlteiler, LM – Laserprojektionsspiegel, PUP – Ablenkspiegel), Rechtecke stellen die Kontrolleinheiten, bzw. andere Instrumenteneinheiten dar.

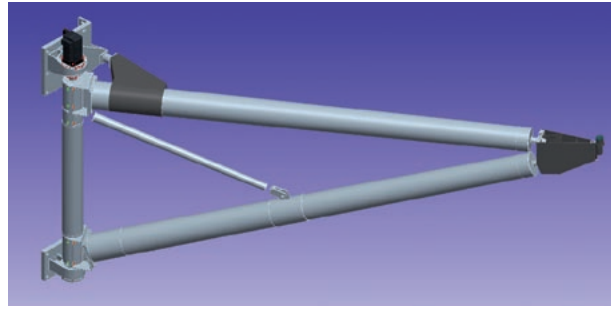


Abb. IV.1.6: Der ARGOS-Kalibrationschwingarm, der aus Karbonteilen gebaut wird.

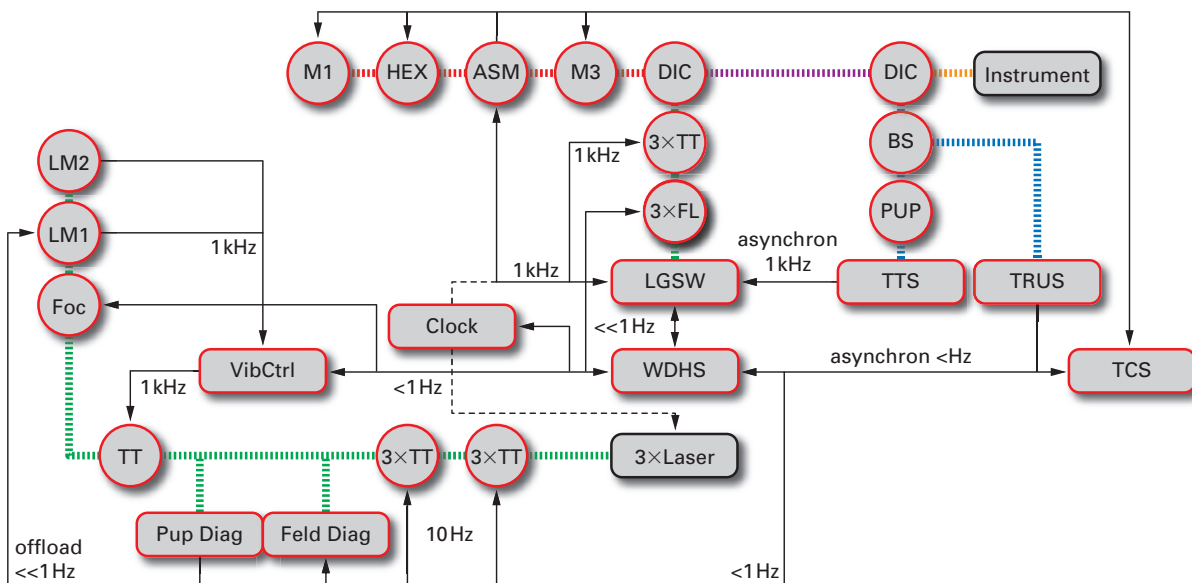
Um die Zeit für Kalibrationen des Systems während der Nacht gering zu halten und um das System auch tagsüber testen zu können wird am MPIA eine Kalibrationseinheit mit künstlichen Sternen entwickelt. Dafür wird ein zusätzlicher Schwingarm gebaut, für den Karbonteile eingesetzt werden (Abb. IV.1.6). Wegen seiner hohen Steifigkeit und seines geringen Gewichts wird Karbon für den Bau der Großteleskope der nächsten Generation eine wichtige Rolle spielen. Am MPIA wird der Schwingarm in Zusammenarbeit mit der Firma CGB GmbH entwickelt. Die Firma hat unter anderem ein neues Verfahren entwickelt, um, ausgehend von einem 3D-Modell, Karbonteile direkt zu fertigen. Von dieser Fertigungstechnik wird die astronomische Instrumentierung in Zukunft noch sehr profitieren.

Wolfgang Gässler, Thomas Blümchen, Diethard Peter,
José Borelli, Michael Lehmitz.

In Zusammenarbeit mit:

MPI für extraterrestrische Physik, Garching,
INAF-OAA, Arcetri, University of Arizona, Tucson,
Landessternwarte Heidelberg,

Astrophysikalisches Institut Potsdam, LBT Observatory.



IV.2 METIS – Phase-A-Studie für das E-ELT

METIS ist im mittleren Infrarot sowohl als Kamera wie auch als Spektrograph einsetzbar – es wird als einziges Instrument am E-ELT den mittleren Infrarotbereich bei Wellenlängen von $3\ \mu\text{m}$ bis $14\ \mu\text{m}$ abdecken. Im Anschluss an eine ESO-Ausschreibung legte ein internationales Expertenteam im November 2009 eine Phase-A-Studie über die Beobachtungsmöglichkeiten und die technische Machbarkeit eines solchen Instruments vor.

Das METIS-Konsortium besteht aus fünf Partnerinstituten aus Deutschland, den Niederlanden, Frankreich, Großbritannien und Belgien. Das Wissenschaftliche Team für METIS setzt sich aus je zwei Mitgliedern eines jeden Partnerlandes und zwei zusätzlichen Mitgliedern zusammen. Insgesamt haben rund 25 Wissenschaftler aus Europa, den USA und Australien zur wissenschaftlichen Begründung für METIS beigetragen.

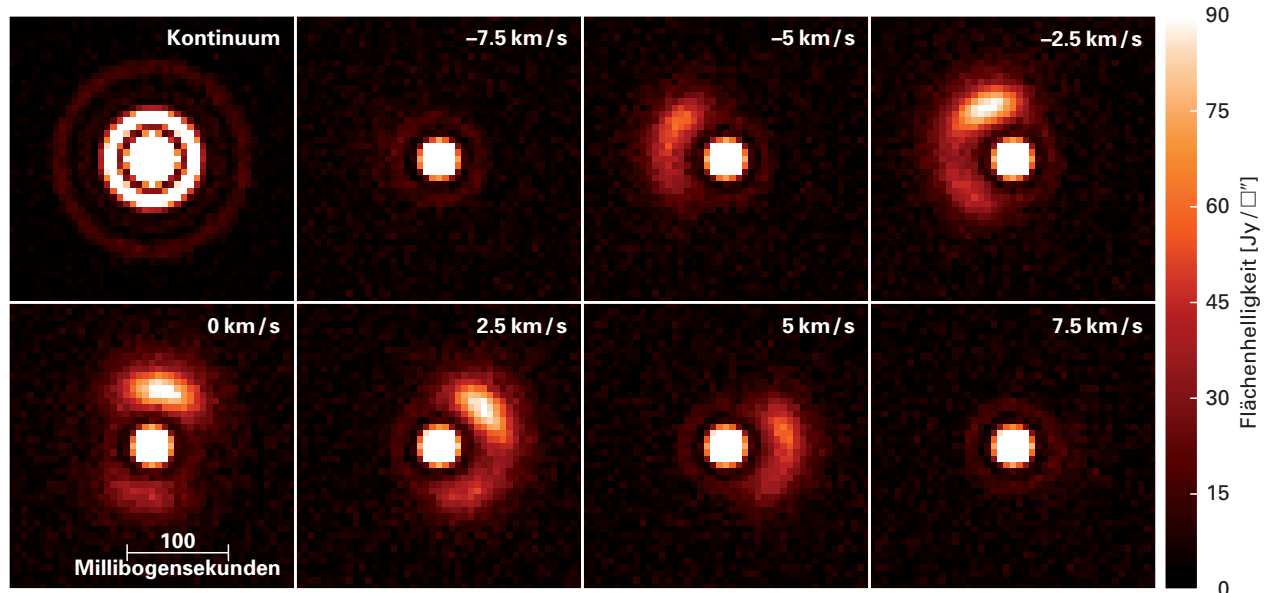
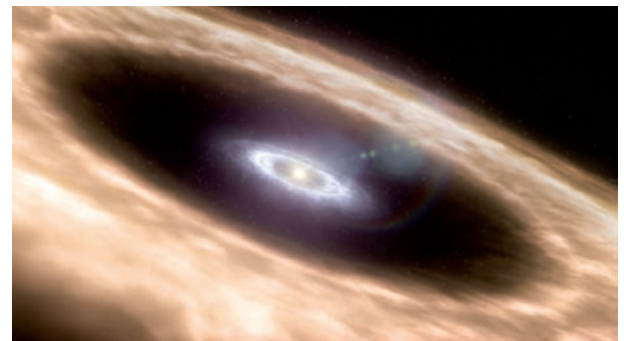
Wissenschaftliche Zielsetzung

Das E-ELT mit seinem 42 m großen Hauptspiegel eröffnet neue Perspektiven für die Astronomie im Optischen und im Infraroten. Es wird nicht nur Beobachtungen von wesentlich lichtschwächeren Objekten als das VLT, son-

dern auch gänzlich neuartige Beobachtungen ermöglichen. Solche neuen Perspektiven umfassen auch den thermischen und mittleren Infrarotbereich jenseits einer Wellenlänge von $2,5\ \mu\text{m}$.

Der mittlere Infrarotbereich bietet reichlich Möglichkeiten der Spektraldiagnostik, in Ergänzung der Diagnostik bei anderen Wellenlängen. Er enthält Emissions- und Absorptionslinien praktisch aller Moleküle, zahlreicher Atome und Ionen sowie einzigartige spektrale Merkmale für Festkörper (interstellare Staubeilchen). Eine der wichtigen Forschungsaufgaben für METIS, an der das MPIA besonders interessiert ist, betrifft die Untersuchung von protoplanetaren Scheiben und Exoplaneten. Die große Vielfalt der exoplanetaren Systeme zählt zu den erstaunlichsten Ergebnissen der neu entstandenen Exoplanetenforschung. Der Ursprung dieser Vielfalt muss mit der Struktur und Entwicklung protoplanetarer Scheiben zusammenhängen, aus denen sich die Planeten bilden.

Abb. IV.2.1: *Rechts* – Künstlerische Darstellung einer protoplanetaren Scheibe mit Planetenbildung (ESO). *Unten* – Simulation eines »METIS Image Cube« im Licht der CO P(8) Linie, die von der protoplanetaren Scheibe rund um den Stern SR 21 bei einer angenommenen Entfernung von 125 pc emittiert wird. (Pontoppidan et al. 2009)



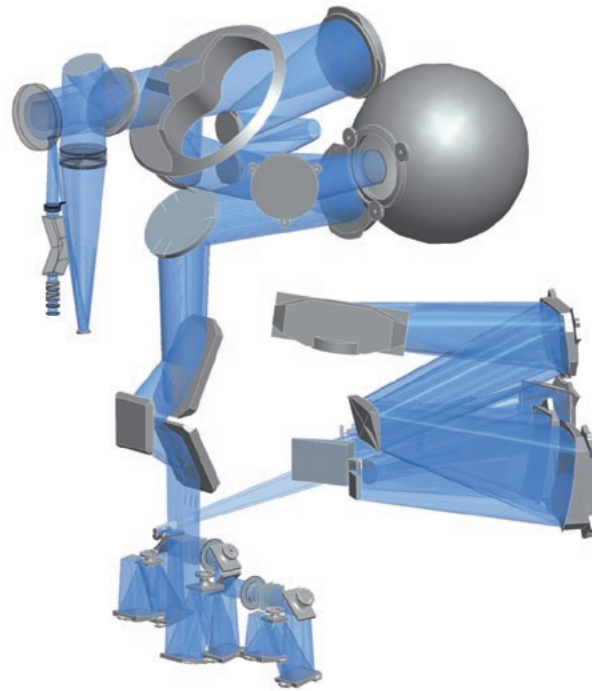
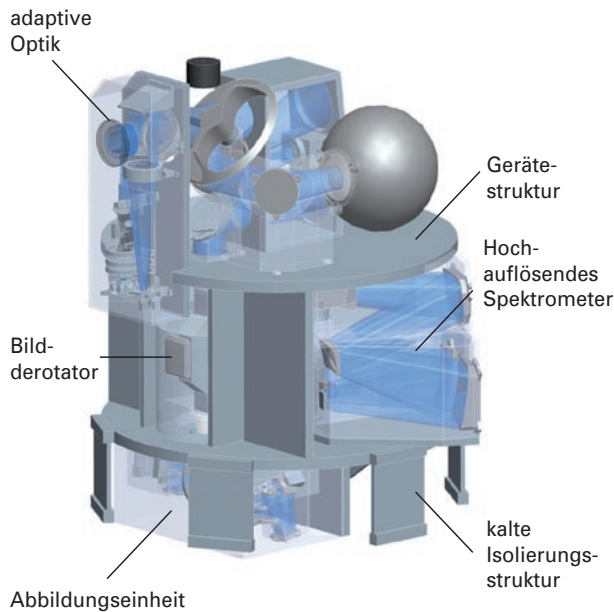


Abb. IV.2.2: Links – Übersicht über die Unterbringung von METIS-Modulen in einem üblichen Kryostaten. Rechts – die optischen Komponenten und Strahlengänge.

Es ist noch weitgehend unbekannt, wie die zur Entstehung dieser Planeten führenden Prozesse im Einzelnen aussehen. METIS wird uns die räumliche Auflösung protoplanetarer Scheiben im mittleren Infrarotbereich ermöglichen, sodass wir nach Spuren von Protoplaneten suchen, Bilder in einzelnen Spektrallinien aufnehmen und spektroastrometrische Untersuchungen durchführen können. METIS könnte in der Lage sein, die Signaturen von heißen, akkretierenden Protoplaneten zu entdecken und die dynamische Struktur des Akkretionsflusses in Richtung auf den Planeten zu untersuchen. Auf der Grundlage solcher Beobachtungen könnten wir die für den Gasverlust und den chemischen Gehalt der Planetenentstehungsregionen wesentlichen Mechanismen anhand einer statistisch signifikanten Stichprobe angehen und die für die Astrobiologie interessante Rolle von Wasser und organischen Molekülen erhellen.

Technische Fähigkeiten

METIS wird das räumliche und spektrale Auflösungsvermögen der bestehenden oder geplanten (JWST) Einrichtungen im mittleren Infrarot erheblich verbessern. Die Grundausstattung des Instruments wird aus den folgenden beiden wichtigsten Teilsystemen bestehen:

1. Eine Kamera mit Beugungsbegrenzung im *L/M* (2,9 bis 5,3 μm) und *N*-Band mit einem rund $18'' \times 18''$ großen Gesichtsfeld und Pixelgrößen von 17 bzw. 34 Millibogensekunden. Die Kamera verfügt zudem über die folgenden Beobachtungsmodi:
 - Koronographie im *L*- und *N*-Band

- Niedrigauflösende ($R \leq 5000$) Langspalt-Spektroskopie im *L/M*- und *N*-Band
- Polarimetrie im *N*-Band.

- Die Langspalt-Spektroskopie wird mit Hilfe von Infrarot-Gitterprismen realisiert, die in den kollimierten Strahlengang eingeführt werden können. *L/M*- und *N*-Band-Bilder werden parallel aufgenommen.
2. Ein durch eine feldabbildende Einheit (Integral Field Unit, IFU) gespeister hochauflösender Spektrograph im *L/M*-Band. Das IFU-Gesichtsfeld ist ca. $0,4'' \times 1,5''$ groß, die spektrale Auflösung liegt bei $R \sim 100\,000$. Das kleine zentrale Gesichtsfeld wird nahe der Fokalebene erfasst. So kann das umliegende Gesichtsfeld parallel auch im Kameramodus genutzt werden.

Der verformbare Spiegel des adaptiven Optiksystems des E-ELT ist Teil des Teleskops selbst. Für Anwendungen im mittleren Infrarot ist jedoch ein spezieller Wellenfrontsensor geplant, der ein Bestandteil von METIS sein wird. Dies ermöglicht einen »on-axis«-Betrieb der adaptiven Optik mit natürlichen Leitsternen ohne zusätzliche Erzeugung eines thermischen Hintergrunds durch einen warmen dichroitischen Spiegel.

Das MPIA als einer der Hauptpartner des METIS-Projekts wird für die Mittelinfrarot-Kamera und den Wellenfrontsensor zuständig sein. Sobald die Entscheidung für METIS als Instrument der ersten Generation für das E-ELT gefallen ist, wird das METIS-Team mit der Entwicklung dieses aufregenden Beobachtungsinstruments beginnen, das 2018 mit dem 42-m-Teleskop an den Start gehen soll.

Aktueller Stand

Die Phase-A-Studie für METIS wurde im Dezember 2009 plangemäß mit einem abschließenden Studienbericht beendet. Der nachfolgende Vorstandsbericht würdigte die hohe Gesamtqualität der Untersuchung und empfahl der ESO die Umsetzung der in der Phase-A-Studie für METIS genannten Ziele.

*Rainer Lenzen, Wolfgang Brandner,
Thomas Henning, Stefan Hippler,
Vianak Naranjo, Ralf-Rainer Rohloff.*

*In Zusammenarbeit mit:
NOVA, Leiden,
Astronomy Technology Centre, Edinburgh,
Katholieke Universiteit Leuven,
CFA Saclay, Paris.*

IV.3 PANIC – Weitfeld-Kamera für den Calar Alto

Ziel des PANIC-Projekts ist Entwicklung und Bau einer Weitfeldkamera für den Nahinfrarotbereich für den Calar Alto. Mit ihrem $0,5 \times 0,5$ Quadratgrad großen Gesichtsfeld und einer Pixelskala von 0,45 Bogensekunden/Pixel ist die Kamera optimal für Durchmusterungen am 2,2-m-Teleskop geeignet. PANIC kann mit halbem Sichtfeld und halber Pixelskala auch am 3,5-m-Teleskop eingesetzt werden und lässt sich für Beobachtungen, die eine höhere räumliche Auflösung erfordern, gut verwenden. PANIC deckt den gesamten Spektralbereich vom z- bis zum K-Band ab. Schmalbandfilter können ebenfalls genutzt werden. Kaltstopps reduzieren thermische Hintergrundsignale und verbessern die Effizienz von PANIC im K-Band.

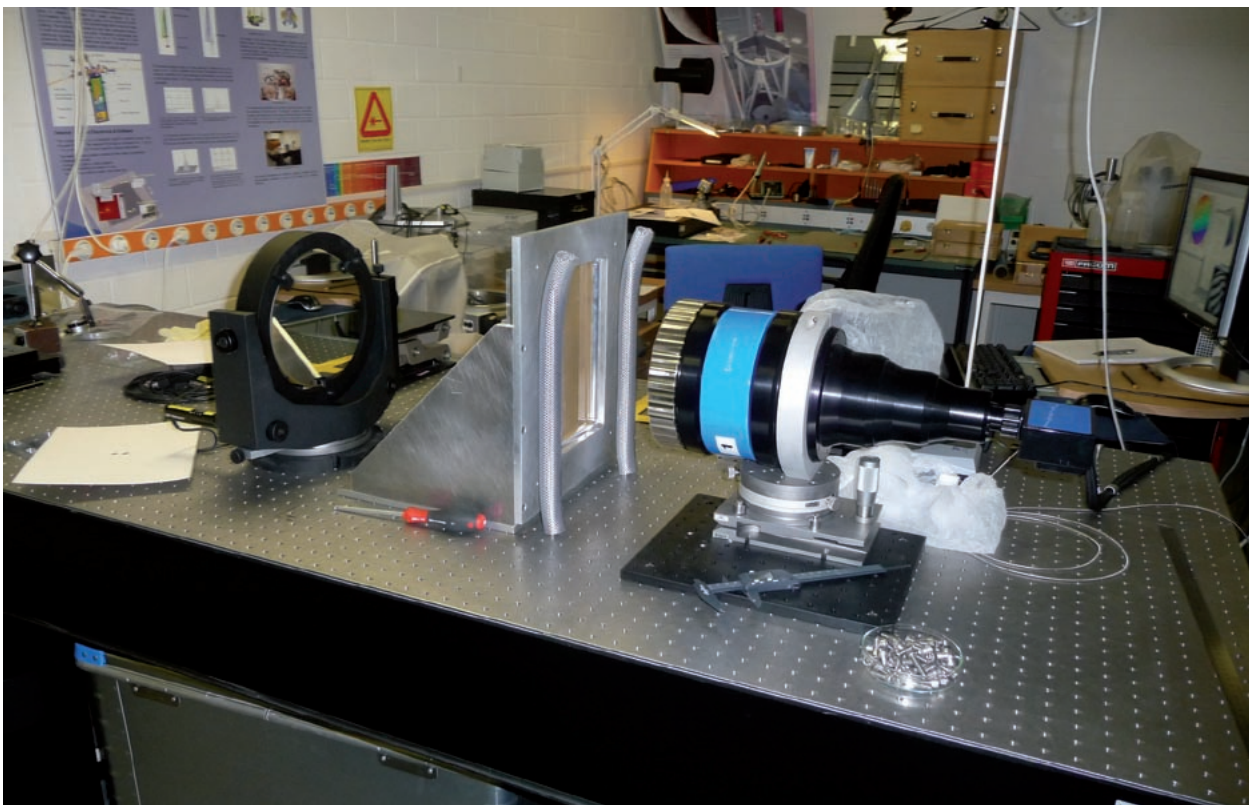
Das PANIC-Team ist 2009 mit dem gesamten Arbeitsprogramm gut vorangekommen. Das optische Konzept war bereits Ende 2008 genehmigt worden. Nach Iterationsberechnungen beim Hersteller wurde die Optik Anfang 2009 bestellt. Inzwischen wurden die Faltspiegel hergestellt und in unserem Labor interferometrisch getestet. Bei diesen Tests bestätigte sich zudem, dass die re-

flektierende Fläche der Spiegel durch die Montage nicht beschädigt wurde. In Abb. IV.2.1 ist eine Testanordnung zu sehen.

Nachdem das optische Konzept feststand, konnte die mechanische Konstruktion abgeschlossen werden. Entscheidende Aspekte der Konstruktion sind das am 2,2-m-Teleskop zulässige Höchstgewicht von 400 kg sowie die geringen Toleranzen für die Positionierung mehrerer optischer Elemente in einer Größenordnung von 50 Mikrometern. Mit Hilfe einer Finite-Elemente-Analyse wurde nachgewiesen, dass diese mechanischen Anforderungen erreicht werden. Ein Beispiel für solche Simulationen zeigt Abb. IV.2.2. Die mechanische Konstruktion wurde in einem »Final Design Review« genehmigt. Mit der Herstellung der mechanischen Teile wurde in den mechanischen Werkstätten begonnen. Der Kryostat und die Bank für die kalte Optik wurden bei der heimischen Industrie bestellt.

Das Detektoren-Array, das aus vier in einem einzigen Modul zusammengebauten Hawaii-2RG-Detektoren besteht, wurde geliefert. Alle vier Detektoren durchliefen Einzeltests mit Hilfe der vor kurzem am MPIA entwickelten Ausleseelektronik. Diese Elektronik arbeitet mit der FPGA-Technik, die sie flexibel in der Handhabung, kompakt und preisgünstig macht. Im Rahmen der Tests

Abb. IV.3.1: Interferometrische Tests der Spiegel.



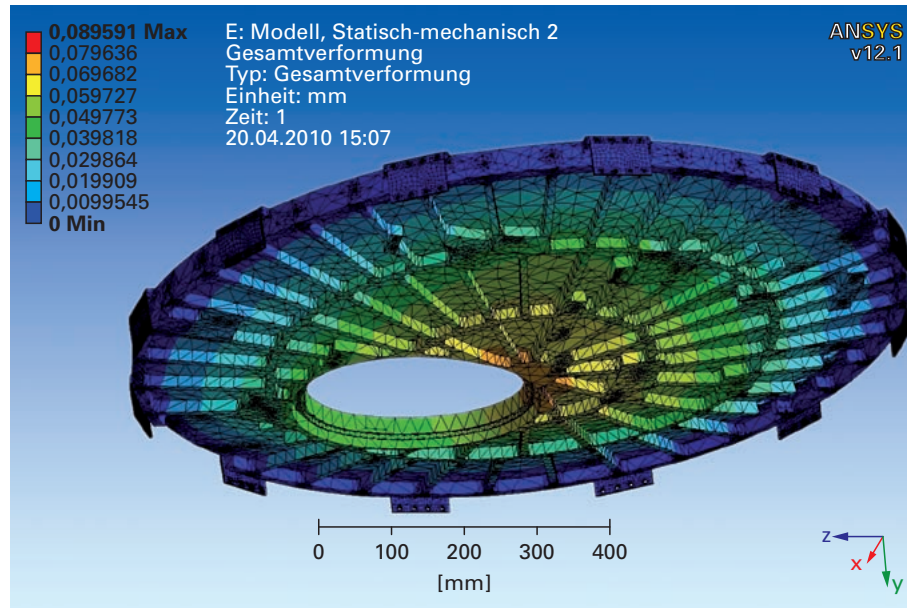


Abb. IV.3.2: Es wurde eine umfassende Finite-Elemente-Analyse durchgeführt, um die Einhaltung der geringen mechanischen Toleranzen sicherzustellen.

konnte die Funktionsfähigkeit aller Detektoren und der gesamten Elektronik bestätigt werden. Jetzt geht es um eine Optimierung des Ausleseprozesses – eine entscheidende Aufgabe, die sich bis zum Projektende erstreckt.

Die Software zum Auslesen und zur Steuerung der Filterräder, der Kältestopps und der Temperatur des Kryostaten ist eine Weiterentwicklung unseres Softwarepakets GEIRS. Eine entsprechende Anpassung dieser Software an die frei programmierbaren Detektoren läuft derzeit. Diese Software wird auch die Nachführung durch zerstörungsfreies Auslesen eines Fensters in einem Detektor ermöglichen. Der Beobachter wird PANIC über eine bedienungsfreundliche Beobachtungskonsole mit Schnellansichts- und Datenreduktionsfunktionen steuern, die dem Beobachter astronomisch und photometrisch kalibrierte Bilder und Objektkataloge liefert.

Zum Jahresende 2009 waren alle Konstruktionsaspekte festgelegt und genehmigt, 2010 wurde mit der Fertigung und Montage des Instruments begonnen. Die Kamera wird voraussichtlich im Laufe des Jahres 2011 ihr »erstes Licht« erleben.

PANIC ist das erste gemeinsame Projekt des Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA) und des MPIA, wobei das IAA für Optik und Software und das MPIA für Konstruktion, Mechanik, Detektoren und Elektronik verantwortlich ist.

*Josef W. Fried, Ralf-Rainer Rohloff,
 Harald Baumeister,
 Armin Huber, Armin Boehm,
 Karl Wagner, Jose Ricardo Ramos,
 Matthias Alter, Heiko Ehret,
 Ulrich Mall, Vianak Naranjo,
 Werner Laun, Clemens Storz,
 in Zusammenarbeit mit dem IAA, Granada.*

IV.4 Spezielle Entwicklungen in den technischen Abteilungen

Die Entwicklung immer anspruchsvollerer Messinstrumente erfordert immer wieder auch die Lösung neuer technologischer Probleme. Im Folgenden werden einige Beispiele für die technologischen Entwicklungen der Ingenieure und Techniker am MPIA vorgestellt.

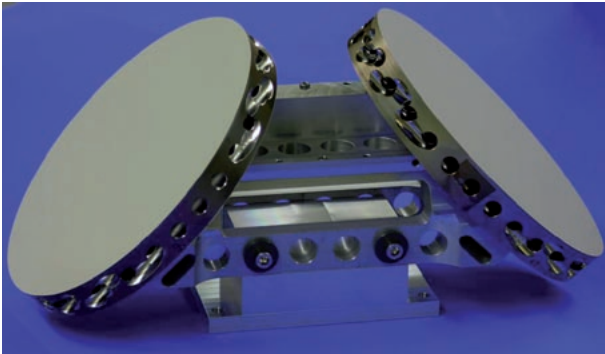


Abb. IV.4.1: Senkspiegel für den interferometrischen Strahlvereiniger LINC-NIRVANA am LBT.

Ultrapräzise Metalloptik

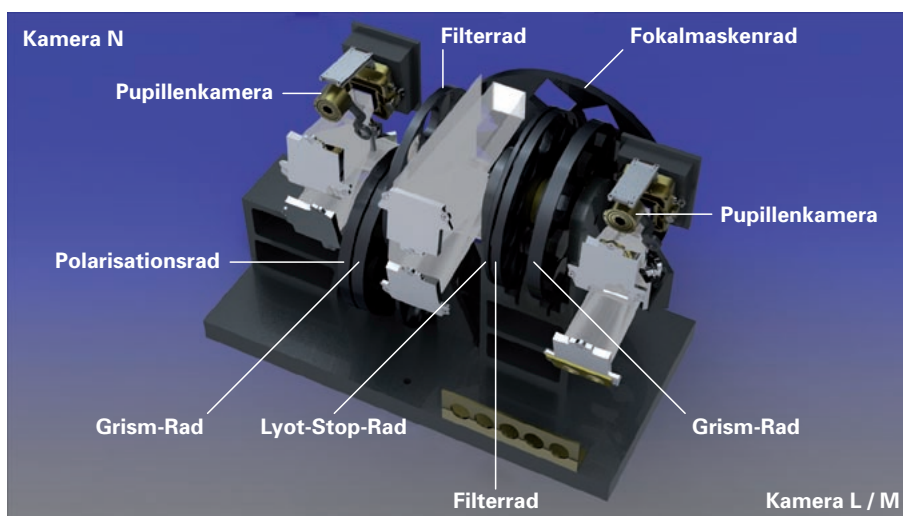
Das Diamantdrehen (Single-Point Diamond Turning, SPDT) ist ein in der Herstellung von Metallspiegeln verbreitetes Verarbeitungsverfahren. Die Präzision der damit erzielten Formen und die Oberflächenrauigkeit (Rauhtiefe) reichen allerdings für Anwendungen bei Wellenlängen unter $5\ \mu\text{m}$ nicht aus. Es werden polierfähige Beschichtungen benötigt, bei denen aber aufgrund der Kombination von zwei verschiedenen Materialien

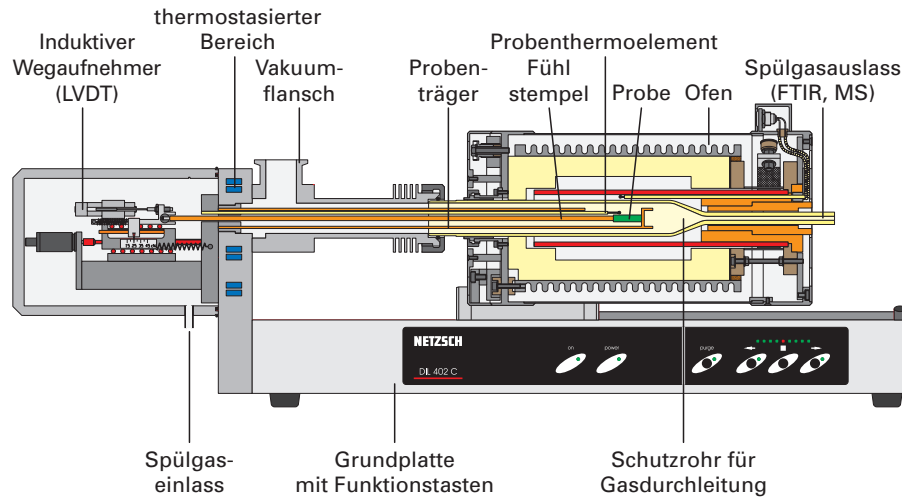
Bi-Metall-Effekte auftreten können. Zur Lösung dieses Problems wurde am MPIA in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik (IOF) in Jena das im Folgenden beschriebene, patentierte Verfahren entwickelt.

»Chemisch Nickel« eignet sich ausgezeichnet als polierfähige Beschichtung von Metalloptiken. In der Metalloptik übliche Materialien wie etwa Aluminium haben allerdings einen erheblich höheren Ausdehnungskoeffizienten als Nickel oder sind extrem teuer. Das als Träger verwendete Material muss sich aber unter Temperaturschwankungen in der gleichen Weise ausdehnen und zusammenziehen wie die Nickelbeschichtung. Denn bei ungleichem Ausdehnungsverhalten der Materialien würden sich die Spiegel verziehen und dadurch die Bildqualität beeinträchtigen.

Eine kürzlich am MPIA entwickelte Silizium-Aluminium-Legierung konnte mit vergleichbaren Ausdehnungseigenschaften wie Chemisch Nickel ausgestattet werden und ist auch preislich vergleichbar. Diese Legierung erfüllt zudem eine zweite wichtige Anforderung: Ihre sehr hohe Steifigkeit macht sie zu einem idealen Material für die Herstellung sehr stabiler Leichtbaustrukturen. Die bisher durchgeführten Tests haben die Eignung des Materials bestätigt. Eine Kombination dieser Legierung mit Nickel im so genannten Senkspiegel (siehe Abb. IV.4.1) für den Strahlvereiniger LINC-NIRVANA am LBT ist die erste derartige Anwendung für ein optisches Bauteil.

Abb. IV.4.2: Imager-Modul von METIS für das E-ELT mit kryogenen Metallspiegeln.





Erweiterung auf tiefe Temperaturen

Mit dem SPDT-Verfahren hergestellte Metallspiegel sind optische Standardkomponenten in astronomischen Infrarot-Instrumenten, die bei extrem niedrigen Kryotemperaturen arbeiten. Instrumente wie METIS (siehe Abb. IV.4.2), das im European Extremely Large Telescope (E-ELT) eingesetzt werden soll, erfordern für ihre kryogenen Spiegel höchstwertige Mikrorauheit und Formpräzision.

Deshalb haben das MPIA und das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) in Jena beschlossen, ihre Studien auf kryogene Temperaturen auszuweiten. Diese Arbeiten werden von der Max-Planck-Gesellschaft und von der Fraunhofer-Gesellschaft finanziell unterstützt.

Messinstrumente

Zu den ersten Schritten im Rahmen dieses Projekts zählte die Herstellung von Musterstücken mit Silizium-Aluminium und Chemisch-Nickel. Letzteres wird mit Hilfe eines innovativen galvanotechnischen Verfahrens (IOF Jena) zylindrisch geformt. Inzwischen wurden am MPIA die folgenden Messinstrumente zur Untersuchung der Materialeigenschaften unter kryogenen Bedingungen in Betrieb genommen:

Dilatometer

Zur Messungen der Wärmeausdehnung zwischen -180 °C und Raumtemperatur wurde eine Niedrigtemperatur-Version des NETZSCH DIL 402 C entwickelt (siehe Abb. IV.4.3). Während das Messgerät mit hochauflösendem Wegaufnehmer höchste Präzision bietet, reduziert ein thermisch komplett stabilisiertes Gehäuse die Systemdrift und verbessert so die Reproduzierbarkeit und die langfristige Stabilität. Eine Luftentleerung mit anschließender Schutzgasatmosphären-Verfüllung verhindert Einwirkungen durch Feuchtigkeit.

Abb. IV.4.3: Das Niedrigtemperatur-Dilatometer DIL 402 C.

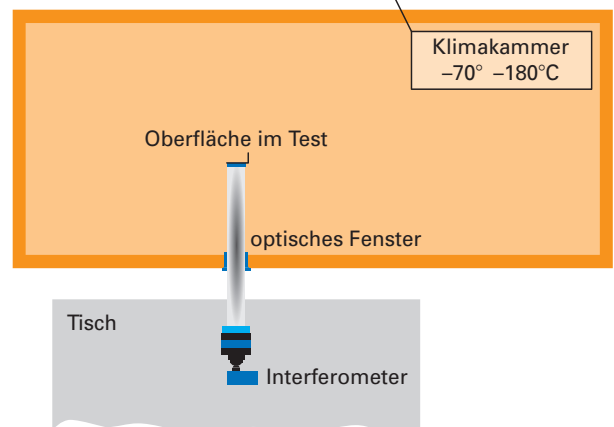
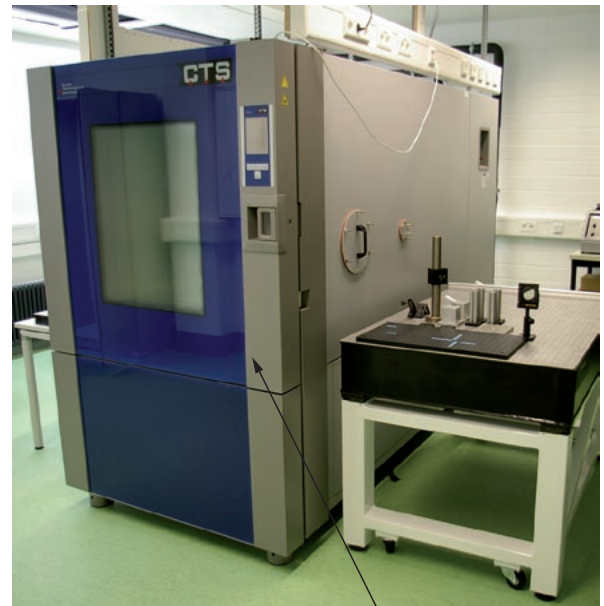


Abb. IV.4.4: Klimaprüfkammer mit interferometrischem Zugang durch ein optisches Fenster.

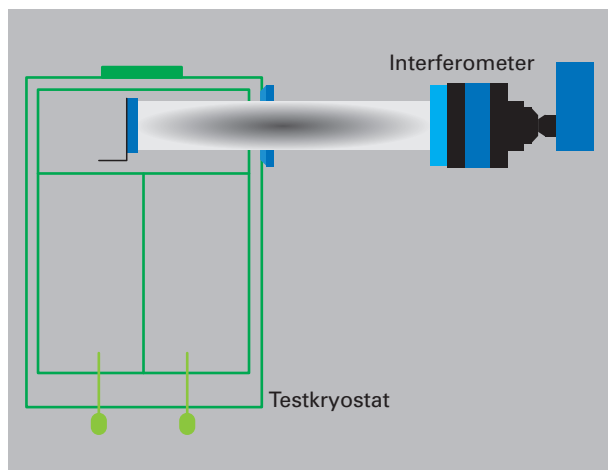


Abb. IV.4.5: Testkryostat ($-180\text{ }^{\circ}\text{C}$) mit Interferometer.

Klimaprüfkammer

Um von außen durch ein optisches Fenster Formabweichungen der optischen Flächen im Temperaturbereich zwischen $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Raumtemperatur mit einem FISBA μ Phase 2 HR Kompakt-Interferometer zu vermessen, wurde am MPIA eine Klimaprüfkammer gebaut (siehe Abb. IV.4.4).

Testkryostat

Es wurde ein Testkryostat ($-180\text{ }^{\circ}\text{C}$) entwickelt, mit dem die optische Charakterisierung thermisch induzierter Deformationen unter kryogenen Bedingungen im Vakuum möglich ist. Dieser Testkryostat wird in die FISBA-Interferometer-Konfiguration integriert, um das thermomechanische Verhalten von Materialverbunden im Rahmen von Kühlzyklen zu testen (siehe Abb. IV.4.5).

Ralf-Rainer Rohloff, Veit Schönherr

Kryokühlsysteme für Infrarot-Instrumente

Ein Großteil der bodengestützten Instrumente für die IR-Astronomie ist in einem Vakuumbehälter untergebracht. Die gesamte Optik sowie alle Detektoren und die Mechanik sind in einem Kryostaten verborgen, der für die Herunterkühlung auf kryogene Temperaturen sorgt. Jedes Instrument benötigt im Kryostaten spezielle Bedingungen.

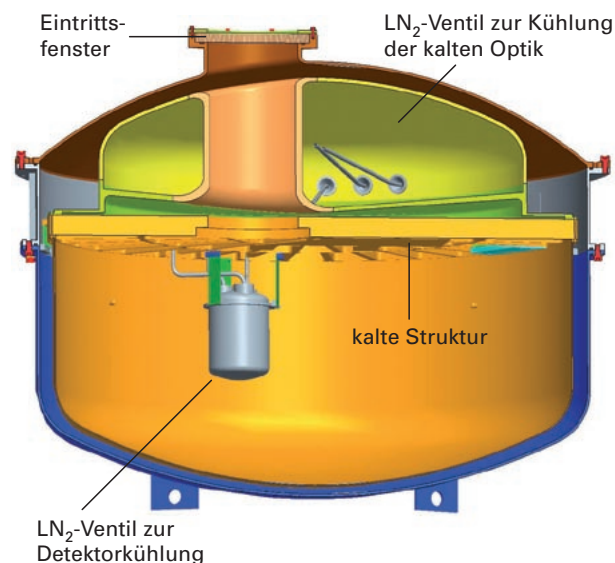
Die wichtigsten Anforderungen an einen Kryostaten betreffen die Größe und die Temperatur, aber mechanische Stabilität, Fenstermaterial usw. spielen ebenfalls eine Rolle. Die Konstruktion des Kryostaten und die Auswahl des Kühlsystems hängen von solchen Anforderungen ab. Im Folgenden werden einige aktuelle Lösungen in dieser Hinsicht beschrieben.

Kühlen mit LN_2 : Der Kryostat für PANIC

Zu den gebräuchlichsten Kühlmethoden für IR-Instrumente zählt die Flüssigstickstoff-Kühlung (LN_2). Abhängig von der Art der Schutzabdeckung kommen an der kalten Optik und an den Detektoren Temperaturen von bis zu 77 K hinunter vor. Dies reicht für die meisten Nahinfrarot-Instrumente aus. Viele Observatorien stellen vor Ort LN_2 zur Verfügung. Dieses Kryogen lässt sich sehr einfach handhaben. Stickstoff ist nicht toxisch und die Flüssigkeit nimmt bei ihrer Verdunstung eine Menge Energie auf.

Zur Zeit entwickeln wir am MPIA einen mit Flüssigstickstoff gekühlten Kryostaten (Abb. IV.4.6) für PANIC, die »Panoramic Near Infrared Camera für den Calar Alto«. Das für den Einsatz am 2,2-m-Teleskop bestimmte Instrument darf einschließlich der gesamten Elektronik und des flüssigen Stickstoffs maximal nur 400 kg wiegen. Für den Kryostaten bleiben gerade noch 180 kg . Um das Gesamtgewicht zu reduzieren, haben wir einen Vakuumbehälter mit gewölbten Böden konstruiert, die wesentlich dünner gefertigt werden können als die üblichen flachen Böden. Die optische Weglänge ist dreifach gefaltet, so kann die Optik an einer runden optischen Bank mit einem Durchmesser von ca. 1 m befestigt werden. Die Bank wird durch ein ähnlich wie der Vakuumbehälter geformtes Stickstoffgefäß gekühlt. Zur Reduzierung der auf den Montageflansch einwirkenden Drehkraft haben wir den Behälter zwischen Optik und Teleskop platziert. Eine mehrschichtige Isolierung reflektiert den Großteil der Wärmestrahlung bei Raumtemperatur und reduziert auf diese Weise das erforderliche Behältervolumen und sein Gewicht. Der Kryostat verfügt zudem über einen separaten kleinen Stickstoffbehälter, um eine konstante Detektortemperatur von unter 80 K aufrecht-

Abb. IV.4.6: Aufbau des Kryostaten für PANIC.



zuerhalten. Im Detektorbereich ist zudem eine weitere Temperatursteuerung vorgesehen. Wird das Teleskop in Richtung zum Horizont geneigt, so wird auch das Instrument gekippt. Die Füllrohre der Behälter enden deshalb im geometrischen Zentrum, so dass diese nur zur Hälfte gefüllt werden können.

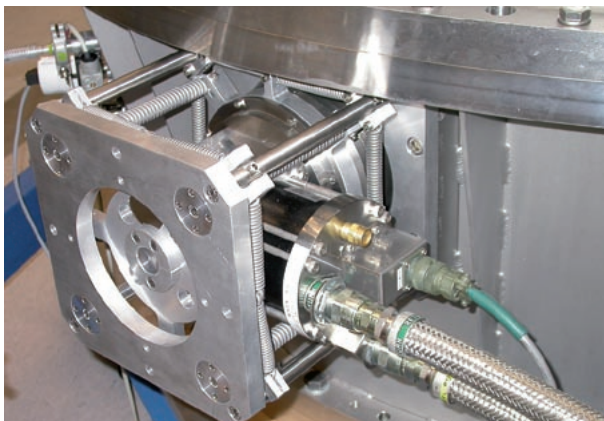
Alle Teile für den Kryostaten wurden 2009 bestellt. Nach ihrer für Anfang 2010 zu erwartenden Lieferung werden sie am MPIA zusammengebaut und getestet.

Kühlung mit geschlossenem Kühlkreislauf: Der Kryostat für LUCIFER

LUCIFER 1 arbeitet seit Herbst 2009 am LBT. Der Kryostat für dieses Instrument wurde unter Federführung des MPIA gebaut. Zwei leistungsstarke Gifford-MacMahon(GM)-Kühler sorgen für die Kühlung des Instruments. GM-Kühler arbeiten mit Helium unter Hochdruck, das als Kühlmittel über einen Kompressor zugeführt wird. Dieses Helium dehnt sich an der kalten Seite des Kühlers aus und zieht sich an der warmen Seite zusammen. Der entscheidende Vorteil eines solchen Geräts liegt darin, dass man sich nicht um die Nachfüllung von LN_2 kümmern muss.

Ein Nachteil der GM-Kühler besteht in den von ihnen erzeugten Vibrationen, die die empfindlichen optischen Messungen stören können. Die Kühler für LUCIFER arbeiten mit einer Pulsfrequenz von 1,2 Hz. Diese Frequenz ist im Schwingungsspektrum ziemlich dominant. Es entstehen auch einige Oberschwingungen, die über die 1,2 Hz hinausgehen. Zur Abfederung solcher Schwingungen wurden die Kühler an Federn aufgehängt (Abb. IV.4.7), die thermische Kopplung an die kalte Struktur erfolgt mit flexiblen Kupfergeflechten. Außerdem wurden die Kühler an gegenüberliegenden Seiten des Instruments positioniert und laufen synchron, sodass sie exakt mit gleicher Phase arbeiten. Dadurch werden die meisten der untersten Erregerfrequenzen eliminiert. Die Kühler

Abb. IV.4.7: Einer der an Federn aufgehängten GM-Kühler von LUCIFER.



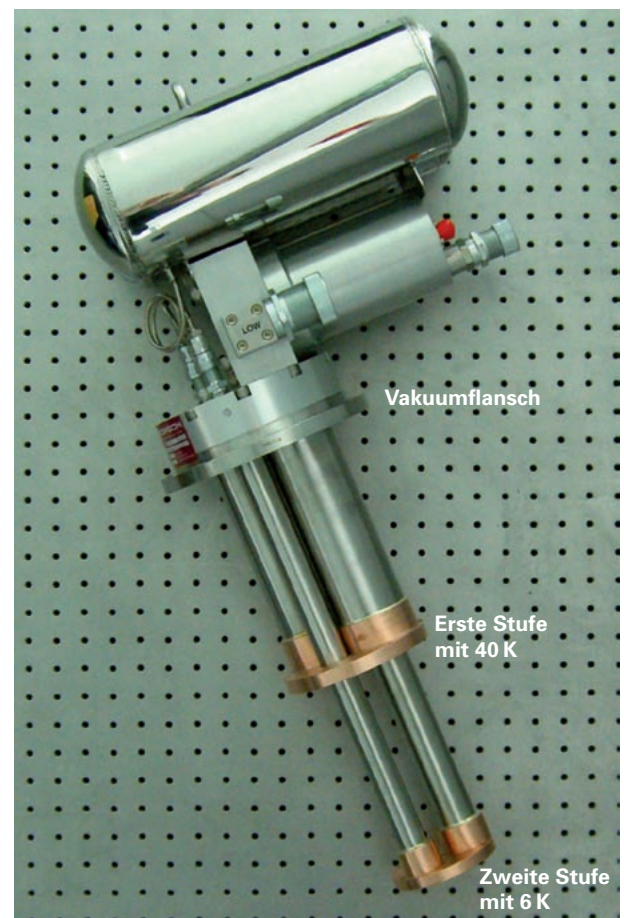
sind aber nicht die einzige Schwingungsquelle. Auch der Kompressor, der das Hochdruck-Helium liefert, ist nicht laufruhig. Die Helium-Kompressoren am LBT sind eine Etage unter dem Teleskop in einem Raum untergebracht, der nicht auf demselben Fundament wie das Teleskop errichtet wurde. Die elastischen Gasschläuche verlaufen über ca. 40 m vom Kompressor zum Instrument. Die Schläuche wurden entlang der Gebäudemauer über eine Schleife zum Teleskop und weiter entlang des Randes der Spiegelfassung zur Instrumentenplattform und durch einen Kabelrotor zu LUCIFER geführt.

LUCIFER 2 wird 2010 bei MPIA zusammengebaut und getestet. Die Installation am Teleskop ist für Anfang 2011 geplant.

Eine Kombination aus Kühler und LN_2 : der Kryostat für MATISSE

Das MPIA hatte als PI-Institut die generelle Projektleitung für das ESO VLT Instrument MIDI, das im mittleren IR-Bereich arbeitet. Inzwischen wird sein Nachfolger MATISSE entwickelt und getestet. Das MPIA ist für das Kühlsystem zuständig. Weil MATISSE anders als Mi-

Abb. IV.4.8: Der PRK-Kühler für MATISSE im Test.



DI sowohl im L - M -Band als auch im N -Band arbeiten wird, wird es zwei verschiedene Detektoren und zwei getrennte kalte Optiksyste me geben. Folglich kommen auch zwei separate Kryostaten mit fast gleicher Geometrie, aber unterschiedlichen thermischen Anforderungen zum Einsatz. Für das L - und das M -Band könnte der Detektor Arbeitstemperaturen von bis zu ca. 80 K erreichen. Für diesen Kryostaten würde also eine Kühlung mit flüssigem Stickstoff ausreichen. Für das N -Band muss die Optik unter 40 K und der Detektor unter ca. 6 K gekühlt werden. Die Anforderungen für das N -Band haben uns zur Entwicklung eines Kühlungskonzepts veranlasst, das dem von MIDI sehr nahekommt. Die gesamte optische Bank ist von einem Strahlungsschutz umgeben, der mit flüssigem Stickstoff gekühlt wird, um die Wärmeeinwirkung aus der Umgebung auf ein Minimum zu reduzieren. Zur Kühlung der kalten Optik wurde bei MIDI ein GM-Kühler mit einem beweglichen Verdrängerteil verwendet. Für MATISSE ist ein Pulsrohrkühler (PRK) geplant. Dieser Kühler typ (Abb. IV.4.8) erzeugt wesentlich geringere Vibrationen, weil er nicht mit einem beweglichen Verdrängerteil ausgestattet ist. Zur Abfederung von Restschwingungen haben wir ein bestehendes Dämpfersystem für diesen Riesenkühler umgearbeitet. Die durch die unter Unterdruck stehenden zentralen Faltenbalge induzierte Kraft wird durch vier schmale Faltenbalge kompensiert, die in entgegengesetzte Richtungen ziehen. Das Ergebnis ist ein sich – auch bei Unterdruck – sanft bewegn der Dämpfer. Durch Herunterkühlen der Optik und des Detektors auf 40 K bzw. 6 K erreicht der Kühler seine Leistungsgrenze. Deshalb müssen wir die Kühlerleistung ebenso wie die Wirksamkeit der thermischen Kopplung sorgfältig testen.

Der Kühler für MATISSE wird der erste jemals am VLT eingesetzte PRK-Kühler sein. Ein Kühler ist bereits eingetroffen und wurde von den MPIA- und ESO-Teams getestet.

Kühlung über Kühlmittelkreislauf: Der Kryostat für LINC-NIRVANA

Für den LINC-NIRVANA-Kryostaten am LBT wird ein ganz besonderes Kühlsystem verwendet. Das Kühlergefäß wird nicht am Instrumentenkryostaten montiert, sondern wird stattdessen ähnlich wie die Kompressoren für LUCIFER weit entfernt vom Instrument, eine Etage unter der Teleskop-Plattform aufgestellt. Hier arbeitet ein hochleistungsfähiger Stirling-Kühler in Industrieausführung, der Heliumgas auf 60 K herunterkühlt. Über vakuumisolierte Rohrleitungen wird das kalte Gas zum Instrument befördert und hier durch einen Wärmetauscher geleitet. Der Wärmetauscher (Abb. IV.4.9) ist ein großer Aluminiumzylinder mit einer auf seine Außenfläche aufgeschweißten Helium-Zuleitung. Die kalte Optik und die Detektoren sind an der Innenseite des Zylinders angebracht. Obwohl es sich hier um einen riesigen Kryosta-

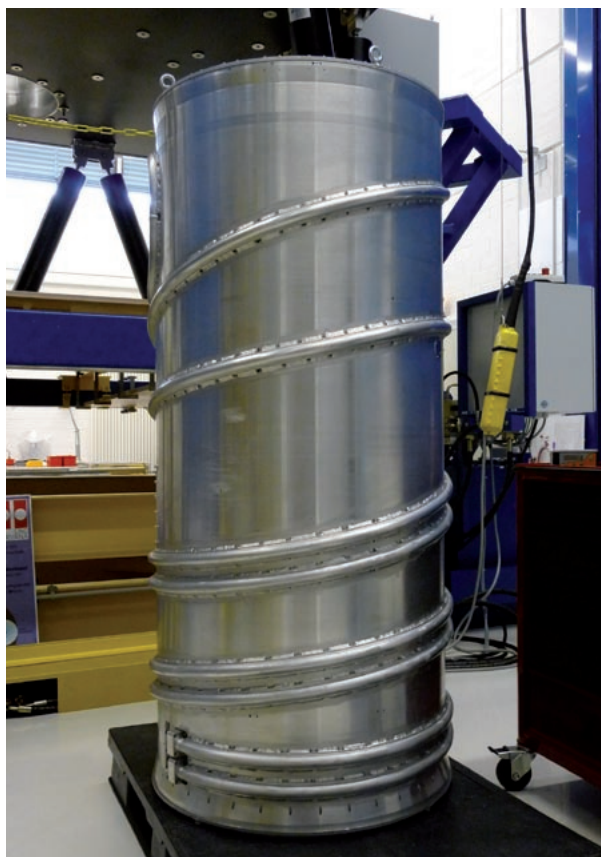


Abb. IV.4.9: Wärmetauscher des LINC-NIRVANA-Kryostaten.

ten handelt, benötigen wir für den Kryostaten nur ca. ein Viertel der verfügbaren Kühlleistung. Ungefähr die gleiche Menge wird benötigt, um den Wärmeverlust in den Leitungen auszugleichen. Wir erhalten also eine doppelt so hohe Kühlleistung wie benötigt. Diese zusätzlich verfügbare Kühlleistung ermöglicht eine schnelle Anfangskühlung für LINC-NIRVANA.

Das Kühlsystem und der Kryostat für LINC-NIRVANA sind inzwischen am MPIA komplett zusammengebaut und mit zwei Testleitungen versehen worden. Derzeit testen und optimieren wir den Gasstrom in den Leitungen, um Verzerrungen und Schwingungen so weit wie möglich zu reduzieren.

Unseres Wissens wurde ein derartiges System bisher noch nie in der Astronomie eingesetzt. Deshalb können wir nicht einfach auf bestehende Systeme zurückgreifen und diese an unsere Anwendungsanforderungen anpassen. Die erfolgreiche Entwicklung dieses Kühlsystems und die dabei gesammelten Erfahrungen sind ein erster Schritt hin zu den für die Riesenkryostaten künftiger Instrumente benötigten Kühlsystemen.

*Werner Laun, Harald Baumeister,
Peter Bizenberger, Armin Huber,
Michael Lehmitz, Ralf-Rainer Rohloff.*

Infrarot-Detektorsysteme

Die Entwicklung von Infrarot-Detektorsystemen zählt zu den wichtigsten technischen Aktivitäten am MPIA. Wir verfügen in diesem Bereich über spezielle Kenntnisse, die von Ingenieuren aus verschiedenen technischen Abteilungen eingebracht werden. Diese verschiedenen Kompetenzen werden benötigt, weil Infrarot-Detektorsysteme aus drei verschiedenen Kernelementen bestehen: elektronische Anzeigetechnik, Software und natürlich die Detektoren selbst. Diese Komponenten müssen mittels eines speziellen Optimierungsverfahrens für das Gesamtsystem gut aufeinander abgestimmt werden.

Auslese-Elektronik und Software für die Kameras

Die am MPIA neu entwickelte Auslese-Elektronik bewältigt einzelne oder mehrere Detektorsysteme mit bis zu 144 Eingangskanälen und zeichnet sich durch Hochgeschwindigkeitsdatenübertragung und geringen Stromverbrauch aus. Darüber hinaus ist das System äußerst klein und leichtgewichtig. Aufgrund der hohen Datenübertragungsrate, der kompakten Bauweise und geringen Wärmeabgabe eignet sich diese Auslese-Elektronik ideal für relativ große Arrays in der Fokalebene. Die ersten Instrumente, die mit der neuen Auslese-Elektronik arbeiten werden, sind PANIC am 2,2-m-Teleskop auf dem Calar Alto und der Strahlvereiner LINC-NIRVANA am LBT.

Die neue Technik der Auslese-Elektronik erfüllt spezielle Anforderungen und Schnittstellen-Implementierungen, mit denen sich neue Funktionen für die derzeit verfügbaren IR-Detektoren realisieren lassen – neben so wichtigen Merkmalen wie einer schnellen Datenpfadüberprüfung am Instrument, Bilddatenprotokoll mit im Datenfluss integrierter Prüfsumme, und zwar alles in Hochgeschwindigkeitsdatenausgabe. Sie nutzt alle fortschrittlichen von den Teledyne-Detektoren des Typs Hawaii-RG gebotenen Möglichkeiten. Durch Umsetzung der Anforderungen in Form des Infrared Software Interface kann die Steuerung des Taktmusters des Detektors auf aktuelle Anforderungen astronomischer IR-Instrumente reagieren.

Zur Minimierung der Persistenzeffekte in IR-Detektoren ist die neue für die Auslese-Elektronik entwickelte Musterlogik in der Lage, unterschiedliche Ruhetakterzeugungsmuster und -modi anzubieten, die je nach aktuellem Bedarf ausgewählt und aktiviert werden können. Die Ruhetakterzeugung erfolgt automatisch, wenn der Detektor für längere Zeit nicht benutzt wird, um eine Sättigung von Detektorpixeln durch einfallendes Licht zu verhindern. Mit unserer neuen Auslesetechnik sind ebenfalls neue Taktschemata für die Hawaii-1- und Hawaii-2-Detektoren von Teledyne – der Vorgängergeneration der Hawaii-Detektoren des Typs RG (Abb. IV.4.10) – möglich. Neben den MPIA-Auslesemodi, die fast 100 Prozent an Integrationseffizienz innerhalb wiederholter

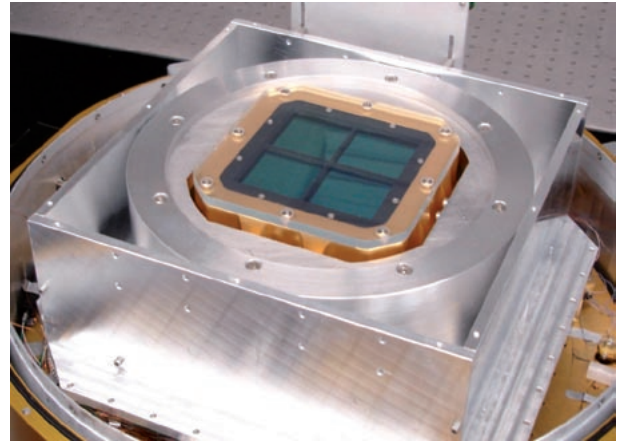


Abb. IV.4.10: Das Hawaii-2RG Detektormosaik für PANIC.

Bilderzyklen bieten, werden wir auch in der Lage sein, diese Musterlogik so zu kombinieren, dass wir andere wichtige Auslesemodi wie »Fowler-Sampling« modifizieren und dadurch die Detektorintegrationseffizienz erhöhen können.

Einige Vorteile des »Window Readout Mode« der Hawaii-RGs lassen sich mit der neuen Auslese-Elektronik so emulieren, dass ähnliche Funktionen wie bei den RGs auch für die Vorgängergeneration von Hawaii-Detektoren zur Verfügung stehen.

Charakterisierung von Infrarot-Detektoren

Ein Infrarot-Detektor kann nie allein funktionieren: Als Bestandteil eines komplexen Messsystems dient er als Verbindungsglied zwischen der Anzeige-Elektronik und der Software. Der Charakterisierungsprozess ist eine Möglichkeit nachzuvollziehen, wie der Detektor funktioniert und wie er sich verhält, und repräsentiert so den entscheidenden Faktor für die Bestleistung eines Instruments während des Betriebs.

Das MPIA verfügt über spezielle Geräte und Labors, die gemeinsam mit revolutionärer Auslese-Elektronik und Software das perfekte Umfeld für eine effiziente Detektorcharakterisierung ausmachen. Die Messungen wichtiger Parameter, wie Ausleserauschen, Dunkelstrom, Verstärkung, Linearität, Empfindlichkeit usw., sind nur einige der Aufgaben, die am MPIA in diesem Bereich durchgeführt werden, nicht zu vergessen die Überprüfung der Detektorfunktionen sowie ihre Feinabstimmung und Optimierung, deren Ergebnisse sich in der zukünftigen Leistungsstärke des Instruments niederschlagen.

*Ralf Klein, Ulrich Mall, Vianak Naranjo,
José Ricardo Ramos, Clemens Storz,
Karl Wagner.*

V Menschen und Ereignisse

V.1 Tagungen des MPIA

Im Berichtsjahr gab es wieder zahlreiche vom Institut bzw. seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern organisierte Treffen und Tagungen. Sie beschränkten sich auch dieses Jahr nicht nur auf den Veranstaltungsort Heidelberg bzw. das MPIA. Über einige der Tagungen soll hier kurz berichtet werden.

Neben kleineren, aber wichtigen Arbeitstreffen zu den Instrumentierungsprojekten des MPIA gab es wieder größere wissenschaftliche Tagungen, die immer auch dem wissenschaftlichen Nachwuchs Gelegenheit geben, Ergebnisse zu präsentieren oder mit anderen Wissenschaftlern ins Gespräch zu kommen.

IMPRS-Sommerschule

Dies gilt ganz besonders für die jährliche Sommerschule der International Max-Planck-Research School for Astronomy and Cosmic Physics at the University of Hei-

delberg (IMPRS-HD), die in diesem Jahr vom 10. bis 14 August im Max-Planck-Haus in Heidelberg stattfand und »Statistical Inferences from Astrophysical Data« zum Thema hatte. Auch 2009 konnten mit David Hogg (Universität New York), Ian McHardy (Universität Southampton) und William H. Press (Universität Austin/Texas) wieder hervorragende Sprecher gefunden werden, die beispielsweise über den Umgang mit großen Datenmengen, numerische Simulationen, oder die Behandlung von problematischen Datensätzen berichteten und mit den Studenten diskutierten. Gerade die Diskussion zwischen Wissenschaftlern und dem Nachwuchs aus verschiedenen Forschungsfeldern soll den Austausch von Ideen fördern und die Qualität der Forschung erhöhen. Als Teil der Tagungswoche hatten die etwa 100 Teilneh-

Abb. V.1.1: Die Sommerschule der International Max-Planck-Research School for Astronomy and Cosmic Physics im Heidelberger Max-Planck-Haus.





Abb. V.1.2: Doktorandinnen und Doktoranden aus aller Welt kommen zur IMPRS nach Heidelberg.

mer auch diesmal die Möglichkeit, in einer Sonderführung das MPIA näher kennenzulernen.

Internationale Tagungen

Zwei internationale Tagungen wurden auf Schloss Ringberg, der Tagungsstätte der Max-Planck-Gesellschaft am Tegernsee veranstaltet. Vom 15. und 18. November ging es mit dem Meeting »The Gaseous Evolution of Galaxies« um ein Thema aus der Extragalaktik, bei dem 35 international renommierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern insbesondere auch über Beobachtungen diskutierten, die durch neue Teleskope in naher Zukunft ermöglicht werden (z.B. durch das erweiterte IRAM Plateau de Bure Interferometer, das Expanded VLA und ALMA).

Vom 14. bis 18. April waren hingegen etwa 40 Wissenschaftler zu einem Workshop mit dem Titel »The Astrophysics of the Magnetorotational Instability and Related Processes« eingeladen. Sie präsentierten und diskutierten Ergebnisse und Methoden der theoretischen Erfor-

schung der Prozesse in protoplanetaren Scheiben. Solche Prozesse sind für die Entstehung von Planeten entscheidend – dieses Thema hatten vom 2. bis 6. März ca. 150 Teilnehmer auf der internationalen Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets« in Tübingen behandelt, wobei vor allem Beobachtungsergebnisse vorgestellt und diskutiert wurden. Die Tagung wurde gemeinsam vom Institut für Astronomie und Astrophysik der Universität Tübingen und der DFG-Forschergruppe »The Formation of Planets: The Critical First Growth Phase« organisiert, an der auch das MPIA beteiligt ist.

Weitere Beteiligungen durch die Mitarbeit in wissenschaftlichen Organisationskomitees gab es beispielsweise bei »The Second SUBARU International Conference« auf Hawaii im März oder beim ESO/MPG Meeting »From Circumstellar Disks to Planetary Systems« in Garching im November.

Mitarbeiter des MPIA waren bei der Organisation des Splinter-Meetings »The E-ELT – Status, Timeline, and Instrumentation« auf der Herbsttagung der Astronomischen Gesellschaft (AG) in Potsdam im September beteiligt, bei dem auch die Rolle der deutschen Astronomie in diesem ehrgeizigsten Teleskopprojekt aller Zeiten diskutiert wurde.

Veranstaltungen auf dem Königstuhl

Eine besondere Tagung wurde gemeinsam mit der Landessternwarte Heidelberg (LSW/ZAH) organisiert: Anlässlich der Verabschiedung von Max Camenzind (LSW) und Hermann-Josef Röser (MPIA) in den Ruhestand fand am 26. November im Hörsaal des MPIA ein festliches wissenschaftliches Symposium mit prominenten Sprechern, die gleichzeitig auch Wegbegleiter der beiden sind, statt. Zu den Vortragenden, die neben den wissenschaftlichen Themen auch oft sehr persönliche Facetten aus der Tätigkeit der beiden Jubilare auf unterhaltsame Weise präsentierten, zählten auch Immo Appenzeller und Rudolf Kippenhahn. Mit dem Titel »From Disks to Jets – from Stars to Quasars« wurde das Symposium dem breiten wissenschaftlichen Arbeitsfeld gerecht, auf dem beide Jubilare auch gemeinsam geforscht haben.

Um ein ganz konkretes Thema ging es beim »Legacy Survey Workshop«, der gemeinsam mit den Kollegen des Calar Alto Observatoriums (CAHA) am 24. April im MPIA-Hörsaal durchgeführt wurde. Die Veranstaltung

trat anstelle des seit Jahren abwechselnd in Grenada und Heidelberg stattfindenden CAHA-Kolloquiums und hatte das Ziel, Ideen für die Durchführung einer Durchmusterung mit Hilfe der PMAS / PPAK Integral Field Unit am 3,5-m-Teleskop zu sammeln.

Am 18. Februar fand das Interne wissenschaftliche Symposium des Instituts statt, bei dem alle zwei Jahre vor allem Studenten und Postdocs abteilungsübergreifend ihre Projekte vorstellen können. Und am 12. November gab es eine Tagung des Netzwerks Beruf und Familie, an der auch Vertreter der Stadt Heidelberg teilnahmen. Das MPIA engagiert sich intensiv für eine bessere Vereinbarkeit von beruflicher Karriere und Familiengründung – eine Aufgabe, die viele Wissenschaftler in besonderem Maße betrifft.

Und schließlich gab es am 18. September auch den jährlichen Besuch des MPIA-Kuratoriums am Institut. Mit diesem Gremium aus Wissenschaft, Industrie, Politik und Medien konnten wieder fruchtbare Gespräche über aktuelle und zukünftige Projekte mit wissenschafts- und medienpolitischer Relevanz geführt werden.

Klaus Jäger.

V.2 Aktivitäten zum »Jahr der Astronomie«

Für das Jahr 2009 hatte die Internationale Astronomische Union (IAU) das »Jahr der Astronomie« ausgerufen. Weltweit waren Einrichtungen – vom Forschungsinstitut bis zur Volkssternwarte, vom Planetarium bis zum Amateurrerein – aufgerufen, durch möglichst viele und interessante Veranstaltungen unsere faszinierende Wissenschaft in ganz besonderem Maße in die Öffentlichkeit zu tragen. Natürlich war auch das MPIA dabei stark engagiert.

Angesichts der zahlreichen Dinge, die das MPIA seit vielen Jahren im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit leistet, hatte der Aufruf der IAU bezogen auf unser Institut durchaus etwas von dem berühmten Sprichwort »Eulen nach Athen tragen«. Denn allein die jährlich wiederkehrenden Aktivitäten, die insbesondere auch auf die Motivation von Schülerinnen und Schülern abzielen, hätten ausgereicht, um als attraktives Programm für das Jahr der Astronomie gelten zu können.

Beispiele sind die auch 2009 mit großem Erfolg veranstaltete Vortragsreihe »Astronomie am Sonntag Vormittag«, die Beteiligungen am Girls' Day und an der Berufs- und Studienorientierung an Gymnasien (BOGY), die weit über 30 Führungen durch das Institut, sowie die zahlreichen populärwissenschaftlichen Vorträge von MPIA-Wissenschaftlern in ganz Deutschland. Auch in den Medien war das Institut wieder durch Pressemitteilungen, Interviews und TV-Auftritte präsent.

Dennoch haben diese über Jahre immer weiter ausgebauten Aktivitäten im Bereich des Public Outreach im Jahr 2009 noch eine weitere Steigerung erfahren. Zum einen durchaus natürlich aufgrund der Motivation durch das Jahr der Astronomie, zum anderen durch den Aus-

bau der Tätigkeiten rund um das Haus der Astronomie (HdA). Denn nachdem in mehreren Jahren die inhaltliche, finanzielle und politische Basis für diese einmalige Errichtung gelegt worden war, begann 2009 mit dem festlichen Ersten Spatenstich nicht nur der Bau auf dem Gelände des MPIA, sondern auch die Kernmannschaft konnte ihre Arbeit aufnehmen (Einzelheiten dazu in Kapitel V.3). Das neue Team konnte sich dabei unter anderem sogleich bei der Organisation des Tag der Offenen Tür einbringen, dessen Erfolg wie der vieler anderer Veranstaltungen des Instituts erneut erst durch die hohe Einsatzbereitschaft aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter möglich war. Genau dieses Engagement wird in Zukunft auch für das HdA eine tragende Säule sein, und es war ein wesentliches Argument, um auf politischer Ebene davon zu überzeugen, dass man die Projekte des HdA auch ohne die Schaffung neuer Planstellen im zweistelligen Bereich erfolgreich wird stemmen können.

Tag der offenen Tür

Der am 17. Mai veranstaltete Tag der offenen Tür war ohne Zweifel der Höhepunkt unserer öffentlichen Aktivitäten. Auch diesmal strömten bei bestem Wetter wieder Tausende von Menschen auf den Königstuhl, um sich einen Einblick in die Forschungs- und Instrumentierungsprojekte am MPIA zu verschaffen und um einen Eindruck von den vielfältigen Aktivitäten am Insti-

Abb. V.2.1: Besucherstrom vor dem Haupteingang des MPIA am Tag der offenen Tür.



tut zu erhalten. Sowohl auf dem Freigelände als auch in den Gebäuden waren praktisch alle Bereiche zugänglich und an insgesamt 31 Stationen standen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts den Besuchern Rede und Antwort.

So konnten die Gäste erfahren, auf welche Weise und unter welchen Bedingungen moderne Observatorien wie das Very Large Telescope (VLT) und Large Binocular Telescope (LBT) mittels adaptiver Optik und Interferometrie einerseits die Bildschärfe eines Weltraumteleskops übertreffen können, warum andererseits aber trotzdem neue Weltraumteleskope wie HERSCHEL und JWST notwendig sind. Sie konnten sehen, welche hohen technischen Herausforderungen erfüllt werden müssen, um erfolgreich Kameras und Spektrographen für moderne Teleskope zu bauen. Und natürlich konnten die Besucher auch direkt miterleben, was und wie die Astronomen an den Observatorien überhaupt beobachten und welche wissenschaftlichen Fragestellungen dahinter stehen. Per Videokonferenz war es möglich, den Beobachtern im Kontrollraum des Large Binocular Telescope auf dem Mount Graham im fernen Arizona live bei ihrer Arbeit zuzusehen oder am 70-cm-Teleskop des Instituts selbst mitzuerleben, wie ein modernes Teleskop Daten aufnimmt.

Wie bei früheren Tagen der offenen Tür wurde auch diesmal ein spezielles Kinderprogramm geboten, um den jüngsten Besuchern spielerisch Grundkenntnisse der Astronomie zu vermitteln. Neben all den Vorführungen und Experimenten – viele davon waren zum Mitmachen – wurde ohne Unterbrechung ein Vortragsprogramm durchgeführt, welches parallel in drei Hörsälen angeboten wurde. Erstmals gab es auch Präsentationen in englischer Sprache. Auch die Landessternwarte, unser Nachbarinstitut auf dem Königstuhl, war eingebunden und bot

beispielweise Führungen zu den historischen Teleskopen an. Und natürlich war auch für das leibliche Wohl der Besucher gesorgt.

Besuch des Oberbürgermeisters und des Stadtrats

Unmittelbar im Anschluss an den Tag der offenen Tür besuchte Heidelbergs Oberbürgermeister Dr. Eckart Würzner zusammen mit dem Gemeinderat der Stadt auf Einladung der Institutsleitung das MPIA zu einem Vortrag mit Sonderführung durch die Labore. Aufgrund der guten Beziehungen zwischen der Stadt und dem MPIA wurde die Idee, auf dem Königstuhl ein Haus der Astronomie zu errichten, von Beginn an auch durch den Oberbürgermeister unterstützt, der schon bei früheren Veranstaltungen auf dem Königstuhl stets großes Interesse an den Aktivitäten des Instituts gezeigt hatte. Die Führung am 19. Mai 2009 bot nun auch jenen Mitgliedern des Gemeinderats eine schöne Gelegenheit, die Aktivitäten auf dem Berg etwas besser kennen zu lernen, die bislang noch nicht am Institut waren.

Institutsübergreifende Öffentlichkeitsarbeit

Das Jahr der Astronomie bot auch Anlass zu zwei Aktionen »institutsübergreifender Öffentlichkeitsarbeit«. Zum einen erschien – zunächst in den regulären Monatsheften von *Sterne und Weltraum*, und anschließend in einem Sonderheft zusammengefasst – die Serie »Sieben Blicke in den Kosmos – Astronomie in der Max-Planck-Gesellschaft«, in der sich sieben astronomisch aktive Max-Planck-Institute (für Astronomie, Astrophysik, extraterrestrische Forschung, Gravitationsphysik, Kernphysik, Radioastronomie und Sonnensystemforschung) mit je einem umfassenden Artikel über ein aktuelles Forschungsthema vorstellen. Dazu gab es, erst im Internet frei verfügbar und dann auch im Sonderheft gedruckt, die entsprechenden für »Wissenschaft in die Schulen!«

Abb. V.2.2: Der Heidelberger Stadtrat in den Laboren des Instituts. Links im Vordergrund Oberbürgermeister Dr. Eckart Würzner (siehe auch Interview auf Seite 124).





Abb. V.2.3: Diese beiden im Jahr der Astronomie erschienenen Sonderhefte waren ein Ergebnis »institutsübergreifender Öffentlichkeitsarbeit«.

entwickelten didaktischen Materialien zur Behandlung dieser Themen im Unterricht. Das Sonderheft richtet sich an Abiturienten, die vor der Wahl ihres Studienfaches stehen, und wird von den sieben Instituten bei ihrer an Schulen gerichteten Öffentlichkeitsarbeit eingesetzt.

Und die neunteilige Serie »Galilei und die Anderen. Hintergründe einer Revolution der Astronomie« entstand in enger Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin, an dem dieses Thema einen wichtigen Schwerpunkt der Forschung bildet. Auch diese Serie erschien noch im Jahr der Astronomie als Sonderheft und fand weite Verbreitung.

Aktivitäten außerhalb des Instituts

Begonnen hatten die konkret auf das Jahr der Astronomie angelegten Heidelberger Aktivitäten schon im Oktober 2008 mit der gemeinsam von Universität und MPIA organisierten Vortragsreihe »Galileis erster Blick durchs Fernrohr und die Folgen heute« im Rahmen des Studium Generale. Diese bis in den Februar 2009 laufende und äußerst publikumswirksame Veranstaltung startete demnach schon ein Vierteljahr vor der festlichen Eröffnungs-

gala in Berlin, die das Institut sowohl finanziell als auch inhaltlich unterstützt hatte.

Auch andere auswärtige Veranstaltungen wurden seitens des Instituts im Sinne des Astronomiejahres genutzt und unterstützt. Dazu zählen beispielweise die bis ins Jahr 2010 dauernde Ausstellung »Himmliches in Büchern« des Zentrums für Astronomie in der Universitätsbibliothek Heidelberg und die Mitwirkung am Science Express, dem Ausstellungszug der Max-Planck-Gesellschaft und des Ministeriums für Bildung und Forschung. Als der Zug im Oktober 2009 dann für drei Tage seinen Halt in Heidelberg hatte, veranstaltete das MPIA in der neuen Aula der Universität einen begleitenden Vortragsabend zum Thema Extrasolare Planeten und dem HERSCHEL Weltraumteleskop.

Die hier auszugsweise beschriebenen Aktivitäten des MPIA (für weitere Beispiele siehe Kapitel V.3) im Jahr der Astronomie haben gezeigt, dass das Interesse der Öffentlichkeit an der Erforschung des Weltraums ungebrochen ist. Obwohl das Institut auch in den Jahren zuvor zahlreiche Veranstaltungen durchgeführt hat, war zu keinem Zeitpunkt zu spüren, dass das Publikumsinteresse bei dem nochmals gesteigerten Angebot nachlassen würde. Im Gegenteil. Damit dürfte auch der Start des Hauses der Astronomie auf dem Campus des MPIA unter einem guten Stern stehen.

Klaus Jäger, Jakob Staude, Markus Pössel.

V.3 Das Haus der Astronomie

Der Start des Projekts »Haus der Astronomie« war am 10. Dezember 2008 auf einer Pressekonferenz in den Räumen der Klaus Tschira Stiftung offiziell bekannt gegeben worden, die Baustelle des spiralgalaxienförmigen Gebäudes, das die neue Einrichtung beherbergen wird, wurde am 13. Oktober 2009 mit einem festlichen Ersten Spatenstich eröffnet. Im Berichtsjahr ging es um die Aufstellung der Kernmannschaft und den Beginn ihrer Aktivitäten.

Am 1. Januar 2009 trat Markus Pössel seine Stelle als Leiter des HdA an. Nach Heidelberg war er aus New York gekommen, wo er für ein Jahr als Senior Science Advisor bei dem World Science Festival mitgewirkt hatte. Zuvor hatte er sich am Max-Planck-Institut für

Gravitationsphysik in Potsdam als »Outreach Scientist« engagiert – insbesondere im Einstein-Jahr und bei Konzeption und Gestaltung der großen Berliner Ausstellung aus diesem Anlass. Im Frühjahr kam Cecilia Scorza hinzu: Als Mitbegründerin der »Astronomieschule e.V.« an der Landessternwarte und bei ihrer Tätigkeit am Deutschen SOFIA Institut in Stuttgart hatte sie umfangreiche Erfahrungen in der astronomischen Bildungsarbeit mit Kindern und Jugendlichen gesammelt.

Im Dezember 2009 wurde mit der Stadt Heidelberg die unbefristete Anstellung von Olaf Fischer bei der städtischen Stiftung Jugend & Wissenschaft vereinbart; von dort ist er, als Hauptbeitrag der Stadt zum Haus der Astronomie, an das HdA abgeordnet. Olaf Fischer, in Jena habilitierter Didaktiker der Physik und Astronomie,

Abb. V.3.1: Virtueller Blick auf das Haus der Astronomie aus nördlicher Richtung. Der »zentrale Bulge« beherbergt den Hörsaal mit nach Osten geneigter Projektionskuppel. Die beiden Spiralarme enthalten im Erdgeschoss rechts den Eingangs-

bereich mit viel Raum für Ausstellungen und links die Räume für Seminare und Unterricht. Im ersten Stock liegen in beiden Spiralarmen die Arbeitsräume. (Bernhardt & Partner)



leitet seit 2004 das eng an unsere Zeitschrift *Sterne und Weltraum* (SuW) angelehnte Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« (WiS!). Dabei geht es um die monatliche Entwicklung didaktischer Materialien, die den Einbau aktueller Themen der astronomischen Forschung in den naturwissenschaftlichen Unterricht der Ober- und Mittelstufe ermöglichen. WiS! wird ein zentrales Element des an Lehrer und Schüler der Ober- und Mittelstufe gerichteten HdA-Programms sein.

Ende 2009 konnte auch die Einrichtung einer weiteren an das HdA abgeordneten Stelle geklärt werden – sie gehört zum Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg und wird vorläufig von der Klaus Tschira Stiftung und vom Forschungministerium Baden-Württembergs finanziert. Diese Stelle wurde an Carolin Liefke vergeben, die soeben ihre astronomische Dissertation an der Universität Hamburg abgeschlossen hatte und viel Erfahrung in der praktischen Arbeit am Teleskop mit Lehramtsstudenten, Oberschülern und dem allgemeinen Publikum mitbringt. Zusammen mit Jakob Staude, der wesentliche Teile der ursprünglichen Konzeption des HdA entwickelt hat, ergibt sich so die fünfköpfige Kernmannschaft; bei ihrer Aufbauarbeit wird sie von Kollegen des MPIA, insbesondere von Thomas Henning, dem geschäftsführenden Direktor, Klaus Jäger, dem wissenschaftlichen Koordinator, Matthias Voss, dem Verwaltungsleiter, und Frank Witzel als Vertreter des Technischen Dienstes, tatkräftig unterstützt.

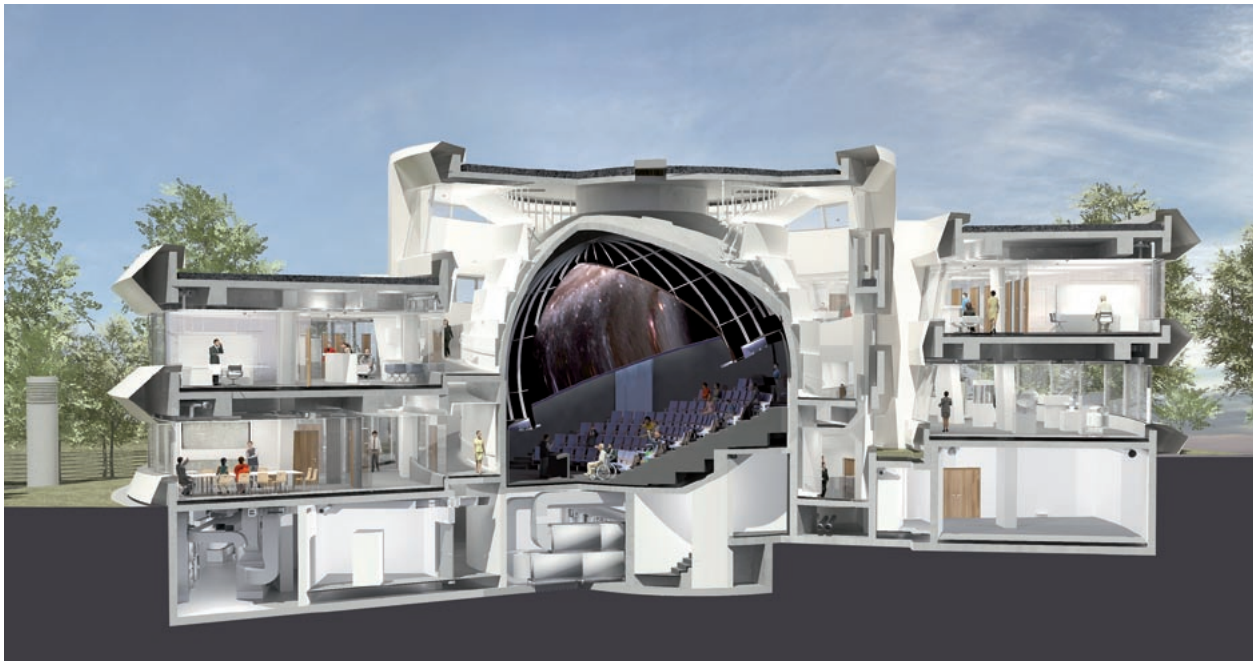
Mit dieser Mannschaft hat sogleich die eigentliche Arbeit des HdA begonnen. Ihrem Auftrag entsprechend, auf den bereits bestehenden Heidelberger Aktivitäten aufzubauen, beteiligte sie sich an dem am MPIA durchgeführten Girls' Day und an der Vortragsreihe »Astronomie am Sonntag Vormittag«, und organisierte am Tag

der offenen Tür ein Kinderprogramm. Vom 13. bis 17. Juni engagierte sie sich bei »Explore Science 2009«, den von der Klaus Tschira Stiftung veranstalteten naturwissenschaftlichen Erlebnistagen für Schüler der Mittel- und Oberstufe im Mannheimer Luisenpark.

Weiterhin wurden am HdA neue Formate entwickelt, die fester Bestandteil des zukünftigen Programms sein werden: Im Rahmen des Internationalen Jahres der Astronomie 2009 (IYA) beteiligte sich das HdA an den »Kepler-Tagen«, einer dreitägigen Veranstaltung für das allgemeine Publikum auf dem Königstuhl mit besonderen Schwerpunkten bei Familien, Schülern der Oberstufe und Lehrern, einschließlich eines Workshops, mehrerer Vorträge und eines kulturellen Programms. Im Herbst stellte das HdA auf der Frankfurter Buchmesse eine Astronomie-Ausstellung vor. Während der »Woche der Schulastronomie« im November, einer bundesweiten Veranstaltung im Rahmen des IYA, organisierte das HdA in Zusammenarbeit mit dem Kultusministerium Baden-Württemberg eine Lehrerfortbildung zum Thema »Astronomie zwischen Schule und Spitzenforschung« und führte den diesjährigen Fortbildungskurs für das Lehrer-Netzwerk des Deutschen Sofia Instituts (DSI) durch.

Während eine Anzahl von Aktivitäten bereits auf vollen Touren lief, wurde hinter den Kulissen die Erweiterung des Programms betrieben. Dazu gehört die Entwicklung eigener Audio/Video-Produktionen und Visualisierungen, sowohl zu Testzwecken als auch für den

Abb. V.3.2: Vertikaler Ost-West-Schnitt durch das Haus der Astronomie, Anblick von Norden. Im Untergeschoss sind die Haustechnik und Laborräume untergebracht.



späteren öffentlichen Gebrauch. Weiterhin wurden langfristig nutzbare Arbeitsmittel angeschafft – hier ist als erstes das vom MPIA in der Westkuppel des Elsässer-Labors eingerichtete neue 50-cm-Teleskop zu nennen. Es wird das Hauptinstrument für öffentliche Beobachtungen auf dem MPIA-Gelände sein. Für Beobachtungen mit Schülern der Oberstufe beantragte das HdA bei der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung mit Erfolg die Finanzierung von 15 Vier-Zoll-Refraktoren samt Ausrüstung für die Sonnenbeobachtung und für einfache spektroskopische Messungen.

Für eine Einrichtung wie das HdA ist die Vernetzung mit anderen Zentren der astronomischen Bildungs- und Outreach-Arbeit wesentlich. Zu diesem Zweck stellte sich das HdA auf einer Reihe von Tagungen vor – mit Vorträgen auf der Jahrestagung der Astronomischen Gesellschaft in Potsdam, auf der Konferenz »astronomy« über Astronomie und die neuen Medien in Leiden, auf der »Conference on the Inspiration of Astronomical Phenomena« (INSAP VI) in Venedig und auf der Science Academy Baden-Württemberg in Adelsheim, sowie mit einem Poster auf der General Assembly der IAU in Rio de Janeiro. Mit einer wichtigen Großorganisation hat sich dabei bereits eine enge Zusammenarbeit ergeben: Das HdA ist der deutsche Knoten des Eso Science Outreach Network, also so etwas wie die deutsche Öffentlichkeitsarbeits-Außenstelle der Europäischen Südsternwarte.

Natürlich galt ein wesentlicher Teil der Aufbauarbeit dem Wahrzeichen und zukünftigen Zuhause des HdA, dem von der Klaus Tschira Stiftung realisierten spiralgalaxienförmigen Gebäude. Während eines großen Teils des Jahres beteiligte sich das HdA-Team intensiv an der endgültigen Ausgestaltung der Baupläne – dazu zählten die Entwicklung eines Ausstellungs-Konzepts für das Foyer, die Spezifikationen für das digitale Planetarium und die Optimierung der Werkstätten und Multimedia-Einrichtungen. Die Baustelle wurde am 13. Oktober unter Beteiligung von Heidelbergs Oberbürgermeister Dr. Eckart Würzner sowie Vertretern der Klaus Tschira Stiftung, der Universität Heidelberg, der Max-Planck-Gesellschaft und anderen mit einem festlichen Ersten Spatenstich eröffnet. Die Bauarbeiten setzten zügig ein, und zum Jahresende gab es auf dem Königstuhl bereits eine große, spiralgalaxienförmige Baugrube zu bestaunen. Dieses handfeste Zeichen und die vielfältigen anderen Aktivitäten lassen keinen Zweifel zu: Das Haus der Astronomie nimmt Gestalt an!

*Markus Pössel, Jakob Staude, Olaf Fischer,
Carolin Liefke, Cecilia Scorza, Thomas Henning,
Klaus Jäger, Mathias Voss, Frank Witzel.*

V.4 Preise und Auszeichnungen

Auch im Jahre 2009 wurden an Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des MPIA wieder einige Preise und Stipendien vergeben. Dazu zählt erneut auch die Otto-Hahn-Medaille.

Otto-Hahn-Medaille für Dominik A. Riechers

Mit der Otto-Hahn-Medaille zeichnet die Max-Planck-Gesellschaft jedes Jahr bis zu 40 junge Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen für herausragende Forschungsleistungen aus. Die Vergabe der Medaille, die im Jahre 1978 ins Leben gerufen wurde, soll besonders begabte junge Wissenschaftler zu einer Fortsetzung ihrer Hochschul- oder Forschertätigkeit motivieren. Die Verleihung, die auch mit einem Geldbetrag verbunden ist, erfolgt traditionsgemäß auf der Jahresversammlung der Max-Planck-Gesellschaft, die im Jahr 2009 vom 16. bis 19. Juni in Mainz stattfand.

Vom MPIA wurde die Ehre diesmal *Dominik A. Riechers* zuteil, der mit seiner Dissertation einen bedeutenden Beitrag zur extragalaktischen Forschung geliefert hat. In seiner Dissertation mit dem Titel »The Molecular Interstellar Medium of Quasar Host Galaxies in the Early Universe« untersuchte er die Eigenschaften des molekularen Gases und dessen Massenverteilung in solchen Galaxien, die schon in der Frühphase des Universums extrem massereiche Schwarze Löcher besaßen. Das molekulare Gas ist der Stoff, aus dem die Sterne entstehen – sein Studium in diesen Quasar Host Galaxien (QSO-Hosts) ist deshalb entscheidend für unser Verständnis der Entwicklung junger Galaxien im frühen Universum. Andererseits sind solche Untersuchungen aber auch sehr schwierig, da Quasare extrem weit entfernt sind (räumliche Auflösung!) und der aktive Kern die Muttergalaxie zudem in vielen Wellenlängenbereichen überstrahlt (Kontrast!). Auf der Basis von Beobachtungen im Radio- und Millimeterbereich hat Dominik Riechers einige der wichtigsten Eigenschaften des molekularen interstellaren Mediums in den Quasaren genauer studiert. So konnte er die CO($J = 1 \rightarrow 0$) Linie erstmals zur Bestimmung der Gesamtmasse des molekularen Gases bei dieser hohen Rotverschiebung hochauflösend spektroskopieren und mit weiteren Beobachtungen die Zahl der im frühen Universum bekannten Moleküle verdoppeln. Alle Daten lieferten miteinander konsistente Sternentstehungsraten in den Quasaren und (zusammen mit zwei anderen Studien) den Befund einer höheren Effizienz der Sternentstehung im Vergleich zu anderen Galaxien. Vermutlich liegt dies an einer höheren mittleren Dichte des Gases in diesen Objekten. Mittels aufwändiger interferometrischer Messungen gelang außerdem erstmals die räumliche und dyna-



Abb. V.4.1: Dominik A. Riechers

mische Auflösung von QSO-Host-Galaxien bei $z > 4$ und der Nachweis reichhaltiger Strukturen in den molekularen Wolken, sowie die Bestimmung von dynamischen Massen zur Untersuchung der bekannten Relation zwischen der Masse des Schwarzen Lochs und der Masse des Bulge, wie man sie aus dem lokalen Universum kennt.

Patzer-Preis für Min Fang, Aday Robaina und Adam Leroy

Auch der Ernst-Patzer-Preis gilt der Förderung von Nachwuchswissenschaftlern. Er wurde von dem Kunstliebhaber und Philosophen Ernst Patzer gestiftet und von seiner Witwe eingerichtet.

Die Stiftung will Wissenschaft und Forschung insbesondere auf dem Gebiet der Astronomie fördern und vergibt ihre Preise an junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am MPIA und anderen Heidelberger Instituten. Jährlich werden die besten Veröffentlichungen ausgezeichnet, die während der Doktorarbeit oder in der Postdoc-Phase entstanden und in einem referierten Fachjournal erschienen sind. Über die Preisvergabe entscheidet ein Auswahlgremium, dem zwei MPIA-Wissenschaftler und ein externer Heidelberger Wissenschaftler angehören.

In diesem Jahr wurde die Auszeichnung an zwei Doktoranden, Min Fang und Aday Robaina, sowie an den Postdoc-Stipendiaten Adam Leroy vergeben.

Min Fang wurde für seine Arbeit »Star and protopla-

netary disk properties in Orions suburbs« (erschieden in *Astronomy & Astrophysics* 504, Nr. 2, 461) ausgezeichnet. In dieser Arbeit geht es um die Untersuchung der Entwicklung zirkumstellarer Akkretionsscheiben anhand einer großen spektroskopischen und photometrischen Durchmusterung junger Sterne im Orion. Auf Basis von VLT/VIMOS Spektren, optischem Imaging und der Kombination mit 2MASS-, SPITZER IRAC-, und MPIS- Daten wurden spektrale Energieverteilungen zwischen 0,4 und 24 μm bestimmt, Modell Atmosphärenmodelle berechnet, Massen- und Altersbestimmungen vorgenommen,

Aday Robaina erhielt den Preis für seine Publikation mit dem Titel »Less than 10 percent of star formation in $z \sim 0,6$ massive galaxies is triggered by major interactions«. Diese Arbeit erschien im *Astrophysical Journal* 704 (2009), p. 324 und befasst sich mit dem Einfluss der Wechselwirkung oder gar Verschmelzung großer, gasreicher Galaxien auf die Sternentstehungsaktivität dieser Galaxien und insbesondere mit der Bedeutung solcher Ereignisse für die mittlere Sternentstehungsrate im Kosmos. Aufgrund photometrischer Rotverschiebungen, Massen, Sternentstehungsraten und HST-basierter Mor-

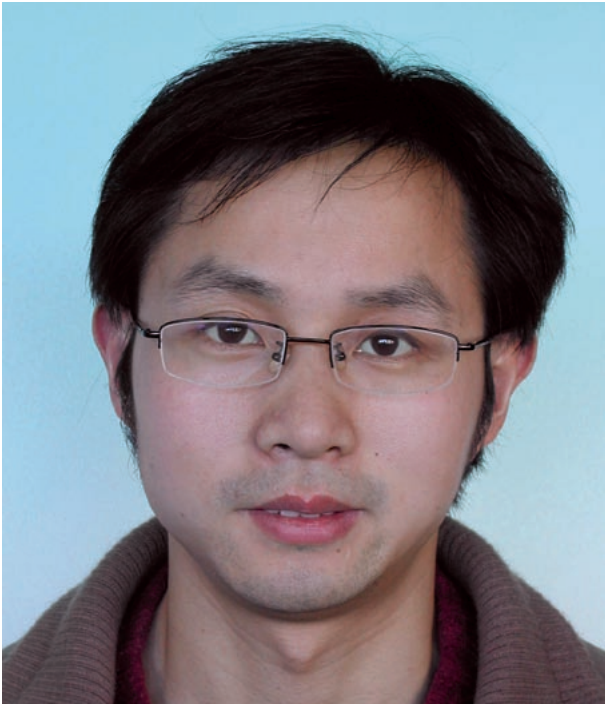


Abb. V.4.2: Min Fang

sowie Linienbreiten und Akkretionsraten bestimmt. Neben der Entdeckung zahlreicher neuer Sterne mit »Übergangsscheiben« (das sind protoplanetare Scheiben in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium) konnte er zeigen, dass der Anteil an Sternen mit Übergangsscheiben, die eine signifikante Akkretionsaktivität zeigen, im Vergleich zu Sternen mit optisch dicken Scheiben relativ niedrig ist, dabei aber ähnliche Akkretionsraten vorliegen. Weiterhin konnte er mit seiner Untersuchung gravitative Wechselwirkungen der Scheiben mit Doppelsterne oder Gravitationsinstabilitäten als Mechanismus zur Bildung von Übergangsscheiben eher ausschließen und zeigen, dass die Lebensdauer von Scheiben in Haufenumgebungen kürzer ist, als im Feld.



Abb. V.4.3: Aday Robaina

phologiestudien konnte er die Erhöhung der Sternentstehungsrate als Funktion des Galaxienabstandes im Bereich $0,4 < z < 0,8$ untersuchen. Wie erwartet zeigten die wechselwirkenden oder verschmelzenden Galaxien die stärkste Sternentstehung. Jedoch übertrifft die Rate diejenige von nicht wechselwirkenden Galaxien nur um das 1,8-fache, in guter Übereinstimmung mit hydrodynamischen Simulationen von gravitativen Wechselwirkungen, die zwar starke, aber nur kurzzeitige Sternentstehungsausbrüche vorhersagen. Gemittelt über die gesamte Wechselwirkungszeit sind die Werte auch hier eher moderat. Der Beitrag solch starker Wechselwirkungen zur gesamten Sternentstehung im Bereich $0,4 < z < 0,8$ beträgt lediglich 10 Prozent. Damit sind solche Ereignisse nicht wirklich maßgebend für die Entstehung der gesamten stellaren Masse seit $z = 1$ – ein überraschendes und für unser Verständnis der kosmologischen Entwicklung der Galaxien wichtiges Ergebnis.

Adam Leroy schließlich bekam den Preis für seine im *Astronomical Journal* 136, S. 2782, erschienene Arbeit »The star formation efficiency in nearby galaxies: Measuring where gas forms stars effectively«. Darin bestimmt er die Sternentstehungseffektivität und die Sternentstehungsrate in 23 nahen Galaxien und vergleicht diese Werte mit den Vorhersagen, wie sie sich aus bekannten Gesetzen ergeben. Dazu verwendet er zum einen Karten des neutralen, atomaren Wasserstoffs aus Daten des HI Nearby Galaxy Survey (THINGS), zum anderen Karten des molekularen Wasserstoffs, die aus



Abb. V.4.4.: Adam Leroy

dem HERA CO-Line Extragalactic Survey und dem Berkeley-Illinois-Maryland Association Survey of Nearby Galaxies stammen.

Die Sternentstehungsrate wurde ermittelt, indem Karten des Galaxy Evolution Explorer (GALEX) im fernen UV, Karten vom SPITZER Infrared Nearby Galaxies

Survey (SINGS) bei 24 μm , Sterndichteprofile aus dem SINGS-Survey bei 3,6 μm , sowie kinematische Daten aus dem THINGS-Survey miteinander kombiniert wurden. In die Bestimmung der Sternentstehungseffektivität flossen Frei-Fall-Zeiten, Gasdruck, oder Stabilitätsbetrachtungen von Gasscheiben ein. Für H_2 allein wurde in Spiralgalaxien die Sternentstehungseffektivität als nahezu konstant gemessen (bei einer räumlichen Auflösung von etwa 800 Parsec). Wo das interstellare Medium jedoch meistens aus HI besteht, konnte eine Abnahme der Sternentstehungseffektivität mit steigendem Abstand vom Zentrum festgestellt werden. Dieses Ergebnis gilt für Spiralgalaxien und auch für Zwerggalaxien und lässt den Schluss zu, dass die Entstehung großer Molekülwolken stark von der Umgebung abhängt. Weiterhin scheint das Verhältnis von molekularem zu atomarem Gas einer »weichen« Abhängigkeit vom Radius, der Sterndichte und des Drucks zu unterliegen und der radiusabhängige Abfall der Sternentstehungseffektivität ist zu stark um nur durch Frei-Fall-Zeiten oder durch Umlaufbahnen erklärt zu werden. Weiterhin sind die Scheiben der Galaxien auf größeren Skalen einigermaßen stabil und damit sind auch großräumige Instabilitäten nicht auf einfache Weise mit der Abnahme der Sternentstehungseffektivität verknüpft.

Stipendien für MPIA-Wissenschaftler

Auch bei der Ausstattung mit besonderen Forschungsstipendien waren MPIA-Wissenschaftler wieder erfolgreich.

So erhielt Christoph Mordasini ein zweijähriges Humboldt-Forschungsstipendium für Postdoktoranden, während Viki Joergens ein Margarete-von-Wrangell-Habilitationsstipendium des Staatsministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Baden Württemberg zuteil wurde. Weiterhin wurde Jörg-Uwe Pott von der NASA mit einem Forschungsstipendium in Höhe von 13 000 US-Dollar für ein Beobachtungsprojekt mit den Keck-Teleskopen ausgestattet.

Klaus Jäger.

V.5 Astronomische Entwicklungen in der Max-Planck-Gesellschaft

Erinnerungen von Reimar Lüst

Reimar Lüst hat die Astronomie innerhalb der Max-Planck-Gesellschaft höchst wirkungsvoll gefördert. Anlässlich des 40. Jahrestages des Arbeitsbeginns unseres Instituts am 1. Januar 1969 haben wir ihn nach den damaligen Ereignissen und ihren Folgen befragt.

Frage: Verehrter Herr Lüst, heute widmen sich sieben Max-Planck-Institute unter Einsatz aller nur denkbaren experimenteller und theoretischer Methoden der Erforschung des Kosmos – vom MPI für Sonnensystem-Forschung, das zum Beispiel die Marsoberfläche mit Robotern erkundet, über die MPI's für Astronomie, Astrophysik, Radioastronomie, extraterrestrische Physik und die Abteilung Astroteilchenphysik im MPI für Kernphysik, bis hin zum MPI für Gravitationsphysik, das kurz vor dem ersten direkten Nachweis kosmischer Gravitationswellen steht. Was empfinden Sie angesichts dieser heutigen Lage?

Reimar Lüst: Finde ich großartig. In Wahrheit sind es sogar acht Institute, denn am MPI für Physik in München wird Teilchenphysik jenseits des Standardmodells betrieben, nach der Dunklen Materie gefahndet oder Gammastrahlung höchster Energie untersucht – das alles sind auch ganz wesentlich astrophysikalische Fragestellungen. Das war ja zunächst gar nicht vorauszusehen, dass die Astronomie einen so gewichtigen Platz in der Max-Planck-Gesellschaft finden würde. Es war zuallererst die Weitsicht von Werner Heisenberg, der 1947, als Direktor des Göttinger MPI für Physik, nach seiner Entlassung aus der Gefangenschaft Ludwig Biermann zum Leiter einer neuen, astrophysikalisch ausgerichteten Abteilung seines Instituts berief. Ich meine, das war der Startpunkt der Astronomie in der MPG – obwohl es ja schon vor dem Zweiten Weltkrieg Bestrebungen gegeben hatte, ein Kaiser-Wilhelm-Institut für Astronomie zu gründen.

Der Ausgangspunkt war zunächst einmal die Erweiterung des MPI für Physik um eine Abteilung Astrophysik, damals unter der Leitung Ludwig Biermanns, und die Verlegung des Instituts nach München. Dabei wurde anerkannt, dass die Astrophysik ein Teilinstitut wurde, und so wurde Biermann Mit-Direktor neben Heisenberg, und das Institut wurde »Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik« benannt. Daraus wurde 1963 ein weiteres Teilinstitut gegründet, nämlich das für extraterrestrische Physik, das ich dann leiten durfte. Und bei den nächsten Schritten, die unter anderem auch bald zur Gründung des MPI für Astronomie führten, war ich zum Teil persönlich mit engagiert.

Im Jahre 1983, anlässlich Ihres 60. Geburtstags, schilderte Hans Elsässer, der Gründungsdirektor unseres Ins-

tituts, in einem kurzen in Sterne und Weltraum erschienenen Text »Astronomische Erinnerungen« die erste, verheißungsvolle Unterredung im Mai 1964 mit Adolf Butenandt, dem damaligen Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft. Sie haben Elsässer zu dieser Unterredung verholfen und ihn zu Butenandt begleitet?

RL: Ja. Bald nach seiner Berufung zum Direktor der Landessternwarte Heidelberg im Jahre 1962 wurde Elsässer vom Rat Deutscher Sternwarten eingebunden in die Bestrebungen eine Südsternwarte zu gründen. Zunächst streckte er seine Fühler beim Bundes-Innenministerium aus. Aber bald gab es Diskussionen, ob dieses überhaupt in dieser Richtung tätig werden durfte, da es ja für die Forschung nicht eigentlich zuständig war. Da hat Elsässer sich an mich gewandt, ob ich nicht ein Gespräch mit Butenandt vermitteln könnte. So kam dieses Gespräch in der Münchner Residenz zustande, wo damals der Präsident der MPG residierte.

Aber kurz davor hatte auch eine Sitzung des Rates Deutscher Sternwarten stattgefunden, bei der es um die Radioastronomie ging. Dort hatte es sehr erregte Diskussionen gegeben: Die Astronomen waren eigentlich gegen ein zentrales MPI für Radioastronomie, und auch gegen ein MPI für optische Astronomie. Sie befürchteten, dass die Max-Planck-Institute die guten Leute von den Universitäten abziehen würden. Vor allem, weil die Radioastronomie so kontrovers diskutiert wurde, schlug Butenandt bei dem Besuch von Elsässer und mir vor, dass der Wissenschaftsrat dazu Stellung nehmen sollte.

Der Wissenschaftsrat »hat die Aufgabe, Empfehlungen zur inhaltlichen und strukturellen Entwicklung von Hochschulen, Wissenschaft und Forschung zu erarbeiten und Bund und Länder in diesen Fragen zu beraten«. Sie waren damals Mitglied dieser Kommission?

RL: Ja, ich war seit 1965 Mitglied des Wissenschaftsrates. Und so wurde ich im Mai 1966 Vorsitzender einer kleinen Arbeitsgruppe zur Erstellung einer Empfehlung bezüglich der Gründung zweier Max-Planck-Institute, eines für Radioastronomie und eines für optische Astronomie. Zu dieser Arbeitsgruppe zählten, neben Vertretern der Regierung, außer mir die Astronomen Bengt Strömgren aus Kopenhagen, Jan Oort aus Leiden und Otto Heckmann aus Hamburg, der Direktor der Eso seit deren Gründung 1962.

Zunächst ging es um die Radioastronomie. Es gab Gespräche mit Sebastian von Hoerner, dem Nachfolger von Heinrich Siedentopf auf dem Tübinger Lehrstuhl für Astronomie. Er wollte ein großes Radioteleskop bauen, für das auch die VW-Stiftung bereits ihre Unterstützung zu-

gesagt hatte. Herr von Hoerner schlug vor, dass dies im Rahmen eines neuen Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Tübingen geschehen sollte.

Ähnliche Pläne hatte Otto Hachenberg am Astronomischen Institut in Bonn entwickelt. Deshalb entschloss man sich zunächst, in Tübingen ein von Sebastian von Hoerner geleitetes MPI für Radioastronomie zu gründen und Hachenberg auf den Tübinger Lehrstuhl zu berufen – beide gemeinsam sollten das große Radioteleskop bauen. Aber angesichts der Tatsache, dass die Radioastronomie in Nordrhein-Westfalen bereits stark gefördert wurde, fühlte Hachenberg die Verpflichtung, in Nordrhein-Westfalen zu bleiben und plädierte stark für diese Lösung.

So empfahl die Arbeitsgruppe dem Wissenschaftsrat 1966 zunächst, die Radioastronomie nicht in Tübingen, sondern in Bonn anzusiedeln. Darauf gab es einen zornigen Brief von Herrn von Hoerner, der sich sehr erbost aus allem zurückzog. So kam es zur Gründung des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Bonn. Hachenberg wurde als Gründungsdirektor wieder nach Bonn berufen, und bald danach kamen Peter Mezger und Richard Wielebinski als Direktoren hinzu. Kurze Zeit später formulierte die Arbeitsgruppe dann auch die Empfehlung des Wissenschaftsrates, ein MPI für optische Astronomie zu gründen mit dem weitreichenden Auftrag, zwei optische Sternwarten aufzubauen, eine nördliche im Mittelmeerraum und eine in der Südhemisphäre. Darüber war allerdings Otto Heckmann nicht sehr glücklich.

Und warum nicht?

RL: Heckmann und Elsässer verstanden sich nicht, und Heckmann hatte auch Zweifel an der Notwendigkeit einer nationalen Südsternwarte neben der erst kurz zuvor gegründeten Europäischen Südsternwarte in Chile. Ich weiß noch, im Juli 1967 fand in Berlin eine entscheidende Sitzung des Wissenschaftsrates statt. Ich benötigte die Zustimmung der astronomischen Kollegen zu den weitreichenden Empfehlungen der Arbeitsgruppe, die ich dem Wissenschaftsrat vorzustellen hatte, und erhielt sie von Strömgren und Oort in einer Sitzungspause per Telefon. Aber zu Heckmann bin ich von Berlin extra nach Hamburg und am selben Tag wieder zurück geflogen um ihm seine Unterschrift buchstäblich abzurufen.

Damit haben Sie aber ganz schön viel bewegt...

RL: Da bin ich auch immer noch ein bisschen Stolz, dass das möglich war, sowohl die Radioastronomie als auch die optische Astronomie auf den Weg zu bringen. Das 100-m-Radioteleskop in Effelsberg wurde am 12. Mai 1971 in Betrieb genommen, Hans Leussink war damals Forschungsminister. Bei der Einweihung des Instituts für die optische Astronomie in Heidelberg 1975, da war ich Präsident.



Abb. V.5.1: Reimar Lüst

Ja, und danach hat sich die astronomische Landschaft innerhalb der MPG zügig weiter entwickelt...

RL: Jürgen Ehlers war 1971 zu Biermann ans Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik gekommen und hatte die Arbeitsgruppe zur Relativitätstheorie aufgebaut. Und 1975 kam Kippenhahn als Nachfolger Biermanns. Als dann 1989 die Wende kam, geriet die Astrophysik in eine schwierige Situation, denn die Nachfolge Kippenhahns stand an, und weil kein geeigneter Nachfolger in Sicht war, wurde überlegt, ob nicht die ganze Astrophysik nach Potsdam sollte. Da waren natürlich die Mitarbeiter der Astrophysik dagegen. Jürgen Ehlers schlug 1990 vor, in Potsdam ein Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik zu gründen. Dazu kam es dann auch 1995 mit dem Albert-Einstein-Institut und Ehlers als Gründungsdirektor. Und in Garching kam es 1991 zur Aufteilung des Max-Planck-Instituts für Physik und Astrophysik in drei eigenständige Institute – für Physik, für Astrophysik und für extraterrestrische Physik.

In Heidelberg war bereits 1957 unter der Leitung Wolfgang Gentners das MPI für Kernphysik gegründet worden. Gentner hatte ein starkes Interesse an der Kosmochemie, also an der Analyse außerirdischer Gesteinsproben mit atom- und kernphysikalischen Methoden, und ging damit Fragestellungen an, die die frühe Entwicklung des Sonnensystems betreffen. Heute wird an diesem Institut das gesamte Zusammenspiel von Teilchenphysik und Astrophysik erforscht.

Und schließlich das MPI für Sonnensystem-Forschung in Katlenburg-Lindau, das demnächst nach Göttingen umziehen wird: Es wurde 1957 als MPI für Aeronomie in die Max-Planck-Gesellschaft übernommen, der Schwerpunkt seiner Forschung lag in der oberen Erdatmosphäre.

In den folgenden Jahren kamen immer neue Bereiche des Sonnensystems hinzu: Kometen, Planeten, die Sonne und die Heliosphäre. Ein früher Höhepunkt dieser Entwicklung war die Giotto-Mission zum Halleyschen Kometen im Jahr 1985, die erste große wissenschaftliche Weltraum-Mission der ESA – an ihr beteiligte sich das Institut mit dem Bau einer Kamera unter der Leitung von Hans Ulrich Keller. Auch Keller war ein Schüler Ludwig Biermanns, der ja selbst entscheidend zur Kometenforschung beigetragen hat.

Wenn Sie heute diese ganze Entwicklung der Astronomie in der Max-Planck-Gesellschaft betrachten – hat sie sich auf die Astronomie an den Landesinstituten und Universitäten nicht doch positiv ausgewirkt?

RL: Oh ja. Wenn ich sehe, ob das nun München und Garching ist oder Heidelberg oder die Radioastronomie in Bonn – der wissenschaftliche Nachwuchs kam immer gemeinsam von der Universität und von den Max-Planck-Instituten. Nehmen Sie Reinhard Genzel zum Beispiel, er hat promoviert in Bonn an der Radioastronomie. Und alle Direktoren waren gleichzeitig Dozenten an der Universität. Der gesamte Nachwuchs in der extraterrestrischen Forschung ist sehr stark von Garching gekommen. An den Universitäten hatte man befürchtet, die Max-Planck-Institute würden die Forschung an den Hochschulen schwächen, aber das Gegenteil ist eingetreten – gerade die Anziehungskraft der Astronomie und

Astrophysik für den Nachwuchs ist überall gewachsen. Und die Zusammenarbeit zwischen den MPIs und den Universitätsinstituten wird immer enger.

Die Anziehungskraft der Astronomie wirkt ja über sie selbst hinaus. In Heidelberg wurden kürzlich alle Physik-Studenten im ersten Semester befragt, aus welchen Gründen sie zum Studium der Physik gerade nach Heidelberg gekommen seien. Darauf haben ein Drittel als entscheidenden Faktor ihr Interesse für die Hochenergie- und Quantenphysik genannt, aber zwei Drittel meinten, es sei die Astronomie und Kosmologie gewesen.

RL: Ich denke auch, dass diese Faszination, die von der Astronomie ausgeht, allen Naturwissenschaften zugute kommt. Deshalb sollte die Astronomie bereits im Schulunterricht die Chance zu ihrer Entfaltung bekommen. Denken wir an Holland: Dieses kleine Land ist in allen Naturwissenschaften aktiv und erfolgreich, und es hat eine ganz besonders starke astronomische Forschung. Es hat eine wirklich erstaunliche, weit überproportionale Zahl hervorragender Astronomen hervorgebracht. An den holländischen Schulen ist die Astronomie ein eigenständiges Lehrfach: Gewiss erklärt sich daraus auch die Stärke der holländischen Astronomie. Aber darüber hinaus hat unsere Wissenschaft eine starke Ausstrahlung, von der alle Naturwissenschaften profitieren.

Das Gespräch führte Jakob Staude.

Reimar Lüst,

geboren 1923 in Barmen bei Wuppertal, nahm, nach seinem Kriegsdienst als Ingenieursoffizier, in britischer Gefangenschaft das Studium der theoretischen Physik und Mathematik auf, schloss es 1949 in Frankfurt ab und wurde 1951 von Carl Friedrich von Weizsäcker in Göttingen mit einer Arbeit über »Die Entwicklung einer um einen Zentralkörper rotierenden Gasmasse«, also über fundamentale Eigenschaften protoplanetarer Scheiben, promoviert. Nach einer ersten Anstellung am MPI für Physik in Göttingen und einem Lehr- und Forschungsaufenthalt in New York habilitierte er sich 1960 an der Universität München und wurde wissenschaftliches Mitglied des inzwischen dorthin umgesiedelten und erweiterten MPI für Physik und Astrophysik. 1961 übernahm er die Koordination des Wissenschaftsprogramms der europäischen Organisation für Weltraumfor-

schung (ESRO), 1963 wurde er Direktor der neuen Abteilung extraterrestrische Physik des MPI für Physik und Astrophysik. Von 1969 bis 1972 war er Vorsitzender des Wissenschaftsrates, der sich damals mit Ausbau und Neugründung von Hochschulen und Forschungsinstituten befasste. Von 1972 bis 1984 war er Präsident der Max-Planck-Gesellschaft, anschließend bis 1990 Generaldirektor der ESA in Paris, und danach bis 2000 Präsident der Alexander von Humboldt-Stiftung zur Förderung hochqualifizierter ausländischer Wissenschaftler. Auch an der Planung und Entwicklung der 1999 gegründeten privaten 'International University Bremen' (IUB, heute: Jacobs University) war Reimar Lüst maßgeblich beteiligt. Heute lebt er in Hamburg und macht von seinem Arbeitszimmer im MPI für Meteorologie nach wie vor regen Gebrauch.

V.6 »Mit dem Haus der Astronomie geht ein Traum in Erfüllung«

Ein Gespräch mit Eckart Würzner, dem Oberbürgermeister der Stadt Heidelberg, zu den Anfängen des MPIA, zur Wissenschaftsstadt Heidelberg, und zu den neuesten Aktivitäten auf dem Königstuhl.

Frage: Lieber Herr Würzner, um 1970 gab es an der Landessternwarte das Gerücht, dass der damalige Oberbürgermeister Zundel ganz entscheidend dazu beigetragen hat, dass das MPIA auf dem Königstuhl gebaut wurde. Viele im Gemeinderat wollten damals wohl eher das Neuenheimer Feld als Standort durchsetzen. Was wissen Sie über die Rolle von Herrn Zundel?

Eckart Würzner: Es stimmt. Das ist tatsächlich so gewesen. Reinhold Zundel war sehr weitsichtig und hat Heidelberg nicht nur als eine Stadt mit der ältesten Universität, mit einem berühmten Schloss und einer wunderschönen Altstadt gesehen hat. Vielmehr dachte er nach vorn und hat sich dafür eingesetzt, auch neue Forschungseinrichtungen in Heidelberg anzusiedeln. Bei der Frage nach dem Standort des MPIA hat sicher eine Rolle gespielt, dass für Institute, die eigene Teleskope betreiben, gute Sichtverhältnisse wichtig sind. Diese sind auf dem Königstuhl gegeben.

Ein Gegenargument war ja wohl, dass man bei der Gründung des Instituts bereits die neuen Großteleskope in Südeuropa aufstellen wollte und damit der Königstuhl als Beobachtungsplatz nicht ganz so wichtig sei. Aber hat nicht auch die Existenz der Landessternwarte auf dem Berg eine große Rolle gespielt?

EW: Mit der LSW bestand bereits ein Observatorium, gewissermaßen ein Kondensationspunkt. Er bot den Astronomen des MPIA die besten Voraussetzungen für eine enge Zusammenarbeit, obwohl er ansonsten nicht sehr verkehrsgünstig liegt. Unter dem Aspekt, dass Wissenschaftler gerne in Klausur gehen, ist ein Platz in der Innenstadt nicht immer die ideale Lösung. Die Entscheidung für den Standort des EMBL war in dieser Hinsicht vergleichbar. Die Standorte für die anderen Fachbereiche im Neuenheimer Feld oder auch im Neuen Campus, den wir gerade in der Bahnstadt realisieren, bieten allerdings einen direkteren Austausch für die Wissenschaftler. Interdisziplinäres Arbeiten ist heute gefragt denn je.

Sie haben die damaligen Argumente angesprochen, also den Vorteil des Standorts Königstuhl für die Astronomen und auch dass die etwas isolierte Lage durchaus gut sein kann, um in Klausur zu gehen. Sehen Sie dies heute als Problem? Sind für Sie die Institute auf dem Königstuhl aus heutiger Sicht eher abgekapselt vom Rest?

EW: Zum damaligen Zeitpunkt war es noch eine eher abgeschlossene Welt. Man hatte noch nicht die Möglichkeiten via Internet zu kommunizieren, so wie wir das heute ganz selbstverständlich machen.

Natürlich ist es wichtig, trotz Internet und neuer Medien den persönlichen Kontakt mit anderen Wissenschaftlern zu pflegen. Interdisziplinarität ist heutzutage ganz entscheidend. Aber Heidelberg selbst kann man als einzigen großen Campus sehen. Und dieser große Campus ist einer der kurzen Wege, wo man sich gegenseitig mit dem Fahrrad, zu Fuß oder mit dem öffentlichen Nahverkehr unmittelbar erreichen und untereinander austauschen kann – durchaus auch bei kulturellen Anlässen, welche die Stadt ja reichlich bietet.

Wir haben auch den Eindruck, dass Sie die Wahrnehmung von Heidelberg als Stadt der Wissenschaft noch ausbauen und die internationale Zusammenarbeit weiter verstärken möchten.

EW: Ja, unbedingt. Das Bild von Heidelberg im Ausland war in der Vergangenheit vor allem geprägt durch das Schloss und die historische Altstadt, die Stadt der Romantik. Dieses Bild hat sich inzwischen stärker verändert. Heidelberg wird heute immer mehr als eine Stadt der Forschung und Wissenschaft wahrgenommen. Dazu tragen die nationalen und internationalen Einrichtungen, wie beispielsweise die MPIs, das EMBL, das DKFZ oder das nationale Zentrum für Tumorthérapie, und die weltberühmte Ruprecht-Karls-Universität enorm bei. Der Standort Heidelberg bietet eine großartige Perspektive für alle Forscher. Wie Künstler, die eine Künstlerkommune suchen, suchen Wissenschaftler eben auch besondere Orte, an denen sie die besten Arbeitsbedingungen, ein ausgezeichnetes internationales Umfeld, und gute Möglichkeiten zum Dialog mit Kolleginnen und Kollegen vorfinden. Dies wollen wir weiter ausbauen und die Kontakte ins Ausland verbessern. Viele internationale Forschungseinrichtungen bis hin zu ganzen Standorten haben großes Interesse an der engen Zusammenarbeit mit unseren internationalen Forschungseinrichtungen.

Heidelberg ist bezüglich der Astronomie einer der ganz großen Standorte in Deutschland. An insgesamt sechs Instituten ist dieses Fach ganz oder teilweise präsent. Was bedeutet das aus Ihrer Sicht für die Stadt?

EW: Die Heidelberger Astronomie ist international bekannt und ein wichtiges Aushängeschild für die Stadt. Hinzu kommt, dass die Astronomie diejenige unter den Naturwissenschaften ist, mit der man auch junge Menschen besonders gut erreichen kann. Wer kann sich nicht



Abb. V.6.2: Eckhart Würzner

daran erinnern, als junger Mensch nachts mit Freunden auf der Wiese beim Zelten gegessen zu haben, um dann in den Himmel zu schauen und sich zu fragen: Was ist das da oben? Wer ist denn dafür verantwortlich? Wie ist das Universum, wie sind die Sterne oder die Erde entstanden? Diese natürliche Neugier wird durch die Astronomie besonders stark geweckt, und dieses Feuer gilt es gerade bei jungen Menschen für die Wissenschaft zu entfachen. Es ist ein faszinierendes Forschungsgebiet und es ist einfach fantastisch, dass Heidelberg gerade in diesem Bereich international führend ist.

Wir bilden ja nicht nur Astrophysiker aus, sondern auch Techniker und Handwerker. Durch den Instrumentenbau ist an unserem Institut eine direkte Verbindung zwischen Grundlagenforschung und Industrie gegeben.

EW: Ich finde es faszinierend, dass wir in diesem Bereich nicht nur forschen, sondern dass wir in Heidelberg auch die Geräte entwickeln und bauen, die man für diese Forschung braucht. Wer einmal auf dem Königstuhl gesehen und erlebt hat, wie beispielsweise komplexe optische, mechanische und elektronische Instrumente, die auch noch bei Temperaturen von minus 260 Grad über viele Jahre hinweg zuverlässig arbeiten müssen, entwi-

ckelt wurden, der ist restlos begeistert. Das sind, glaube ich, Schlüsselerlebnisse, die ein wunderschönes Anschauungsobjekt darstellen, wie die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Praxis erfolgt. Solche High-Tech-Geräte sind kein Massenprodukt, aber das gewonnene Know How kommt später in ganz alltäglichen Geräten zum Einsatz. Es ist von enormer Bedeutung insbesondere für junge Menschen zu erkennen, dass es in der Forschung nicht nur um Theorie, sondern auch um ganz praktische Anwendungen geht.

Denken Sie, dass diese Aspekte noch mehr in die Öffentlichkeit getragen werden müssen? Leisten die Institute vor Ort da genug?

EW: Also ich glaube, dass in Heidelberg diesbezüglich schon sehr viel getan wird. Der Tag der Wissenschaft in unserem Explo oder die Einbindung von Schulklassen in Forschungsprojekte sind gute Beispiele.

Aber man muss offen sagen, dass manche Heidelberger immer noch nicht wissen, dass es ein solches Institut hier oben gibt. Wie einige auch noch nichts vom EMBL gehört haben oder davon, dass es im Neuenheimer Feld eines der größten Medizinzentren gibt. Viele haben nur eine vage Vorstellung, was dort passiert. Deshalb gilt es, diesen Schatz, den wir da haben, auch sichtbar zu machen. Dadurch erzeugen wir Verständnis dafür, wie wichtig diese Institutionen auch gerade für Heidelberg sind. Rohstoffarme Länder wie Deutschland sind auf Bildung, Forschung und technologische Entwicklung angewiesen. Das ist unsere Zukunft. Das muss vermittelt, das muss erlebbar gemacht werden und genau das wollen wir in Heidelberg tun.

Das führt uns direkt zum nächsten Punkt: Der damalige Gründungsdirektor Hans Elsässer hatte geradezu visionär neben der Forschung noch einen anderen, damals kaum beachteten aber heute hochaktuellen Aspekt mit auf den Berg gebracht – die wissenschaftliche Öffentlichkeitsarbeit. Er hatte schon vor der Gründung des MPIA die Zeitschrift Sterne und Weltraum ins Leben gerufen, die heute, ein halbes Jahrhundert später, blüht und gedeiht, und aus der sich kürzlich auch unser Schulprojekt entwickelt hat. Aus diesem Schulprojekt und unseren zahlreichen PR-Aktivitäten seit vielen Jahren entsteht nun das Haus der Astronomie (HdA). Haben Sie diese Vorhaben von Anfang an auch aus den zuvor bereits angedeuteten Gründen verfolgt und unterstützt?

EW: Ja, und ich muss sagen, mit dem Haus der Astronomie geht ein Traum in Erfüllung. Die Idee, wissenschaftliche Erkenntnisse begreifbar, erfahrbar, erlebbar zu machen, vor allem für die jüngere Generation, ist großartig. Wenn wir die Jugend begeistern, haben wir auch keine Probleme, den Nachwuchs zu finden, der sich für Schwarze Löcher interessiert und wissen will, wie Sterne und Galaxien entstehen, aber auch wie eine neue An-

triebstechnik im Bereich Fahrzeugtechnologie funktioniert oder welche Prozesse in einer Zelle ablaufen. Durch experimentelles Lernen in unserem Exploratorium sind wir im Bereich der Mikrobiologie bereits aktiv. Mit dem HdA hat Heidelberg demnächst einen weiteren bedeutenden außerschulischen Lernort.

Es ist wichtig, dass Wissenschaft, in diesem Falle der Blick ins Universum, erlebbar und erfahrbare wird. Es stärkt den Geist, die Motivation, es hilft, den Forscherdrang wieder neu zu beleben. Und das geht im Grunde relativ einfach. Man muss eigentlich nur solche besonderen Orte anbieten, an denen die Faszination erfahrbare wird. Ich selbst habe ja auch nicht einfach so Geologie und Geographie studiert, sondern weil mich die Faszination der Erdentstehung und vieles mehr nicht mehr losgelassen hat. Das HdA ist eine Begegnungsstätte für Wissenshungrige aller Jahrgänge, die wir so bisher in Heidelberg nicht hatten. Das Konzept ist pädagogisch gut und der Standort auf dem Campus des MPIA bietet den Jugendlichen die Möglichkeit, »echte« Forscher kennenzulernen und ihnen über die Schulter zu schauen.

Sie sehen also auch eine große Nachhaltigkeit?

EW: Aber sicher. Ich glaube, dass das HdA ein anregendes und nachhaltiges Projekt ist. Die richtigen Partner haben das erkannt und arbeiten hier zusammen. Wir werden diesen Prozess unterstützen – auch finanziell – mit unserer Beteiligung am HdA über unser Exploratorium. Für die Stadt ist es wichtig, außerschulische Lernorte zu unterstützen und die Vernetzung mit anderen wichtigen Organisationseinheiten zu fördern. Es ist eine großartige Sache, dass Klaus Tschira, ein überaus erfolgreicher Unternehmer, der bis heute im Herzen Wissenschaftler geblieben ist, die Idee und die Finanzmittel für das HdA eingebracht hat. Übrigens mit einer außergewöhnlichen Architektur in Form einer Galaxie, die es so auch noch nicht gab. Alleine der Bau und die Entwicklung der Statik stellen bereits eine große Innovation dar, noch bevor die Aktivitäten im Gebäude starten – worauf wir uns alle natürlich sehr freuen!

*Das Gespräch führten
Klaus Jäger und Jakob Staude.*

Eckart Würzner,

geboren 1961 in Goslar/Harz, studierte Geographie an den Universitäten Mannheim und Heidelberg und promovierte 1993 mit der von der Landesgraduiertenförderung Baden-Württemberg geförderten Dissertation »Vergleichende Fallstudie über potentielle Einflüsse atmosphärischer Umwelttoxine auf die Mortalität in Agglomerationen« im den Ballungsräumen der Bundesrepublik Deutschland und im Großraum Paris.

Von 1988 bis 1991 war er als Umweltfachberater für die Stadt Heidelberg tätig, danach übernahm er die Leitung der Abteilung technischer Umweltschutz. Es folgten die Leitung der Abteilung Umwelt- und Energiemanagement (1997 – 1999) und danach die Leitung des Amtes für Umweltschutz, Energie und Gesundheitsförderung, bevor er 2001 das Amt

des Heidelberger Bürgermeisters für Umwelt und Energie übernahm.

Im Jahr 2006 wurde Eckart Würzner zum Oberbürgermeister der Stadt Heidelberg gewählt. Darüber hinaus ist er auch als Vorsitzender in verschiedenen regionalen und überregionalen Gremien tätig, etwa der »Gesellschafterversammlung der Technologiepark Heidelberg GmbH« und der »European Energy and Climate Task Force«.

Herr Würzner besuchte in den vergangenen Jahren mehrmals das MPIA bei verschiedenen Anlässen, und verfolgt die Aktivitäten des Instituts stets mit großem Interesse. Von Anfang an begeisterte er sich auch für die Idee des HdA und bereitete den Weg dafür, dass die Stadt Heidelberg heute diese Einrichtung tatkräftig als Partner unterstützt.

V.7 Nachrufe

Frithjof Brauer

Frithjof Brauer kam im Frühsommer 2005 an unser Institut, um eine Doktorarbeit über die frühesten Phasen der Planetenbildung zu beginnen. Als theoretisch ausgebildeter Physiker war er bestens geeignet, das mathematische Problem der Entwicklung der Größenverteilung fester Teilchen in den Gasscheiben um junge Sterne in Angriff zu nehmen. Er hatte bald großen Erfolg bei der Entwicklung neuer Rechenmethoden zur Überwindung der vielfältigen Schwierigkeiten, die am enormen dynamischen Bereich des Problems liegen: Vom sub-mikrometergroßen Staubeilchen bis zum kilometergroßen Planetesimalen waren mehr als 30 Größenordnungen in Masse zu überbrücken.

Seine Durchbrüche auf diesem Gebiet ermöglichten erstmals die konsistente Modellierung der Entwicklung der Staubeilchen in protoplanetaren Scheiben über die gesamte räumliche Ausdehnung und Lebensdauer dieser Scheiben hinweg. Solche Modelle waren dringend erwünscht und erforderlich, weil in den letzten Jahren die Menge und Qualität der Beobachtungen solcher Scheiben im infraroten und im Millimeterwellen-Bereich enorm angewachsen war. Es fehlten gute, zu deren Interpretation erforderliche Modelle für die Entwicklung der Staubeilchen. Frithjof Brauers Modelle schlossen diese Lücke, und seine Arbeiten wurden schnell häufig zitiert. Ein großer Teil der gegenwärtig am MPIA laufenden Untersuchungen zur Staubeilchen-Entwicklung baut auf Frithjof Brauers wegweisender Arbeit auf. Anfang 2009 wurde er summa cum laude promoviert. Für seine wichtigste Publikation erhielt er den Ernst-Patzer-Preis und das Reimar-Lüst-Stipendium der Max-Planck-Gesellschaft, das ihm die Fortsetzung seiner Forschung für zwei weitere Jahre als Postdoc ermöglichte.

Leider erkrankte Frithjof Brauer bereits während seiner Doktorarbeit schwer an Krebs. Trotz einer zermürbenden Therapie und düsteren Aussichten machte er weiter, schrieb eine eindrucksvolle Dissertation und behielt seinen Sinn für Humor und seinen Lebenswillen.



Doch am 19. September 2009 verlor er seinen mutigen Kampf gegen eine heimtückische Krankheit. Er starb im Alter von 29 Jahren.

Wir haben Frithjof Brauer als einen warmherzigen Menschen in Erinnerung, der sogar während seiner Krankheit stets bereit war, anderen zu helfen. Er hatte vielfältige Interessen und es war stets ein Vergnügen, mit ihm über Philosophie, Musik oder Wissenschaft im allgemeinen zu diskutieren. Er war ein begeisterter und talentierter Klavierspieler, der gerne auch wunderschön improvisieren konnte. Und das Wichtigste: Es war eine große Freude, wie auch immer mit ihm die Zeit zu verbringen. Er fehlt uns sehr. Er hatte viele Zukunftspläne, aber sein Leben war zu kurz.

Cornelis Dullemond, Thomas Henning.

Kurt Birkle

Am 1. Januar 2010 verstarb Kurt Birkle, der langjährige Direktor des Calar-Alto-Observatoriums. Wenige Tage vor seinem 71. Geburtstag riss ihn ein tragischer Verkehrsunfall mitten aus seinem aktiven Leben.

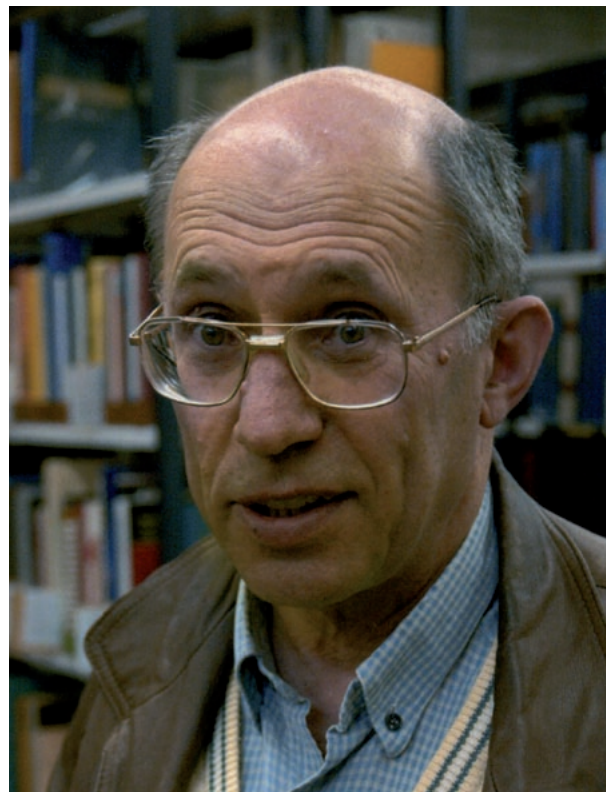
Kurt Birkle wurde am 8. Januar 1939 in Freiburg geboren. Sein Studium der Physik beendete er 1966 mit einer Diplomarbeit am Fraunhofer-Institut in Freiburg, dem späteren Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik, über das Verhalten der photosphärischen Granulation im Zyklus der Sonnenaktivität. Nach einem weiteren Jahr am Fraunhofer-Institut, in dem er die Struktur der Chromosphäre erforschte, kam er Anfang 1968 als Doktorand an die Landessternwarte Heidelberg-Königstuhl, um – wie sich sein damaliger Weggefährte Wolfgang Mattig erinnerte – »nicht als Sonnenphysiker abgestempelt zu werden«. Mit seinem Doktorvater Hans Elsässer wechselte Kurt Birkle später an das neu gegründete MPIA.

Die Gründung des MPIA war aus der Einsicht hervorgegangen, dass nur ein Institut mit direktem Zugriff auf ein Observatorium mit leistungsfähigen Großteleskopen international konkurrenzfähig sein könne. Ein solches Observatorium, das den Astronomen deutscher Institute Beobachtungsmöglichkeiten bieten sollte, musste aber erst noch entstehen.

Kurt Birkle war einer der Wegbereiter für den Erfolg dieses ehrgeizigen Vorhabens. Er war an der mehrjährigen Suche nach geeigneten Standorten für die geplanten Observatorien – je eines auf der Nord- und der Südhemisphäre – maßgeblich beteiligt. Die Station auf der Nordhalbkugel sollte aus verschiedenen Gründen innerhalb Europas liegen. Klimatologische und geografische Voruntersuchungen hatten die Auswahl geeigneter Standorte auf enge Gebiete in Südgr Griechenland und den südöstlichen Teil Spaniens eingeschränkt. Für die Südstation hatte sich neben Chile mit seinen bekannt guten Bedingungen nur Südwestafrika, das heutige Namibia, angeboten.

Der Titel von Kurt Birkles Doktorarbeit, die er 1973 der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg vorlegte, lässt seine Beiträge zur Standortsuche erkennen: »Vergleichende Messungen des astronomischen Seeing in Griechenland, Spanien, Südwestafrika und Chile«. Mit Unterstützung von seinen Kollegen E. Böttcher, W. Hornuth und M. Wensch baute er einfache Beobachtungsstationen auf dem 1805 Meter hohen Pargaki im Parnon-Gebirge auf dem Peloponnes sowie auf dem 2168 Meter hohen Calar Alto, dem höchsten Teil der Sierra de los Filabres nördlich der spanischen Küstenstadt Almeria auf. In Namibia nutzte er die Station, die Thorsten Neckel auf dem 2350 Meter hohen Gamsberg am Rand der Namibwüste errichtet hatte.

In Griechenland begann Kurt Birkle im Frühjahr 1968, in Spanien im Frühjahr 1970 mit Messungen des Seeing, der Extinktion und meteorologischer Daten. Man vermag sich heute nur noch schwer vorzustellen,



was diese Pionierarbeit, weitab von jeder Infrastruktur, an persönlicher Entbehrung mit sich brachte. Nur ein Mensch mit dem Wesen Kurt Birkles konnte diese Herausforderungen so gut meistern. Es machte ihm nichts aus, in provisorischen Unterkünften zu leben und zur Not auch mal in einem kargen Unterstand der vorbeiziehenden Schäfer Unterschlupf zu finden. Die Fähigkeit, Einsamkeit auszuhalten, seinen Lebensrhythmus von den beruflichen Erfordernissen bestimmen zu lassen, persönliche Bedürfnisse geringer einzuschätzen als die Freude an der Arbeit, das waren Merkmale, die den Menschen Kurt Birkle auszeichneten. Seine unter diesen Bedingungen zustande gekommenen Messungen gaben schließlich den Ausschlag für die Standortwahl: Das Observatorium für die Nordhalbkugel sollte auf dem Calar Alto errichtet werden.

Auf dem Gamsberg führte Kurt Birkle ab Oktober 1970 Sichtmessungen durch, ein Jahr später auch auf La Silla in Chile. Für den chilenischen Standort lagen zwar bereits vielfältige Seeingdaten vor, jedoch waren diese mit unterschiedlichen Methoden und Definitionen der Messgröße durchgeführt worden, so dass ein zuverlässiger Vergleich der Daten kaum möglich war. Kurt Birkles Messungen ergaben für den Gamsberg ebenso gute mittlere Seeingverhältnisse wie für La Silla; der Anteil der Nächte mit sehr gutem Seeing war auf dem Gamsberg sogar höher. Im Wesentlichen wegen der damals noch unsicheren politischen Zukunft Südwestafrikas entschied die Max-Planck-Gesellschaft jedoch, das für die Südhalbkugel vorgesehene 2,2-Meter-Teleskop dem Observatorium der Eso auf La Silla anzugliedern.

Nachdem für die Nordhalbkugel die Standortentscheidung zugunsten des Calar Alto gefallen war, leitete Kurt Birkle dort zusammen mit spanischen Kollegen den Aufbau des Deutsch-Spanischen Astronomischen Zentrums (DSAZ) mit seinen vier großen Teleskopen. Dessen offizielle Eröffnung im Jahr 1979 markiert die Entstehung eines nationalen Observatoriums, von dem die deutsche Astronomie seit einem halben Jahrhundert geträumt hatte. Der Weg dorthin war mühsam. Zunächst musste die komplette Infrastruktur bereitgestellt werden. Einige Jahre war die Mannschaft in Wohn- und Arbeitscontainern untergebracht. Es gehörte ein ausgeprägtes Organisationstalent dazu, dies alles zu leiten, aber auch diplomatisches Geschick, um Probleme mit lokalen Behörden zu lösen oder gar nicht erst aufkommen zu lassen. Als lokaler Direktor verstand es Kurt Birkle trotz der oft widrigen Umstände, die Mitarbeiter zu motivieren. Bei Differenzen mit dem Personal, die es wegen der unterschiedlichen Mentalitäten durchaus gab, bewirkte seine ruhige und ausgleichende Art, dass diese in sachlicher Atmosphäre beigelegt wurden.

Die guten Beziehungen zur spanischen Astronomie sind ein ganz entscheidender Verdienst von Kurt Birkle, ebenso die Kontakte zu den dortigen Wissenschaftsinstitutionen und lokalen Behörden. Am Aufschwung der spanischen Astronomie in den letzten 35 Jahren hat er einen entscheidenden Anteil. Öffentlich mag Kurt Birkle oft im Schatten seines Doktorvaters und des MPIA-Gründungsleiters Hans Elsässer gestanden haben, aber jeder Astronom, der auf dem Calar Alto beobachtete und von ihm vieles lernte, weiß die Verdienste Kurt Birkles zu würdigen.

Neben dem Aufbau des Observatoriums und dessen Organisation widmete sich Kurt Birkle natürlich auch der eigenen Forschung. Sein besonderes Interesse galt einerseits den Kometen, andererseits den aktiven Galaxien. Die Instrumentierung, die während seiner Tätigkeit auf dem Calar Alto eingeführt wurde, reichte von Fotoplattenkameras für Direktaufnahmen über Bildwandlerkameras für den nahen Infrarotbereich, mehrstufige Bildverstärker, verschiedene Spektrographen und CCD-Kameras bis hin zu modernen Infrarotkameras und adaptiver Optik.

Die Beobachtungen in der Anfangszeit erfolgten mit Fotoplatten, und Kurt Birkle entwickelte sich auf diesem Feld zum Spezialisten. Er testete Verfahren zur Sensibilisierung und experimentierte mit Vorbelichtungen und verschiedenen Entwicklungsmethoden, um aus den Platten auch noch das Letzte herauszuholen, was ganz entscheidend zur hervorragenden Qualität der Direktaufnahmen und Spektralplatten beitrug. Seine Akri-

bie und Detailversessenheit zeigen sich nicht zuletzt in den großartigen Aufnahmen mit dem Schmidtspiegel, die weite Verbreitung fanden.

Als Beobachter entsprach Kurt Birkle dem typischen Bild des traditionellen Astronomen. Ausgerüstet mit winterfester Kleidung und begleitet von klassischer Musik, eine weitere seiner Leidenschaften, verbrachte er lange Nächte, selbst bei Minusgraden, am Okular, denn »Autoguider« war damals noch ein Fremdwort. Dessen ungeachtet war er am nächsten Vormittag schon wieder auf den Beinen, um sich den administrativen Dingen zu widmen, oder aber um Gastbeobachter vom Königstuhl und aus anderen deutschen und spanischen Forschungsinstituten zu betreuen.

Im Jahr 1998 kehrte Kurt Birkle zum Königstuhl zurück und widmete sich gänzlich seiner wissenschaftlichen Forschung. Auch nach seiner Pensionierung im Jahr 2003 blieb er aktiv. Um das im Laufe der Jahre auf dem Königstuhl und dem Calar Alto gewonnene photographische Material der Nachwelt zu erhalten und für langfristige Studien verfügbar zu machen, baute er seit 2005 zusammen mit Holger Mandel und anderen Kollegen der Landessternwarte sowie mit finanzieller Unterstützung der Klaus Tschira Stiftung ein elektronisches Archiv auf. Diese Datenbank namens Heidelberg Digitized Astronomical Plates (HDAP) umfasste bis Ende 2009 insgesamt 6160 digitalisierte Fotoplatten, die seit dem Jahr 1900 mit dem Bruce-Doppelastrographen der Landessternwarte bzw. seit 1982 mit dem Schmidt-Spiegel auf dem Calar Alto entstanden waren. Über die Website des GAVO Data Center ist diese Datenbank unter <http://dc.zah.uni-heidelberg.de> frei abrufbar.

Auch am letzten Tag des Jahres 2009 war Kurt Birkle auf dem Königstuhl mit dem Digitalisierungsprojekt beschäftigt. Uhrzeiten spielten für ihn keine Rolle. Und so war er auch wieder mit dem Auto unterwegs, als die Welt um ihn herum den Beginn des neuen Jahres feierte, so wie er zuvor Hunderttausende von Kilometern unbeindruckt von sonstigen Gepflogenheiten zurückgelegt hatte. Diesmal aber war seine Fahrt zu Ende, bevor er sein Ziel in der Nähe von Freiburg erreichte. Kurt Birkle hinterlässt seine spanische Ehefrau, Pilar Duro, und die beiden Töchter Irene und Sylvia.

Kurt Birkle drängte sich nie ins Rampenlicht. Zu den wenigen Ehrungen, die ihm zuteil wurden, gehört die Benennung des 1989 entdeckten Kleinplaneten (4803) Birkle. Im Herzen derer, die ihn kannten, werden er und seine Lebensleistung stets in dankbarer Erinnerung bleiben.

Uwe Reichert, Ulrich Thiele.

Personal

Direktoren: Henning (Geschäftsführung), Rix

Wissenschaftlicher Koordinator: Jäger

Öffentlichkeitsarbeit: Staude (Leitung)

Verwaltung: Voss (Leitung)

Wissenschaftliche Mitarbeiter: Afonso, Bailer-Jones, Bell (bis 31.7.), Balog (ab 1.8.), Bertram, Beuther, Borelli, Bouwman, Brandner, Dannerbauer (bis 30.9.), De Bonis, De Jong, Dullemond, Dumas, Dziourkevich, Elias (bis 30.9.), Feldt, Fendt, Fischer (1.12. bis 31.12.), Fried, Gallazzi, Gässler, Goldman (ab 1.2.), Goto (ab 1.4.), Gouliermis, Graser, Gredel, Hennawi (ab 15.6.), Hennemann (bis 31.10.), Herbst, Hippler, Hofferbert (in Elternzeit ab 14.1.), Inskip, Huisken, C. Jäger, K. Jäger, Jahnke, Jester (bis 31.5.), Joergens, Klaas, Klahr, Klement, Köhler, Krause, Kürster, Launhardt, Leipski (ab 1.9.), Lenzen, Linz, Liu, Marien, Meisenheimer, Möller-Nilsson, F. Müller, Mundt, Nielbock, Pavlov, Peter, Pössel (ab 1.1.), Pott (ab 1.6.), Rodriguez (ab 1.10.), Röser (bis 30.9.), Sandor, Sargent, Scheithauer, Schinnerer, Schreiber, Scorza (ab 1.6.), Semenov, Setiawan, Sicilia-Aguilar, K. Smith, Staude (bis 31.12.), Steinacker (1.3. bis 31.8.), Stilz, Trowitzsch, Tsalmantza, van Boekel, van de Ven (ab 15.8.), van den Bosch (bis 15.4.), Walter

Doktoranden: Anguita (bis 31.3.), Arold, Behera (bis 14.10.), Bergfors, Besel (ab 1.12.2008), Bicanski (bis 28.2.), Birnstiel, Bocchi (bis 20.2.), Boley (ab 1.9.), Boudreault (bis 19.11.), Brasseur (ab 1.9.), Burtscher, Cacciato (bis 31.7.), Cisternas, Csak, Crnojevic, Da Rio, De Rosa, Dettenrieder (bis 31.8.), Dopke (ab 15.6.), Downing (ab 15.6.), Ernst (bis 31.7.), Fallscheer, Fang, Federrath, Flock, Follert, Foyle, Gan, Geißler (bis 30.9.), Gennaro, Golubov (ab 1.8.), Grootes (ab 1.10.), Holmes, Hormuth, Jäger (ab 1.9.), Juhasz, Karim, Kern (ab 1.5.), Koposov (bis 30.11.), Kudryavtseva (ab 1.4.), Kuiper, Lefa (ab 1.4.), Liu (ab 1.11.), Lu (ab 1.7.), Ludwig (ab 1.10.), Meyer, Mignone (bis 30.4.), More (bis 31.7.), Moster, Moyano, A. Müller (bis 28.2.), Natale, Nicol (bis 11.5.), Nikolov, Nugrohu, O'Sullivan (bis 31.3.), Pedaletti (bis 31.7.), Pitann, Porth, Raettig (ab 1.5.), Robaina, Roccatagliata, Rochau, Rodon (bis 30.11.), Ruhland, Rodriguez, Schmalzl, K. B. Schmidt, T. Schmidt, Schrubba, Schulze-Hartung (ab 1.5.), Skelton, Steglich, Stumpf, Sturm, Tackenberg (ab 1.10.), Uribe, Uelzhöffer (ab 1.12.), Valente, Van der Laan (ab 1.3.), Vasyunin, Vasyunina, Wang, H., Weise, Zechmeister, Zeidler (ab 1.3.), X. Zhang (ab 1.11.), Zhao-Geisler, Zsom, Zub

Diplomanden und studentische Hilfskräfte (UH): Bestenlehner (bis 31.5.), Conrad (bis 31.1.), Fiedler (ab 28.9.), Hoffmann (bis 31.10.), Lendl (bis 30.9.), Potrick (ab 1.3.), Raettig (bis

30.4.), Schewtschenko (ab 1.6.), Schmiedeke (ab 17.8.), Schnupp (ab 16.3.), Wylezalek (ab 1.4.)

Diplomanden und Master-Studenten (FH): Bideaux (ab 1.9.), Blanco (ab 1.9.), Dittkrist (ab 1.9.), Fischer (bis 30.6.), Keilbach (bis 28.2.), Pfannschmidt (bis 28.2.)

Stipendiaten: Arold (ab 14.4.), Bik, Blindert (bis 31.5.), Boudreault (bis 19.11.), Brauer (verstorben am 20.9.), Cacciato (ab 1.8.), Carson, Commercon (ab 15.10.), Decarli (ab 1.11.), Fan, Fedele, Fontanot (bis 30.4.), Goldman (bis 31.1.), Goto (bis 31.3.), Greve, Gustafsson (bis 30.11.), Kainulainen (ab 1.6.), Kang, Kim (bis 30.6.), Kurk (bis 30.6.), Labadie, Leroy (bis 30.9.), Li (ab 15.9.), Lyra (5.4. bis 30.9.), Ma (19.3. bis 31.7.), Macciò, Martin, Martinez-Sansigre (bis 31.8.), Martinez-Delgado (ab 1.12.), Matthews (bis 31.3.), Maulbetsch (bis 30.4.), Meidt (ab 15.8.), Mordasini, More (1.8. bis 31.10.), Morganson (ab 15.8.), Mosoni (bis 28.2.), Nicol (12.5. bis 31.12.), Nilsson (bis 31.3.), Ormel (ab 1.11.2008), Pasetto (bis 31.8.), Pasquali, Peng (9.5. bis 9.7.), Ragan (ab 15.12.), Rodriguez (1.7. bis 30.9.), Sandstrom (ab 15.9.), Skibba (bis 31.7.), Stutz (ab 1.8.), Thalmann, Tremonti (bis 31.5.), van der Wel, Vasyunin (ab 1.12.), Wang Wei, Yang (ab 12.8.), Zatloukal (bis 28.2.), Zhukovska, Zibetti

Praktikanten und Auszubildende: Abel (ab 1.9.), Brezinski (ab 1.9.), Christmann (ab 1.3.), Ehret, Franke (bis 24.7.), Haude (2.2. bis 20.3.), Lechner (ab 1.9.2008), Merx, Messer (1.3. bis 31.8.), Neidig, Peterlick (5.8. bis 30.9.), Roeske (1.3. bis 31.8.), Verellen (29.6. bis 14.8.), Wipfler (ab 1.9.2008), J. Zimmermann (bis 30.9.)

Öffentlichkeitsarbeit: Staude (Leitung), Pössel, Quetz

MPIA-Observatorien: Gredel

Technische Abteilungen: Kürster

Konstruktion: Rohloff (Leitung), Baumeister (Stellvertreter), Blümchen, Ebert, Huber, Münch, Schönherr (ab 1.6.)

Feinwerktechnik: Böhm (Leitung), W. Sauer (Stellvertreter), Euler (bis 31.8.), Heitz, Maurer, Meister, Meixner, Stadler; Auszubildende, Praktikanten, studentische Hilfskräfte: Abel (ab 1.9.), Brezinski (ab 1.9.), Christmann (ab 1.3.), Ehret, Franke (bis 24.7.), Merx, Neidig, Wipfler (ab 1.9.2008)

Elektronik: Wagner (Leitung); Mohr (Stellvertreter); Adler, Alter, Bieler (ab 1.10.), Ehret, Klein, Lehmitz, Mall, Mohr, Ramos, Ridinger, Westermann (bis 30.9.), Wrhel; Auszubildende, Praktikanten, studentische Hilfskräfte:

Bideaux (ab 1.9.), Blanco (ab 1.9.), Fastner (ab 1.9.), Keilbach (bis 28.2.), Messer (1.3. bis 31.8.), Pfannschmidt (bis 28.2.), Roeske (1.3. bis 31.8.)

Instrumentierungssoftware/Projekt-EDV: Briegel (Leitung); Storz (Stellvertreter), Berwein, Borelli, Kittmann (Gast der Universität Köln), Leibold (bis 30.6.), Möller-Nilsson, Neumann, Pavlov, Trowitzsch; Auszubildende, Praktikanten, Wissenschaftliche Hilfskräfte: Fischer (bis 30.6.)

Instrumentierung und Projektabwicklung: Marien (Leitung), Bizenberger (Stellvertreter), Bertram, Brix, De Bonis (Gast der Universität Köln), Gässler, Graser, Laun, Meschke, Naranjo, Peter

Administrativ-Technische Service-Abteilungen:

Verwaltung: Voss (Leitung); Apfel, Anders, Baier, Beckmann, Heißler, Hölscher, Schleich, S. Schmidt, Scheerer (ab 15.11.), Zähringer; Auszubildende: Lechner, J. Zimmermann (bis 30.9.)

Bibliothek: Dueck

EDV-Gruppe: Richter (Leitung), Piroth (Stellvertreter), Hiller, Bestenlehner (bis 31.5.); Studentische Hilfskraft: Schewtschenko (ab 1.6.)

Fotolabor: Anders

Graphikabteilung: Quetz (Leitung), Meißner, Müllerthann

Sekretariate: Bohm, Janssen-Bennynck, Koltes-Al-Zoubi (Mutterschutz ab 22.10.), Seifert, Witte-Nguy (ab 14.9.)

Technischer Dienst und Kantine: Zergiebel (Leitung), F. Witzel (Stellvertreter), Behnke, Drescher, Jung, Lang, Nauss, B. Witzel, E. Zimmermann

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

Freier Mitarbeiter: Thomas Bührke

Wissenschaftliche Gäste: Y. Serena Kim, Univ. Arizona, 1. Sep. 2008 – 30. Juni; Xiaohui Fan, Steward Obs., 1. Sep. 2008 – 30. Juni; Bernhard Sturm, 1. Dez. 2008 – 31. Jan.; Francesco Pierfederici, NOAO/LSST, 4. – 31. Jan.; Markus Janson, Univ. Toronto, 6. – 8. Jan.; Steven Balbus, Ecole Norm. Sup. Paris, 14. – 16. Jan.; Guillaume Laibe, Cral ENS Lyon, 14. – 17. Jan.; Amy Stutz, Univ. Arizona, 14. – 16. Jan.; Jon Braithwaite, CITA Toronto, 14. – 16. Jan.; Jouni Kainulainen, 14. – 15. Jan.; Andrea Stolte, Univ. Köln, 21. – 23. Jan.; Benjamin Hussmann, Univ. Köln, 21. – 23. Jan.; Adam Bolton, IfA Hawaii, 25. – 28. Jan.; Yuko Kakazu, IOP Paris, 26. – 28. Jan.; Joseph Hennawi, UC Berkeley, 27. – 30. Jan.; Eric Gawiser, Rutgers Univ., 1. – 3. Feb.; Maria Khramtsova, Urals State Univ., 2. – 20. Feb.;

Domenico Tamburro, München, 4. Feb.; Simon Huegelmeier, Göttingen, 2. – 5. Feb.; Thomas Puzia, HIA Victoria, 3. – 8. Feb.; Natalia Noel, Univ. Edinburgh, 3. – 8. Feb.; Ingo Thies, Univ. Bonn, 4. – 5. Feb.; Pavel Kroupa, Univ. Bonn, 4. – 5. Feb.; Joe Crocker, Oxford Univ., 8. – 10. Feb.; Sandra Savaglio, MPE, 8. – 9. Feb.; Eric Emsellem, Univ. Lyon, 9. – 10. Feb.; Brant Robertson, KICP Chicago, 9. – 11. Feb.; Rychard Bouwens, UC Santa Cruz, 10. – 12. Feb.; Klaus Dolag, MPA, 11. – 12. Feb.; Pamela Klaassen, ESO, 11. – 12. Feb.; Mariska Kriek, Princeton Univ., 14. – 18. Feb.; Stelios Kazantzdis, Ohio State Univ., 15. – 18. Feb.; Juan Carlo Munoz, AIP, 16. – 27. Feb.; Glenn van de Ven, Inst. For Adv. Studies, 16. – 19. Feb.; Juan Carlos Munoz, AIP Potsdam, 16. – 27. Feb.; Jörg-Uwe Pott, Keck Observatory, 17. – 20. Feb.; Jose A. Caballero, Univ. Madrid, 18. – 21. Feb.; Gwendolyn Meeus, AIP Potsdam, 24. – 26. Feb.; Evan Skillman, Univ. Minnesota, 28. – 4. Feb.; Roderik Overzier, MPA Garching, 2. – 7. März; Koen Maaskant, Univ. Amsterdam, 2. – 13. März; Roberto Decarli, Univ. di Como, 9. – 11. März; Dmitry Vibe, Russ. Acad. Sci., 9. März – 9. Apr.; Nikolai Voshchinnikov, St. Petersburg State Univ., 12. März – 9. Apr.; Ficut V. Dana, Univ. Hertfordshire, 16. – 21. März; Simone Weinmann, MPA Garching, 23. – 27. März; Benjamin Hussmann, Univ. Köln, 25. – 27. März; Andrea Stolte, Univ. Köln, 25. – 27. März; Zsolt Regaly, Konkoly Obs. HAS, 29. März – 9. Apr.; Seyma Caliskan, Ankara Univ., 4. Apr. – 9. Mai.; Fuyan Bian, Steward Obs., 5. – 19. Apr.; Luciano Casarini, Univ. Milano, 14. Apr. – 5. Mai.; Christian Tapken, 16. – 18. Apr.; Raquel Salmeron, Mt. Stromlo Obs., 18. – 21. Apr.; Neal Turner, CalTech, 18. Apr. – 4. Mai.; Bernd Husemann, AIP Potsdam, 200. – 25. Apr.; Jesus Maldonado, Univ. Madrid, 20. Apr. – 20. Juli; Joseph Hennawi, UC Berkeley, 23. – 29. Apr.; Daniel Mortlock, London, 26. – 29. Apr.; Olivier Schnurr, Univ. Sheffield, 27. – 29. Apr.; Rene Andrae, ITA HD, 27. Apr. – 8. Mai.; Mitesh Matel, Imperial College, 29. Apr. – 1. Mai.; Sylvain Veilleux, Univ. Maryland, 3. – 4. Mai.; Marco Spaans, Kapteyn Astr. Inst., 4. – 8. Mai.; Anders Johansen, Sterrewacht Leiden, 4. – 7. Mai.; Carole Mundell, Liverpool JM Univ., 4. – 7. Mai.; Aaron Boley, Univ. Zürich, 4. – 5. Mai.; Zsolt Regaly, Konkoly Obs., 4. Mai. – 30. Juni; Warrick Lawson, Univ. New South Wales, 5. – 9. Mai.; Johan Olofsson, Obs. Ujf Grenoble, 5. – 8. Mai.; David Delgado, IAC, 5. – 13. Mai.; Chien Peng, NRC Herzberg Inst., 9. Mai. – 9. Juli; Dan McIntosh, Univ. Missouri-Kansas, 16. Mai. – 6. Juni; Alan McConnachie, Herzberg Inst., 20. – 24. Mai.; Subhanjoy Mohanty, IC London, 27. – 29. Mai.; John Bally, Univ. Colorado, 29. Mai. – 3. Juni; Crystal Brasseur, ?, 1. – 2. Juni; Estelle Bayet, Univ. Coll. London, 1. – 4. Juni; Mark Westmoquette, Univ. Coll. London, 1. – 4. Juni; Markus Janson, Univ. Toronto, 1. – 5. Juni; Yaroslav Pavlychenkov, Russ. Acad. Sci., 1. – 14. Juni; Andrey Zhilkin, Russ. Acad. Sci., 1. – 14. Juni; Natalia Zhilkina, Chelyabinsk State Univ., 1. – 14. Juni; Dylan Hatt, Haverford College, 1. Juni – 31. Juli; Chris Carilli, NRAO, 1. Juni – 15. Aug.; Claudia Marka, AIU Jena, 2. – 13. Juni; Greg Rudnick, Univ. Kansas, 8. – 12. Juni; Peter Abraham,

Konkoly Obs., 8.–18. Juni; Sonya Mollinger, Harvard University, 8. Juni – 7. Aug.; Blair Conn, ESO Santiago, 11.–12. Juni; Caroline D'Angelo, ESO Garching, 15.–16. Juni; René Plume, Univ. Calgary, 15. Juni – 31. Juli; David Hogg, NYU, 15. Juni – 15. Aug.; Ronin Wu, NYU, 16. Juni – 18. Juli; Dominik Riechers, Caltech, 22.–27. Juni; Paul Boley, Ural State Univ., 22. Juni – 30. Juli; Uma Gorti, 23.–26. Juni; Greg Rudnick, Univ. Kansas, 28. Juni – 31. Juli; Phil Marshall, Univ. California, 29. Juni – 3. Juli; Alberto Bolatto, Univ. Maryland, 1.–2. Juli; Ignacio Ferreras, King's College Lond, 1.–14. Juli; Glenn van de Ven, IAS Princeton, 3.–12. Juli; Yan-Mei Chen, MPA Garching, 3.–29. Juli; Ravi Sheth, Univ. Pennsylvania, 5.–19. Juli; Mariangela Bernardi, Univ. Pennsylvania, 5.–19. Juli; Takaya Nozawa, Univ. Hokkaido, 5. Juli – 1. Aug.; Benjamin Weiner, Univ. Arizona, 8.–28. Juli; Bronson Wacker, Univ. Kansas, 10. Juli – 1. Aug.; MacLow Mordecai-Mark, AMNH, NY, 11. Juli – 22. Aug.; Steven Balbus, Ecole Norm. Sup., 12. Juli – 3. Aug.; Caroline Terquem, Univ. Curie, Paris, 12. Juli – 3. Aug.; Dustin Lang, NY Univ., 14. Juli – 16. Aug.; Jo Bovy, NY Univ., 19. Juli – 15. Aug.; Mauro Giavalisco, UMASS, 19. Juli – 4. Aug.; Daniela Calzetti, UMASS, 19. Juli – 4. Aug.; Mark Pitts, Honolulu, 19. Juli – 28. Juli; Thomas Cox, 21.–24. Juli; Warrick Lawson, Univ. New S.Wales, 26. Juli – 6. Aug.; Anna Brylyakova, 27. Juli – 13. Aug.; Mark Swain, JPL, 27. Juli – 30. Aug.; Martin Zintl, LMU München, 29.–30. Juli; Takashi Kozasa, Univ. Hokkaido, 29. Juli – 30. Aug.; Christian Wolf, 29. Juli – 5. Aug.; Ralf Kissmann, Univ. Tübingen, 30.–31. Juli; David Martinez-Delgado, IAC, 1.–31. Aug.; Miriam Peterlick, 3. Aug.–30. Sep.; Julianne Dalcanton, Univ. Washington, 6.–11. Aug.; Susana Iglesias-Groth, IAC, 6.–27. Aug.; Rafael Rebolo, IAC, 6.–27. Aug.; Pierre Cox, 9.–11. Aug.; Emanuele Daddi, 10.–11. Aug.; Peter Kurczynski, 12.–14. Aug.; Emanuele Daddi, 10.–11. Aug.; Gerrit van der Plas, Univ. Amsterdam, 10.–13. Aug.; Peter Kurczynski, 12.–14. Aug.; Torsten Boeker, ESA/ESTEC, 15.–30. Aug.; Ute Lisenfeld, IAA, 15.–30. Aug.; Linda Watson, Ohio State Univ., 24.–28. Aug.; Paul Martini, Ohio State Univ., 24.–28. Aug.; Jakob Walcher, ESA, 24.–27. Aug.; Nadine Neumeyer, ESO, 24.–28. Aug.; Connie Rockosi, UCO/Lick Obs., 22. Aug.–16. Sep.; Bradford Holden, 22. Aug.–16. Sep.; Riccardo Smareglia, INAF-OATS Trieste, 24. Aug.–4. Sep.; Cynthia Knight, Brigham Y. Univ., 25. Aug.–3. Dez.; Xiangxiang Xue, 30. Aug.–18. Sep.; Jose A. Caballero, Univ. Madrid, 1.–3. Sep.; Daniel Zucker, Macquarie Univ. Sydney, 7.–11. Sep.; Michael Gladders, Univ. Chicago, 7.–11. Sep.; Matt Bayliss, Univ. Chicago, 7.–11. Sep.; Dan Zucker, Macquarie Univ., 7.–11. Sep.; Nikolett Sipsos, 8. Sep.–7. Okt.; Ray Sharples, Univ. Durham, 10.–11. Sep.; Tom Shanks, Univ. Durham, 10.–11. Sep.; Andrew Walsh, James Cook Uni. Townsville, Australia, 11.–15. Sep.; Cesar E. Garcia Dabo, ESO, 11. Sep.; Stephen Marsden, Anglo-Austr.Obs., 10.–11. Sep.; Ramon Skibba, Steward Obs., 14.–19. Sep.; Andre Müller, MPIA/ESO, 29. Sep.–2. Okt.; Gang Zhao, 30. Sep.; Michael Cooper, Steward Obs., 3.–27. Okt.; Amir Asgharsharghi,

4.–9. Okt.; A. Martinez-Sansigre, Oxford Univ., 8.–9. Okt.; B. Ramkumar, Univ. Düsseldorf, 9. Okt.; Brice Menard, CITA, 12.–13. Okt.; Dan Weisz, Univ. Minnesota, 11.–14. Okt.; Ranjan Gupta, IUCAA Pune, 18.–21. Okt.; Sascha Quanz, ETH Zürich, 18.–22. Okt.; Jesus F. Barroso, IAC, 25. Okt.–1. Nov.; Nikolett Sipsos, 26. Okt.–2. Nov.; Olivier Guillois, CEA-CNRS, 26. Okt.–7. Nov.; Zsolt Regaly, Konkoly Univ., 28. Okt.–15. Nov.; P.G. Prada Moroni, Univ. Pisa, 2.–7. Nov.; Emanuele Tognelli, Univ. Pisa, 2.–7. Nov.; Ilaria Pascucci, STSI, 7.–12. Nov.; Genevieve Graves, UC Berkeley, 8.–12. Nov.; Konrad Tristram, MPI Bonn, 9.–10. Nov.; Patrick Ruoff, Univ. Tübingen, 10.–13. Nov.; Gabriel Brammer, Yale Univ., 13.–17. Nov.; Ruud Visser, Leiden Obs., 15.–17. Nov.; Nikolett Sipsos, 15. Nov.–18. Dez.; Stehen Hansen, Dark Cosm.Center, 16.–18. Nov.; Igor Zinchenko, Russ. Acad. Sci., 17. Nov.–11. Dez.; Xiaohui Fan, Univ. Arizona, 20.–24. Nov.; Mariko Kato, Tokyo Inst. Techn., 21. Nov.–5. Dez.; Zahorecz Sarolta, ELTE Astron. Dept., 23.–24. Nov.; Erika Verebelyi, ELTE Astron. Dept., 23.–24. Nov.; Gabor Marton, ELTE Astron. Dept., 23.–24. Nov.; Andrea Stolte, Univ. Köln, 23.–27. Nov.; Benjamin Hussmann, Univ. Köln, 23.–27. Nov.; Nadia Kostogryz, NAO, 25.–27. Nov.; Marco Spaans, Univ. Groningen, 25.–28. Nov.; Markus Schöller, ESO, 26. Nov.; Simone Weinmann, MPI Astrophysik, 30. Nov.–4. Dez.; Timo Anguita, PUC Chile, 30. Nov.–4. Dez.; Regis Lachaume, PUC Chile, 30. Nov.–4. Dez.; Zsolt Regaly, Konkoly Obs., 1.–17. Dez.; Tim van Kempen, Cfa, 3.–4. Dez.; Greg Herczeg, Caltech, 3.–4. Dez.; Julio Navarro, Univ. Victoria, 4. Dez.; Warrick Lawson, Univ. New South Wales, 4.–11. Dez.; Ryan Quadri, Leiden Obs., 6.–10. Dez.; Rachel Somerville, STSI, 9.–12. Dez.; Michael Williams, Oxford Univ., 15.–16. Dez.

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

Observatorium Calar Alto / Almeria, Spanien

Astronomie Koordination: Thiele (stellvertretende Leitung)
Teleskoptechnik und EDV: W. Müller

Arbeitsgruppen

Abteilung Stern- und Planetenentstehung

Direktor: Thomas Henning

Infrarot-Weltraum-Astronomie: Oliver Krause, Zoltan Balog, Marc-André Besel, Stephan Birkmann, Jeroen Bouwman, Helmut Dannerbauer, Örs Hunor Detre, Ulrich Grözinger, Martin Hennemann, Ralph Hofferbert, Rory Holmes, Ulrich Klaas, Hendrik Linz, Friedrich Müller, Markus Nielbock, Jan Pitann, Silvia Scheithauer, Jürgen Schreiber, Amy Stutz

Sternentstehung: Thomas Henning, Aurora Aguilar Sicilia, Adrianus Bik, Paul Boley, Xuepeng Chen, Min Fang, Davide Fedele, Markus Feldt, Mario Gennaro, Dimtrios Gouliermis, Miwa Goto, Attila Juhasz, Jouni Kainulainen, Serena, Kim, Huabai Li, Ralf Launhardt, Rainer Lenzen, Owen Matthews, Laszlo Mosoni, André Müller, Christian Ormel, Diethard Peter, Sarah Ragan, Veronica Roccatagliata, Boyke Rochau, Markus Schmalzl, Tim Schulze-Hartung, Dmitri Semenov, Bernhard Sturm, Roy van Boekel, Antonin Vasyunin, Tatiana Vasyunina, Wei Wang, Mathias Zechmeister, Svitlana Zhukovska

Braune Zwerge/Exoplaneten: Reinhard Mundt, Carolina Bergfors, Boudreault, Steve, Wolfgang Brandner, Joseph Carson, Kerstin Geißler, Bertrand Goldman, Felix Hormuth, Viki Joergens, Natalia Kudryavtseva, Victoria Rodriguez Ledesma, Johnny Setiawan, Christian Thalmann, Patrick Weise

Theorie (SP): Hubertus Klahr, Andrej Bicanski, Frithjof Brauer, Bennoit Commercon, Frank Dettenrieder, Natalia Dziourkevitch, Mario Flock, Sebastian Kern, Rolf Kuiper, Christoph Mordasini, Nathalie Raettig, Ana Uribe

Laborastrophysik: Friedrich Huisken, Marco Arold, Cornelia Jäger, Sergey Krasnokutskiy, Libo Ma, Gael Rouillé, Torsten Schmidt, Mathias Steglich

Adaptive Optik: Wolfgang Brandner, Nicola Da Rio, Joseph Carson, Fulvio De Bonis, Markus Feldt, Dimitrios Gouliermis, Stefan Hippler, Felix Hormuth, Micaela Stumpf, Christian Thalmann

Interferometriezentrum FRINGE: Thomas Henning, Uwe Graser, Ralf Launhardt, Jürgen Steinacker

Emmy-Noether-Gruppe: »Die Entstehung massereicher Sterne«: Henrik Beuther, Cassandra Fallscheer, Javier Rodon, Jochen Tackenberg, Yuan Wang

MPG – Nachwuchsgruppe: Cornelis Dullemond, Tilmann Birnstiel, Mario Flock, Zsolt Sandor, Andras Zsom

MPG – Minerva-Gruppe: Cristina Afonso, Balasz Csak, Maximiliano Moyano, Nikolai Nikolov, Kai Uelzhoeffer

Abteilung Galaxien und Kosmologie

Direktor: Hans-Walter Rix

Sternpopulation: Coryn Bailer-Jones, Thomas Herbst, Steve Boudreault, Christian Elting, Jelte de Jong, Kester Smith, Carola Tiede, Paraskevi Tsalmantza

Struktur und Dynamik von Galaxien: Hans-Walter Rix, Glenn van de Ven, Kelly Foyle, Coryn Bailer-Jones, Rainer Klement, Sergey Koposov, Nicolas Martin, David Martinez-Delgado, Eric Morganson, Stefano Pasetto, Anna Pasquali, Stefano Zibetti

Sternentstehung und Interstellares Medium: Eva Schinnerer, Fabian Walter, Roberto Decarli, Gisella de Rosa, Min Fang, Thomas Greve, Alexander Karim, Sharon Kurk, Adam Leroy, Alejo Martinez-Sansigre, Sharon Meidt, Mark Sargent, Tessel van de Laan, Hsiang-Hsu Wang

Beobachtende Kosmologie: Eric Bell, Joe Hennawi, Hermann-Josef Röser, Kris Blindert, Anna Galazzi, Sebastian Jester, Marie-Helene Nicol, Christine Ruhland, Kasper Borello Schmidt, Christina Tremonti, Arjen van der Wel

Aktive Galaxienkerne: Knud Jahnke, Klaus Meisenheimer, Leonard Burtscher, Mauricio Cisternas, Fontanot, Katherine Inskip, Chrisitan Leipski, Kim Nilsson

Modellierung: Christian Fendt, Rachel Somerville, Frank van den Bosch, Marcello Cacciato, Lucas Labadie, Andrea Maccio, Surhud More, Benjamin Moster, Oliver Porth, Ramin Skibba

Instrumentierung: Josef Fried, Thomas Herbst, Jörg-Uwe Pott, Rory Holmes, Roman Follert, Eva Meyer, Xianyu Zhang

Emmy-Noether-Gruppe »Galaxienentwicklung und Kosmologie«: Eric Bell, Anna Gallazzi, Xianzhong Zheng, Aday Robaina, Christine Ruhland, Rosalind Skelton

Emmy-Noether-Gruppe »Aktive Galaxienkerne«: Knud Jahnke, Katherine Inskip, Mauricio Cisternas, Dading Hadi Nugrohu

MPG-Forschungsgruppe »Entstehung von Galaxien und großräumigen Strukturen«: Frank van den Bosch, Marcello Cacciato, Xi Kang, Surhud More, Ramin Skibba, Jianling Gan

MPG-Minerva-Gruppe »Aktive Galaxienkerne«: Eva Schinnerer, Gael Dumas, Mark Sargent, Alejo Martinez Sansigre, Sebastian Haan, Alexander Karim

Lehrveranstaltungen

Wintersemester 2008 / 2009

E. Bell: Observing the Big Bang (Vorlesung)

H. Beuther, Ch. Fendt: Outflows and Jets: Theory and Observations (Vorlesung)

Ch. Fendt: Current research topics in Astrophysics (IMPRS Blockseminar, mit M. Camenzind, LSW/ZAH)

Ch. Fendt, H. Beuther, K. Meisenheimer, H.-W. Rix: Current research topics in Astrophysics (IMPRS Oberseminar)

Th. Henning: Physics of Star Formation (Oberseminar)

K. Meisenheimer: Quellen hochenergetischer Strahlung (Oberseminar, mit J. Kik, MPIK und S. Wagner, (LSW/ZAH)

K. Meisenheimer: Institutskolloquium von MPIA und LSW (mit M. Camenzind, LSW/ZAH)

Sommersemester 2009

- C. Bailer-Jones: Applications of Machine Learning in Astronomy (Vorlesung)
 C. Bailer-Jones: Statistical Methods (Vorlesung)
 E. Bell, H. W. Rix: Galaxies (Vorlesung)
 E. Bell, H. W. Rix: Exercises on Galaxies (Übung)
 H. Beuther: Star Formation (Vorlesung)
 H. Beuther: Massive Star Formation (Seminar)
 C. Dullemond: Tutorial zu Computational Fluid Dynamics (Übung)
 C. Dullemond: Computational Fluid Dynamics (Vorlesung)
 Ch. Fendt, H.-J. Röser: Einführung in die Astronomie und Astrophysik III (Seminar mit J. Heidt, LSW/ZAH)
 Ch. Fendt, C. Dullemond: Current Research Topics in Astrophysics (IMPRS Seminar mit A. Quirrenbach, LSW/ZAH)
 Ch. Fendt: Workshop (IMPRS Seminar mit A. Just, ARI/ZAH)
 Th. Henning: Physics of Star Formation (Vorlesung)
 F. Huisken: Clusters and Nanoparticles (Vorlesung, Universität Jena)
 F. Huisken: Laboratory Astrophysics (mit H. Mutschke, Vorlesung, Universität Jena)
 H. Klahr: UK-Numerik (Blockvorlesung mit R. Banerjee, ITA/ZAH)
 N. Martin: The Local Group as a cosmological probe, IMPRS block course (Gastvorlesung)
 N. Martin: The structure of faint Local Group dwarf galaxies, IMPRS summer school (Gastvorlesung)
 K. Meisenheimer: Institutskolloquium von MPIA und LSW (mit S. Wagner, M. Camenzind, LSW/ZAH)
 K. Meisenheimer: Gruppenunterricht zur Experimentalphysik II (Übung)
 R. Mundt: Introduction to Astronomy and Astrophysics III (Seminar)
 H.-W. Rix: Galaxien (Blockvorlesung)
 B. Rochau: Physikalisches Praktikum IIA (Praktikum)
 H.-H. Wang: Computational Fluid Dynamics (Übung)

Wintersemester 2009 / 2010

- H. Beuter, Ch. Fendt: Introduction to Astronomy and Astrophysics I (Vorlesung)
 H. Beuther, Ch. Fendt, L. Burtscher: Einführung in die Astronomie und Astrophysics I (Übung)
 Ch. Fendt, K. Meisenheimer: Workshop (IMPRS Seminar mit T. Lisker, ARI/ZAH)
 Th. Henning: Physics of Star Formation (Seminar)
 F. Huisken: Clusters and Nanoparticles: Part I (Clusters) (Vorlesung, Universität Jena)
 K. Meisenheimer: Institutskolloquium von MPIA und LSW (mit S. Wagner, LSW/ZAH)
 K. Meisenheimer: Astrophysical sources of high energy radiation (Seminar mit S. Wagner, LSW/ZAH, J. Kirk, MPIK)
 O. Porth: »Introduction to Astronomy« (Übung)
 B. Rochau: Physikalisches Praktikum IIA (Praktikum)
 H. W. Rix: Observing the Big Bang (Vorlesung)

Mitarbeit in Gremien

- Cristina Afonso: Mitglied des S-TAC am MPIA; Mitglied der Strategy Survey Working Group of PAN-STARRS1; Mitglied der scientific community and working group of the Plato Space Mission Concept
 Coryn Bailer-Jones: Mitglied des PhD Advisory Committee am MPIA; Manager des Subconsortium »Astrophysical Parameters« im GAIA Data Processing and Analysis Consortium; Mitglied des GAIA Data Processing and Analysis Consortium Executive; Mitglied des Scientific Organizing Committee of Commission 45 (Stellar Classification) der IAU
 Henrik Beuther: Mitglied des APEX program committee; Mitglied des ESO OPC; Mitglied des IRAM program committee
 Wolfgang Brandner: Mitglied des Calar Alto Scientific Advisory Committee (SAC); Mitglied bei FP7 E-ELT Preparation; Mitglied des METIS Science Team; Mitglied des PhD Advisory Committee am MPIA; Mitglied des selection committee des Astronomischen Kolloquiums Heidelberg
 Leonard Burtscher: Sprecher des PhDnet (Doktorandenvereinigung der MPG), stellvertretenden Sprecher des IMPRS-HD
 Cornelis P. Dullemond: Mitglied des PhD Advisory Committee am MPIA
 Christian Fendt: Mitglied des Promotionsausschusses der Fakultät für Physik und Astronomie, Heidelberg
 Kelly Foyle: IMPRS-Vertreterin
 Wolfgang Gässler: Mitglied des LBT First Light AO review committee; Mitglied der IAU Working Group on Optical Interferometry Data Standards
 Bertrand Goldman: Mitglied im PANIC science team; Mitglied des PAN-STARRS1 SPOC; Mitglied bei PAN-STARRS1 KPAT committee
 Roland Gredel: Mitglied des ELT Site Selection Advisory Committee; Mitglied des ELT Science and Engineering Committee; Vorsitz des Dome C (Antarctica) site quality assessment; Vorsitz des OPTICON board; Mitglied des OPTICON telescope directors forum (member)
 Thomas Henning: Vorsitzender der Lange Binocular Telescope Beteiligungsgesellschaft; Member Representative im LBT Board; Mitglied des CAHA Executive Committee; Mitglied des PS1 Boards, Mitglied der Berufungskommission des MPI für Sonnensystemforschung; Visiting Committee for Physics, Universität Innsbruck; Search Committee, ESO Director of Programs (Vorsitz); ESO Council (Vice President), Mitglied im SOFIA Science Council; Mitglied im Wissenschaftlichen Beirat des Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik, Freiburg, und der Thüringer Landessternwarte Tautenburg; Mitglied des Selection Committee beim Dutch Academy Professorship Programme
 Tom Herbst: Principal Investigator von LINC-NIRVANA; Mitglied des Science and Technical Committee (STC) des Large Binocular Telescope; Mitglied der Science

Strategy Working Group (SSWG) der ESO; Mitglied des Science and Technical Committee (STC) der ESO; Vorsitz des ELT Science and Engineering Committee (ESE); Leiter der WP3 »Operations« bei MICADO; Mitglied des PhD Advisory Committee am MPIA

Klaus Jäger: Vorstandsmitglied der Astronomischen Gesellschaft (Pressereferent) (seit September 2009); Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats der International Summer Science School Heidelberg (ISH); Mitglied im Rat Deutscher Sternwarten (RDS), Mitglied im Board der LBT-Beteiligungsgesellschaft (LBTB)

Knud Jahnke: Mitglied im ESO panel, Periode 85

Viki Joergens: Mitglied des PhD Advisory Committee am MPIA

Hubert Klahr: Gutachter des NASA Origins Review Panel, Mitglied der Berufungskommissionen an den MPIs für Physik, für Extraterrestrische Physik und für Sonnensystemforschung, Mitglied des Phd Advisory Committee am MPIA, Mitarbeitervertreter in der Sektion CPT der MPG

Martin Kürster: Mitglied des ESO-OPC-Panels

Ralf Launhardt: Mitglied des S-TAC am MPIA; Mitglied des Vergabegremiums der Ernst Patzer Stiftung (bis Mai); Project scientist bei ESPRI

Reinhard Mundt: Vertreter des MPIA im deutsch-spanischen CARMENES-Team

Hans-Walter Rix: Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats des Astrophysikalischen Instituts Potsdam; Vorsitzenden des PS1 Science Consortium; Mitglied im Board Member der Large Binocular Telescope Beteiligungsgesellschaft; Mitglied des NIRSPEC Science Team; Mitglied im BMBF-Gutachterausschuss »Astrophysik und Astroteilchenphysik«; Mitglied der DFG Fachkollegien; Mitglied »at large« der ASTRONET Infrastructure Roadmap Working Group

Jakob Staude: Mitglied der Bundesjury bei »Jugend forscht«.

Glenn van de Ven: Mitglied des PhD Advisory Committee am MPIA; Mitglied des Auswahlkomitees für den Ernst-Patzer-Preis

Fabian Walter: Mitglied im JWST MIRI European consortium; Mitglied des IRAM Program Committee; Mitglied im PAN-STARRS Science Council

Weitere Aktivitäten am Institut

Für den Girls' Day am 23. April am Institut waren Cristina Afonso, Vianak Naranjo, Alexander Karim, und Silvia Scheithauer verantwortlich. Klaus Jäger hielt den Vortrag »Der Himmel im Computer – Virtuelle Planetarien«.

Am 17. Mai lud das MPIA zu einem Tag der offenen Tür ein, zu dem mehr als 5000 Besucher kamen.

Die 8-teilige Vortragsreihe »Astronomie am Sonntag Vormittag« im Juni – Juli organisierten Klaus Jäger, Markus Pössel, Axel M. Quetz und Jakob Staude.

Das Kuratorium des Instituts tagte am 18. September.

Am 13. Oktober erfolgte der erste offizielle Spatenstich für das Haus der Astronomie auf dem Gelände des MPIA unter Beteiligung von Prof. Kurt Roth (Prorektor der Universität Heidelberg), Manfred Bernhardt (Architekten Bernhardt + Partner, Darmstadt), Beate Spiegel (Klaus Tschira Stiftung), Prof. Herbert Jäckle (Vizepräsident der Max-Planck-Gesellschaft) und Dr. Eckart Würzner (Oberbürgermeister der Stadt Heidelberg).

Das BOGY-Praktikum für Schüler am 26.–27. Okt. organisierten Leonard Burtscher, Klaus Jäger, Klaus Meisenheimer und Silvia Scheithauer. Klaus Jäger hielt den Vortrag »Galaxien und Terabytes – Optische Astronomie im Zeitalter moderner Großteleskope«.

Im Laufe des Jahres wurden insgesamt 680 Besucher in 32 Gruppen durch das Institut geführt (Axel M. Quetz, Natalie Raettig und andere).

Es wurden 19 Pressemitteilungen veröffentlicht und zahlreiche Rundfunk- und Fernsehinterviews gegeben (Klaus Jäger, Markus Pössel, Axel M. Quetz, Jakob Staude und andere).

Cristina Afonso bekleidete das Amt der Gleichstellungsbeauftragten am MPIA und ist Vertreterin der Gleichstellungsbeauftragten der CPT-Sektion der MPG.

Wolfgang Brandner erteilte vier Lehreinheiten zum Thema »Sonnensystem« am Forschertag der Grundschule Baldham (26. Juni) und betreute den Stand »Adaptive Optik und Astronomie« bei der Veranstaltung »Highlights der Physik« in Köln (20.–24. Sep.).

Leonard Burtscher betreute den Astronomiestand auf der Frankfurter Buchmesse (17. Okt.).

Cornelis Dullemond organisierte die »Miniforschung« für Studenten der unteren Semester.

Thomas Henning war Podiumsgast bei der Eröffnungsveranstaltung zum »International Year of Astronomy« am 20. Jan. in Berlin.

Tom Herbst weilte zu einem Forschungsaufenthalt am Herzberg Institute of Astrophysics in Victoria, British Columbia, Kanada (1. Sep.–22. Dez.) zur Mitarbeit bei den Instrumentierungsteams des Gemini Telescope, des Canada-France-Hawaii Telescope (CFHT) und des Thirty Meter Telescope (TMT).

S. Hippler betreute den Versuch F36 »Wellenfrontanalyse« im Fortgeschrittenpraktikum für Physiker

Klaus Jäger gestaltete spezielle Führungen mit Vorträgen über das Institut für den Heidelberger Stadtrat, die IMPRS, die Rhein-Neckar-Zeitung und weitere. Er war Gast in der Talkshow »Zur Sache« des Rhein-Neckar-Fernsehen (18. Dez.), erstellte einen Video/Audio-Trailer für das MPIA, war an der Redaktion des Buch »Unendliche Weiten – Weltraum erleben im Planetarium Mannheim« (25 Jahre Planetarium Mannheim) beteiligt, wirkte an der Eröffnungsveranstaltung zum »International Year of Astronomy« am 20.–21. Jan. in Berlin und an der Ausstellung »Himmliches in Büchern« in der Universitätsbibliothek Heidelberg (mit A. M. Quetz) sowie am Wissenschaftszug »Science Express« der MPG (mit A. M. Quetz) mit.

Alexander Karim war beteiligt an der Teilchenphysikshow der Universität Bonn im KIP, Heidelberg (4.– 6. Dez.).

Ulrich Klaas war Vorsitzender des Bibliotheksausschusses.

Reinhard Mundt war Ombudsman des MPIA.

Jörg-Uwe Pott war Postdoc-Sprecher am MPIA.

Axel M. Quetz beteiligte sich an der Redaktion und Gestaltung des 48. Jahrgangs der Zeitschrift *Sterne und Weltraum*.

Boyke Rochau betreute am DAAD RISE (Research Internships in Science and Engineering) vom 8. Juni – 7. Aug. zwei Studenten.

Christine Ruhland und Markus Schmalzl waren Studentensprecher am MPIA.

Eva Schinnerer war Gutachter am (E)VLA/VLBA des NRAO.

Johny Setiawan beteiligte sich an der Betreuung des »Jugend forscht«-Projekts der Landespreisgewinner Julian Petrasch und Lennart Schlieder am 70-cm-KING-Teleskop des MPIA (1. – 7. Feb.).

Jakob Staude beteiligte sich an der Herausgabe des 48. Jahrgangs der Zeitschrift *Sterne und Weltraum*. Er organisierte und leitete von Oktober 2008 bis März 2009 die 14-teilige Vortragsreihe des Studium Generale der Universität Heidelberg »Galileis erster Blick durchs Fernrohr und die Folgen heute«.

Jürgen Steinacker übt seit September eine Gastprofessur am Laboratoire d'Etude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique (LERMA) des Observatoire de Paris aus.

Christian Thalmann unterwies die Mitglieder des NACO Large Program in der Datenreduktion (Dez.).

Preise

Die Otto-Hahn-Medaille der Max-Planck-Gesellschaft für herausragende Leistungen junger Nachwuchswissenschaftler erhielt Dominik A. Riechers für bahnbrechende Arbeiten über die Eigenschaften des molekularen Gases und der Masseverteilung in denjenigen Galaxien, die schon in der Frühphase des Universums extrem massereiche schwarze Löcher hatten.

Die diesjährigen Preise der Wissenschaftlichen Ernst-Patzer-Stiftung gingen an den Doktoranden Min Fang für seine Arbeit »Star and protoplanetary disk properties in Orions suburbs«, den Doktoranden Aday Robaina für seine Arbeit »Less than 10 percent of star formation in $z \sim 0.6$ massive galaxies is triggered by major interactions« sowie den Postdoc-Stipendiaten Adam Leroy für seine Arbeit »The star formation efficiency in nearby galaxies: Measuring where gas forms stars effectively«.

Jörg-Uwe Pott wurde von der NASA mit einem Forschungstipendium in Höhe von 13 000 US \$ für ein Beobachtungsprojekt mit den Keck-Teleskopen ausgestattet.

Christoph Mordasini erhielt ein zweijähriges Humboldt-Forschungstipendium für Postdoktoranden.

Für ihren Vortrag wurde Kelly Foyle auf der CASCA-Konferenz, Toronto, Kanada, im Mai mit dem »Best talk by students award« ausgezeichnet.

Viki Joergens erhielt ein Margarete-von-Wrangell-Habilitationsstipendium des Staatsministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Baden Württemberg.

Johny Setiawan wurde eine Ehrung durch die Botschaft der Republik Indonesien, Berlin, zuteil.

Maßnahmen zur besseren Vereinbarkeit von Wissenschaft, Beruf und Familie

Das MPIA setzt sich seit vielen Jahren verstärkt für die Verbesserung der Vereinbarkeit von Beruf, Wissenschaft und Familie ein. Gerade in der Wissenschaft ist es eine ganz besondere Herausforderung, diese Bereiche in Einklang zu bringen. Am MPIA wurden ab 2005 wichtige Schritte eingeleitet, um neben exzellenten Forschungsbedingungen auch wichtige Lösungen zur Verbesserung der Work-Life-Balance anzubieten. Das MPIA hat bis heute folgende Maßnahmen in die Praxis umgesetzt: MPIA-International Office zur Unterstützung der Mitarbeiter bei der Wohnungssuche, bei der Suche nach geeigneten Kinderbetreuungseinrichtungen und Schulen sowie bei sonstigen administrativen Angelegenheiten; Belegrechte bei Kindertagesstätten in Heidelberg mit langen Öffnungszeiten für Kinder unter drei Jahren; Baby-Office und Kinderbetreuungszimmer am Institut; Kinderbetreuung bei Kongressen; Beratung der Mitarbeiter durch externen Familienservice bei Fragen zur besseren Vereinbarkeit von Beruf und Angehörigenpflege; Flexible Gestaltung von Arbeitszeit und Arbeitsort; Unterstützung beruflicher Karrieren auch bei familienbedingten Ausfallzeiten; Kooperation im Dual-Career-Netzwerk der Wissenschaftsreinrichtungen in Heidelberg sowie Kooperationen in Heidelberger Unternehmensnetzwerken zur Mitgestaltung bei der Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Wissenschaft.

Unsere Angebote für die Kinderbetreuung, für flexibles Arbeiten, für die Vereinbarkeit von Beruf und Pflege und der Service für Doppelkarrierepaare sind für die Wissenschaft extrem wichtig. Eine familienfreundliche Personalpolitik kann den beruflichen Alltag von Wissenschaftlern, aber auch von Mitarbeitern in anderen Bereichen, wesentlich erleichtern.

Die Max-Planck-Gesellschaft mit ihren 80 Instituten erhielt im Juni 2009 vom Familienministerium das Zertifikat »Beruf und Familie«. Dadurch wurde im Bereich Work-Life-Balance für die gesamte MPG ein institutsübergreifender Standard geschaffen.

Das MPIA hat das Thema Vereinbarkeit von Beruf, Wissenschaft und Familie als feste betriebswirtschaftliche Komponente für die Wissenschaft und als zukunftsorientiertes Personalkonzept fest integriert, um somit weiterhin die Wettbewerbsfähigkeit des Instituts im internationalen Vergleich zu fördern.

Zusammenarbeit mit Firmen

- 2m Theater- und Veranstaltungstechnik, Wülfrath
- 3B Scientific GmbH, Hamburg
- A & F Deutschland GmbH, Hannover
- Aachener Quarz-Glas, Aachen
- Acrylics, Niederfischbach
- ADCO GmbH, Aachen
- ADDITIVE GmbH, Friedrichsdorf
- adlus GmbH, Elchingen
- Adolf Pfeiffer GmbH, Mannheim
- ADR S.A., Thomery
- Advanced Office Products GmbH, Bochum
- Agilent Technologie, Böblingen
- Air Liquide GmbH, Leipzig
- Air Liquide Deutschland GmbH, Oberhausen
- AktivShop im MBO Verlag GmbH, Rheine
- Alcatel, Wertheim
- Allcom GmbH, Oldenburg
- Alternate Computer Versand, Linden
- AMERICA II EUROPE GmbH, Mönchengladbach
- American Institute of Physics, Melville NY 11747-4502
- Andus Electronic GmbH, Berlin
- Aqua Technik Gudat, Neulußheim
- AquaDuna, Sternenfels
- Argenta Elektronik, Solingen
- ARLT, Magstadt
- Arrow Central Europe GmbH, Dreieich
- Arte & More GmbH, Raunstein
- asknet AG, Karlsruhe
- AstroMedia-Versand, Neustadt in Holstein
- ASYS, Dornstadt
- Atomic Softek, Hamilton, Ontario
- ATP Messtechnik GmbH, Ettenheim
- Auer Paul GmbH, Mannheim
- Aufzug-Service M. Gramlich GmbH, Ketsch
- Austerlitz Electronic GmbH, Nürnberg
- Autobus Oberbayern, Bad Wiessee
- Autohaus Krauth GmbH&Co.KG, Meckesheim
- Avnet Abacus Dortmund, Holzwickede/Dortmund
- AVNET EMG GmbH, Poing
- B.E.S.T., Forst
- B+S Express Transport GmbH, Weinheim
- Baader Planetarium GmbH, Mammendorf
- bacuplast GmbH, Remscheid
- Baier Digitaldruck, Heidelberg
- Baker & Harrison, München
- Bastisch EDV Zubehör, Mannheim
- BDK, Sonnenbühl
- Bechtle GmbH & Co.KG, Mannheim
- Bechtle ÖA Direkt, Neckarsulm
- Bernhardt Nutzfahrzeuge GmbH, Heidelberg
- Bethge Joachim, Mauer
- Betten Fürstenberger, Wiesloch
- Billetfabrikation+Druckerei, Ketsch
- Binder Elektronik GmbH, Sinsheim
- Bleher-Folientechnik, Heimerdingen
- Blitz Button+Wagner Werbung GmbH, Dielheim
- Börsig GmbH, Neckarsulm
- BRADY GmbH, Egelsbach
- Bundesanzeiger, Köln
- Bürklin OHG, München
- Bürma Büromarkt, Stuttgart
- Büro-Mix GmbH, Mannheim
- Büro-Taxi GmbH, Kamp-Lintfort
- Büromarkt Böttcher AG, Jena
- Buster Altöl GmbH, Mannheim
- CADFEM GmbH, Grafing
- Cadmus Journal Services, Charlotte, NC 28275-1903
- CAMCenter GmbH, Nidderau
- Camfil KG, Reinfeld
- CANCOM NSG GmbH, Jettingen-Scheppach
- Carbon Vision GmbH, Unterschleißheim
- Carl Zeiss Industrielle Messtechnik, Oberkochen
- Carl Zeiss Jena GmbH, Jena
- Carl Zeiss Optronics GmbH, Oberkochen
- CDS Copy und Digital Druck GmbH, München
- CGB-Carbon Grossbauteile, Wallerstein
- Coating-Plast GmbH, Schriesheim
- Coda KG, Waldkirch
- Coherent Europe B.V., KL Utrecht
- Colordruck, Leimen
- Comarch Systemintegration GmbH, München
- Compumess Elektronik GmbH, Unterschleißheim
- Computacenter AG & Co oHG, Stuttgart
- COMTRONIC GmbH, Wilhelmsfeld
- Conatex Didactic Lehrmittel GmbH, Neunkirchen
- Conrad Electronic GmbH, Hirschau
- Conrad Electronic SE, Wernberg-Köblitz
- Contag GmbH, Berlin
- Container Weis, Leimen
- Cornelsen Experimenta GmbH&Co, Berlin
- CreaSo GmbH, Gilching
- CRYO Anlagenbau GmbH, Wilnsdorf
- Cryophysics GmbH, Darmstadt
- Cryovac Gesellschaft fuer, Troisdorf
- Cyberport GmbH, Dresden
- Cyclotron Computervertrieb e. K., Wiesbaden
- D.H. Frank GmbH, Nußloch
- Dastex GmbH & Co. KG, Muggensturm
- Data Translation GmbH, Bietigheim-Bissingen
- dataTec GmbH, Reutlingen
- DATOS-Computer GmbH, Wuppertal
- db electronic Daniel Böck GmbH, Ehringshausen
- DDC Elektronik GmbH, München
- DELL-Computer GmbH, Frankfurt
- DELTA-V GmbH, Wuppertal
- DELTRIC GmbH, Frankfurt am Main
- Deltronix Enterprises, Mission Viejo
- Denios AG, Bad Oeynhausen
- Der Dekoladen LTD, Mannheim
- Deti GmbH, Meckesheim
- Deutsche Telekom AG, Darmstadt
- Dewit Industrial Sensor GmbH, Witten
- Dicronite U.T.E. Pohl GmbH, Iserlohn
- Digi-Key c/o US Bank Minneapolis, Enschede
- Distrelec Schuricht GmbH, Bremen
- DMG Stuttgart Vertriebs+Service GmbH, Leonberg
- DMV, Halle-Queis
- Dobritzsch, Maintal
- DPS Vakuum, Großrinderfeld
- DPV Elektronik Service GmbH, Eppingen
- Dräger Safety AG & Co.KG&A, Lübeck
- Draht Mayr GmbH, Dielheim
- Drahtwaren-Driller, Freiburg

- Drucker Druck, Bietigheim
 DVS Dekont Vakuum Service GmbH,
 Erfurt
 dynarep Electronic Vertriebs GmbH,
 Gauting
 EBJ, Ladenburg
 EDICO-Equipment GmbH, Nürnberg
 Edmund Optics GmbH, Karlsruhe
 EKZ. Bibliotheksservice GmbH,
 Reutlingen
 Elbinger Elektronik GmbH, Salzgitter
 Electronic Product Services Limited,
 Düsseldorf
 electronic sensor+resistor GmbH,
 Ottobrunn
 Elektro-Steidl, Weinheim
 EMF 97 GmbH, Worms
 ERNI Electronics GmbH, Adelberg
 ERSA GmbH, Wertheim
 European IT Storage Ltd., Filderstadt
 Excel Technology Europe GmbH,
 Darmstadt
 Faber Industrietechnik GmbH,
 Mannheim
 Farben Specht, Bammental
 Farnell GmbH, Oberhaching
 FAST ComTec Communication,
 Oberhaching
 Faulhaber GmbH & Co KG,
 Schönaich
 FEISOL Inc., Aachen
 Fels Fritz GmbH Fachspedition,
 Heidelberg
 FILCON Electronic GmbH,
 Taufkirchen
 FISBA Optik AG, St. Gallen
 Fischer Elektronik GmbH & Co. KG,
 Lüdenscheid
 Fleige-Optik, Holm-Wedel/Hamburg
 FLIR Systems, Frankfurt
 FlowCAD EDA-Software Vertrieb,
 Feldkirchen
 FOLIT GmbH, Kornwestheim
 FOP Faseroptische Produkte GmbH,
 Crailsheim
 fotoversand24.de, Schwerin
 FPS-Werkzeugmaschinen GmbH,
 Wangau
 Friedrich Wolf GmbH, Heidelberg
 Fritz Zugck, Leimen
 FTU-Fortbildungszentrum für
 Technik, Karlsruhe
 Füssener Astro-Lehrmittel, Füssen
 G+H Schallschutz, Ludwigshafen
 Gaerner GmbH, Frankfurt
 Ganter GmbH, Walldorf
 Gartenwelt Bumb GmbH, Karlsruhe
- GCE GmbH, Eppelheim
 Gebr. Kassel GmbH, Gondelsheim
 Geier Metall-u.Stahlhandel GmbH,
 Mannheim
 Geier Metall-u.Stahlhandel GmbH,
 Mannheim
 Geiger Alois Söhne GmbH & Co.KG,
 Sandhausen
 Gerwah Präzision GmbH,
 Grosswallstadt
 Gimahhot GmbH, Hamburg
 Glas Hlawatsch GmbH, St. Leon-Rot
 Gleich GmbH, Kaltenkirchen
 Glenair Electronic GmbH, Steinbach
 Göbel, Horst, Ludwigshafen
 Grating Solver Dev. Company, Allen
 Großversandhaus-Bader, Pforzheim
 Grothues Elektrotechnische Geräte G,
 Leimen
 Grulms Pneumatik GmbH, Grünstadt
 Gummispezialhaus Körner, Eppelheim
 Güniker + Heck, Mannheim
 Günter Jacobi GmbH, Griesheim
 Gutekunst & Co. Federnfabrik,
 Metzingen
 Gutruf Werner, Meckesheim
 Haarländer GmbH, Roth
 Hach GmbH, Pfungstadt
 Häcker GmbH, Weinsberg
 Häfele, Roland, Schriesheim
 Hagemeyer Deutschland GmbH & Co
 KG, Heidelberg
 Hahn u. Kolb GmbH, Stuttgart
 Hailo-Werk GmbH & Co.KG, Haiger
 Hanhart Shop, Hamburg
 Harmonic Drive AG, Worms
 Hauck GmbH, Heidelberg
 Haus des Blindenhandwerks,
 Esslingen
 Hebmüller SRS Technik, Neuss
 Hehr Rudolf, Heidelberg
 HELUKABEL GmbH, Hemmingen
 Hera Laborsysteme GmbH,
 Blaufelden
 Herose GmbH, Bad Oldesloe
 Heuser Friedrich GmbH, Heidelberg
 Hewlett-Packard Direkt GmbH,
 Böblingen
 Hilma-Römheld GmbH, Hilchenbach
 Hilti Deutschland GmbH, Heidelberg
 Hintze u. Kunick GmbH, Berlin
 HM Industrieservice GmbH, Kronau
 HMC H.Meyer & C0, Düsseldorf
 Hoffmann, Göppingen
 Hoffmann Nürnberg GmbH, Nürnberg
 Holz Zentrum Schwab GmbH,
 Hockenheim
- Holzland, Tübingen
 Hommel Hercules-, Viernheim
 Honsberg & Co.KG., Remscheid
 Horiba Jobin Yvon GmbH, Bensheim
 Horn, Stutensee
 Hositrad Deutschland, Regensburg
 HOT Electronic GmbH, Taufkirchen
 HP GmbH, Böblingen
 HSD Consult GmbH, Berlin
 Huba Control AG, Walddorfhäsle
 Huber + Suhner GmbH, Taufkirchen
 Hummer + Rieß GmbH, Nürnberg
 HY-LINE Power Components Vertr.
 GmbH, Unterhaching
 IKEA, Walldorf
 ILFA Feinstleiteteknik GmbH,
 Hannover
 Industriebedarf Oberhausen, Ketsch
 Ineltek GmbH, Heidenheim
 Ing.H. Tafelmaier, Rosenheim
 Ingenieurbüro Lopez, Jena
 Ingenieurbüro M. Steinbach, Jena
 Ingenieurbüro Schlossmacher,
 Unterschleißheim
 INNEO Solutions GmbH, Ellwangen
 INOTEC electronics GmbH, Lauffen
 a.N.
 inova Semiconductors GmbH,
 München
 Integrate Computer, Frankfurt
 Intercon Spacetec, Augsburg
 INVENT GmbH, Braunschweig
 Inwerk GmbH, Meerbusch
 IOP Publishing Ltd., Bristol
 ISOLOC Schwingungstechnik GmbH,
 Stuttgart
 item Industrietechnik, Ulm
 Jacobi Eloxal GmbH, Altlussheim
 Jacobi Kunststoffbeschichtung,
 Altlussheim
 Jenoptik Laser, Optik, Systeme
 GmbH, Jena
 JUMO GmbH & Co. KG, Fulda
 KA-WE GmbH, Schwetzingen
 Kai Ortlieb Buchbinderei, Eppelheim
 KAISER + KRAFT, Stuttgart
 KAKO Elektro GmbH, Nußloch
 Karl Scholl GmbH, Heidelberg
 Katzer Printvision GmbH, Sandhausen
 Kaufmann, Horst W., Crailsheim-
 Wittau
 Keil An ARM Germany GmbH,
 Grasbrunn
 Kerb-Konus-GmbH, Amberg
 KFK Verzinkerei GmbH, Sinsheim
 Kistler Instrumente GmbH, Ostfil-
 dern-Nellingen

Klar Heinrich GmbH, Wuppertal	Mekentosj.B.V.-, RA Aalsmeer, The Netherlands	OptoPolymer, München
Kniel GmbH, Karlsruhe	Melitta Systemservice GmbH & Co.KG, Minden-Dützen	ORBITEAM SW-GmbH, Bonn
Kobold Messring GmbH, Hofheim/Taunus	Memec Express, Unterhaching	Otto Blumen GmbH, Mannheim
KOCO MOTION GmbH, Dauchingen	Merz Johannes GmbH, Speyer	OWIS GmbH, Staufen
koffexpress.de, Ehingen	Metabowerke GmbH, Nürtingen	Panasonic, Holzkirchen
Kohlhammer W. Druckerei, Stuttgart	Metallbau GLAWION GmbH, Eberswalde	Pepperl + Fuchs GmbH, Mannheim
Konica Minolta Businesss, Mannheim	Metrofunkabel-Union GmbH, Berlin	Pfeiffer & May, Heidelberg
Krause + Hagmann GmbH, Heidelberg	MGV Stromversorgung, München	Pfeiffer Vacuum GmbH, Asslar
Kroschke GmbH, Braunschweig	MicroStaXX GmbH, München	Pfister Büro mit Maß und System, Leimen/St.Ilgen
Kruse Sicherheitssysteme GmbH & Co., Stelle	MK Computer Electronic GmbH, Göppingen	Philipp Lahres GmbH, Weinheim
Kühne & Nagel (AG&CO.) KG, Mannheim	Möller-Wedel Optical GmbH, Wedel b. Hamburg	Phoenix Contact GmbH & Co., Blomberg
KVB, Chemnitz	Montronic GmbH & Co.Kg, Wentorf bei Hamburg	Photo-Center Kühnemann, Jena
L.+H. Hochstein GmbH + Co., Heidelberg	Mouser Electronics, Maisach-Gernlinden	Physik Instrumente (PI), Karlsruhe
L.Grandpair, Heidelberg	MTM Power, Mellenbach	Phytec Messtechnik, Mainz
Lampenwelt GmbH, Schlitz	MTS Systemtechnik GmbH, Mertingen	Phytron-Elektronik GmbH, Gröbenzell
Landefeld GmbH, Kassel-Industriepark	Mundelsee Karlheinz, Nussloch	Phywe Systeme GmbH & CO.KG, Göttingen
Landig Deutschland, Bad Saulgau/Lampertsweiler	Mura, Metallbau, Viernheim	Pink GmbH, Wertheim
Lapp Kabel GmbH, Stuttgart	Murata Elektronik GmbH & Co, Nürnberg	Plambeck deko event, Tespe
Laser-Zentrum-Hannover, Hannover	Murrplastik-System-Technik, Oppenweiler	Pneu-Therm Ltd., Newark, Nottinghamshire
Laub GmbH+Co, Elztal-Dallau	MWR/Christian Wirth, Rimbach	POG – Präzisionsoptik Gera GmbH, Gera
Lemo Elektronik GmbH, München	Neolab Laborbedarf - Vertriebs GmbH, Heidelberg	Pollin Electronic GmbH, Pforring
Lenke Printware Großhandel, Jena	Neopost, Unterschleißheim	Polytec GmbH, Waldbronn
Leuchten u.Leuchtmittel Seidler, Hamburg	Netzsch-Gerätebau GmbH, Selb	Precision Plus Vacuum Parts, München / Kirchheim
Leuchtmittel Markt, Forchheim	Netzwerkartikel.de, Oberhausen	Pro Media Concept GmbH, Konstanz
Liebert Mary Ann Inc.Publishers, New Rochelle	Neumann Rupert Druckerei, Heidelberg	Pro-Com Datensysteme GmbH, Eislingen
Linos Photonics GmbH, Göttingen	Newport Spectra-Physics GmbH, Darmstadt	PSS Projektions-Systeme-Schmitt e.K, Leimen
Lorenz Messtechnik GmbH, Altdorf	Nibler W. GmbH, Walldorf	R. & S. Keller GmbH, Wuppertal
LPKF CAD/CAM Systeme GmbH, Garbsen	Nies Elektronik GmbH, Frankfurt	Radiall GmbH, Rödermark
LTN Servotechnik GmbH, Otterfing	Nikonians EMEA Ltd., Donaueschingen	Raiffeisen Lagerhaus EG Meckesheim, Bammental
LZS Global Services,Inc., Fremont	Nimax GmbH – Astroshop.de, Landsberg	Rapid Transportgeräte GmbH, Beckum/Westf.
M & L Montagetechnik Luck GmbH, Wasungen	Noesse Datentechnik, Leverkusen	Rasti GmbH, Haren
Maas International GmbH, Bruchsal	NOVOTEK GmbH, Böblingen	ratioform, Ladenburg
maastrek SELECTION, Hildesheim	NU Horizons Electronics GmbH, München	RAZ R.A. Zimmermann KG, Dietzenbach
Mädler GmbH, Stuttgart	Oerlikon, Köln	Recom Electronic GmbH, Dreieich
Maico, Villingen-Schwenningen	officeb2b GmbH, Aystetten	Record Metall Folien GmbH, Mühlheim
Malteser-Hilfsdienst e.V., Wiesloch	Olympus Deutschland GmbH, Hamburg	redcoon GmbH, Aschaffenburg
Maschinenbau Pelzer, Jena	Omnilab GmbH, Berlin	Redlich-EDV, Jena
Masterplatex, Berlin	Opal Ass. GmbH, Insel Reichenau	REEG GmbH, Wiesloch
Max Computer GmbH, Schönberg	OpenStorage, Wiesbaden	Reichelt Elektronik, Sande
MAXIM GmbH, Planegg	Optical Society of America, Washington DC	Reifen Stoll, Wiesenbach
Mayer GmbH Omnibusbetrieb, Neckargemünd-Dilsberg	Optima Research Ltd., Stansted	Rhein-Neckar-Verkehr GmbH, Mannheim
MDesign GmbH, Bochum		Rhein-Neckar-Zeitung, Heidelberg
Mediaresort, Altena		Rieche- Elektronik, Hitzhusen
Meilhaus Electronic GmbH, Puchheim		

- Riekert & Sprenger, Wertheim
 Rinnert GmbH, Kaast
 Rittal GmbH + Co.KG, Herborn
 RMG Metallfachhandel GmbH,
 Ladenburg
 Rofin-Sinar Laser GmbH,
 Bergkirchen
 Roth Carl GmbH & Co.KG, Karlsruhe
 RS Components GmbH, Mörfelden-
 Walldorf
 RUF Elektrohandel GmbH & Co.KG,
 Mannheim
 Rufenach Vertriebs-GmbH,
 Heidelberg
 Rutronik, Ispringen
 Samtec Germany, Germering
 Sanitär-Raess GmbH, Heidelberg
 Sauter-Cumulus GmbH, Freiburg
 Scantec GMBH, Germering
 Schäfer Fritz GmbH, Neunkirchen
 Schäfer Shop GmbH, Mannheim
 Schaffland Detlef, Handelsvertretung,
 Leverkusen
 Schäfter+Kirchhoff GmbH, Hamburg
 Scheffel elektronischer Vertrieb Gm,
 Ditzingen
 Schenker Deutschland AG,
 Mannheim-Rheinau
 Schmidt Mess- und Regeltechnik,
 Spiesheim/Rhh.
 Schmitt Stefan, Wiesloch
 Schneider Günther GmbH,
 Sandhausen
 Schreiber-Glas, Berlin
 Schroff GmbH, Straubenhardt
 Schulz H.u.G. Ingenieure, Heidelberg
 SCHUPA Schumacher GmbH,
 Walldorf
 Schuricht GmbH + Co KG, Bremen
 SE Spezial-Electronic AG, Bückeburg
 Seifert mtm Systems GmbH,
 Ennepetal
 servo Halbeck GmbH & Co.KG,
 Offenhausen
 Ses – Société Européenne de, Aix-En-
 Provence Cedex 3
- Sicon Socomec GmbH, Mannheim
 Siemens Build.Technol.GmbH &
 Co.OHG, Mannheim
 Sigmann Elektronik GmbH,
 Hüffenhardt
 Sky Blue Microsystems GmbH,
 München
 SLCR Lasertechnik GmbH, Düren
 Sphinx Computer Vertriebs GmbH,
 Hemsbach
 Sphinx GmbH, Laudenbach
 Spiess Elektro Markt GmbH,
 Rauenberg
 Stempel Bauer, St. Leon-Rot
 StoCretec, Krißfeld
 Stumpf Jochen Schreinerei, Nußloch
 Sumitomo, Elk Grove Village
 Sunrise Netztech Transfer, Bornheim
 SWS Edelstahl GmbH, Emmingen
 Systerra Computer GmbH, Jena
 T-E Klebetechnik, Hannover
 Tautz Druckluft+Sandstrahltechnik G,
 Mannheim
 Team Arrow, Neckarsulm
 Technik Direkt, Würzburg
 Teledyne Scientific & Imaging LLC,
 Thousand Oaks
 Telemeter Electronic GmbH,
 Donauwörth
 Telko GmbH Saalfeld, Saalfeld
 Tetronik GmbH, Tanusstein-Wehen
 The MathWorks GmbH, Ismaning
 Theile Büro-Systeme, Speyer
 Thermodyne GmbH, Osnabrück
 Thorlabs GmbH, Dachau
 ThyssenKrupp Schulte GmbH,
 Mannheim
 Tischer Gastro, Heidelberg
 Topcart International GmbH,
 Erzhausen
 Torso-Verlag, Wertheim
 Total Mineralöl GmbH, Fellbach-
 Schmiden
 Total Walther GmbH, Ratingen
 Tower Electronic Components GmbH,
 Dossenheim
- tpproneth GmbH & Co. KG, Puchheim
 transtec AG, Tübingen
 Trinos Vakuum-Systeme GmbH,
 Göttingen
 Trumpf Laser GmbH, Leonberg
 Typographus, Berlin
 UHT Umschlag- und Hafentechnik
 GmbH, Eberswalde
 UKP GmbH, Mainz
 United Electronic Industries, Inc.,
 Walpole
 Vacom GmbH, Jena
 Varian GmbH, Darmstadt
 VAT Deutschland GmbH, Grasbrunn
 Vereinigte Baustoff u. Eisen GmbH,
 Heidelberg
 Verlag Europa-Lehrmittel, Haan – Gruiten
 VWR International GmbH, Dresden
 W.Niedergesess Holz, Sandhausen
 Walter Bautz GmbH, Griesheim
 Wamser Büro Service, Mannheim
 Watlow GmbH, Kronau
 Watterott electronic, Hausen
 Wero-medical, Sandhausen
 Westphalia, Hagen
 WHD Wachdienst Heidelberg,
 Heidelberg
 Wiesemann u. Theis GmbH,
 Wuppertal
 Willi Stober GmbH & Co. KG,
 Karlsruhe
 Winger Electronics GmbH & Co.KG,
 Dessau-Roßlau
 Witzenmann Rhein-Ruhr GmbH,
 Xanten
 Wollschläger GmbH & Co. KG,
 Weinstadt-Endersbach
 Würth Elektronik GmbH & CO.KG,
 Künzelsau
 XP Power GmbH, Bremen
 Zemax Dev. Corp., Bellevue, WA
 Zimmermann Heizöl Total,
 Sandhausen

Tagungen, Vorträge

Veranstaltete Tagungen

Tagungen des MPIA:

- Internes Symposium, MPIA, 18. Feb. (K. Jahnke)
 Klausurtagung »LBT Science Exploitation«, Schloss Edesheim, 12.–13. Feb. (K. Jäger)
 Workshop »CAHA Legacy Survey«, MPIA, 24. Apr. (K. Jäger, Joao Alves (CAHA))
 Treffen der LBT-Beteiligungsgesellschaft (LBTB), MPIA, 28. Apr. (Th. Henning, R. Gredel, K. Jäger)
 Stages Collaboration meeting, MPIA, 19.–20. Mai (K. Jahnke)
 LN science case meeting, 24. Juni (E. Schinnerer)
 Argos consortium meeting, 30.–31. Juli (W. Gässler)
 IMPRS Summer School: »Statistical Inferences from Astrophysical Data«, Heidelberg, 10.–14. Aug. (H.-W. Rix, Chr. Fendt, St. Wagner (ZAH/LSW))
 Kuratoriums des MPIA, Heidelberg, 18. Sep. (K. Jäger, Th. Henning)
 Treffen des LINC-NIRVANA-Teams und LBT-Repräsentanten, MPIA, 21.–22. Sep. (M. Kürster)
 Treffen des LINC-NIRVANA-Konsortiums, MPIA, 1.–2. Okt. (M. Kürster)
 Klausurtagung der PSF-Gruppe, Mayschoss, 14.–16. Okt. (K. Dullemond, N. Dzyurkevich, M. Nielbock)
 Netzwerktagung Beruf und Familie am MPIA, 12. Nov. (I. Apfel, K. Jäger)
 Symposium »From Disks to Jets – from Stars to Quasars« anlässlich des Ruhestands von Max Camenzind und Hermann-Josef Röser, MPIA, 26. Nov. (K. Jäger, Chr. Fendt, K. Meisenheimer)

Andere veranstaltete Tagungen:

- Argos PDR, Garching, 16.–17. Feb. (W. Gässler)
 Internationale Konferenz »Planet Formation«, Tübingen, 2.–6. März (C. P. Dullemond)
 The Second SUBARU International Conference, Hawaii, 8.–13. März (Th. Henning)
 IMPRS-Workshop Retreat, Brigach-Hirzwald, Schwarzwald, 11.–13. März (L. Burtscher, K. Foyle)
 Ringberg Workshop »The Astrophysics of the Magnetorotational Instability and Related Processes«, Schloss Ringberg, 14.–18. Apr. (N. Dzyurkevich, H. Klahr, M. Flock, S. Balbus)
 Jenam/NAM Meeting, Hatfield, UK, 20.–23. Apr. (Th. Henning)
 Treffen des LINC-NIRVANA-Konsortiums, Monte Porzio Catone, INAF, Rom, Italien, 7.–8. Mai (M. Kürster)
 ARENA-Konferenz »An Astronomical Observatory at Concordia for the Next Decade«, Rom, Italien, 11.–15. Mai (Th. Henning)
 6th MPIA Student workshop, Noorden, Niederlande, 25.–31. Mai (Eva Meyer)
 GAIA DPAC CU8 Meeting No. 7, Toulouse, 8.–10. Juni (C. Bailer-Jones)

- MIRI Science Team Meeting, Washington, USA, 15.–16. Juni (Th. Henning)
 AO for ELT, Paris, Frankreich, 22.–27. Juni (SOC) (W. Gässler)
 IMPRS Summer School: »Statistical Inferences from Astrophysical Data«, Heidelberg, 11.–14. Aug. (H.-W. Rix)
 Spinter meeting »The E-ELT – Status, Timeline, and Instrumentation«, Herbsttagung der AG, Potsdam, 22.–25. Sep. (Th. Henning, R. Gredel)
 Koordinationstreffen des LINC-NIRVANA- und des LBT-Teams, Tucson und Mt. Graham, Arizona, USA, 28.–30. Okt. (M. Kürster)
 Phdnet General Meeting, Jena, 28.–31. Okt. (L. Burtscher mit anderen Doktoranden aus Jena und anderen MPIs)
 ESO/MPG Meeting »From Circumstellar Disks to Planetary Systems«, Garching, 2.–6. Nov. (Th. Henning)
 Tagung »The Gaseous Evolution of Galaxies«, Ringberg, 15.–18. Nov. (F. Walter)
 GAIA DPAC CU8 Meeting No. 8, Nizza, 17.–18. Nov. (C. Bailer-Jones)

Teilnahme an Tagungen, Fachvorträge, Poster

- Cristina Afonso: PLATO Space Mission Meeting, Aarhus, Dänemark, 2.–3. Apr., Rom, Italien, 5. Mai, Belfast, Irland, 11. June; PAN-STARRS Consortium Meeting, Boston, 29. Aug.–2. Sep. (Vortrag); JENAM Conference, Hertfordshire, 20.–23. Apr. (Poster)
 Zoltan Balog: Workshop »HERSCHEL Data Reduction«, ESA, Villa Franca, Spanien, 14.–16. Dez.; HERSCHEL SDP Initial Results Symposium, ESA, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spanien, 17.–18. Dez.
 Carolina Bergfors: Konferenz »Planet formation and evolution: The solar system and extrasolar planets«, Tübingen, 2.–6. März (Poster); Konferenz »Pathways towards habitable planets«, Barcelona, 14.–18. Sep. (Poster)
 Jürgen Berwein: Konferenz »Astronomical Data Analysis Software and Systems 2009«, Sapporo, Japan, 4.–8. Okt. (Poster)
 Tilman Birnstiel: Konferenz »Planet Formation and Evolution«, Tübingen, 2.–6. März (Poster); Konferenz »Planetesimal Formation«, Cambridge, 28.–30. Sept. (Poster); Konferenz »From Circumstellar Disks to Planetary Systems«, Garching, 3.–6. Nov. (Poster)
 Jeroen Bouwman: MIRI European Consortium Meetings: Leuven, Belgien, 21.–23. Jan., Leicester, UK, 28.–30. Apr., Kopenhagen, Dänemark, 8.–10. Sep.; HERSCHEL Data Reduction Workshop, ESA, Villa Franca, Spanien, 14.–16. Dez.; HERSCHEL SDP Initial Results Symposium, ESA, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spanien, 17.–18. Dez.
 Wolfgang Brandner: UK E-ELT Science Workshop »Exoplanets and Proto-stars with the European ELT«,

- Edinburgh, UK, 2.–3. Apr. (Vortrag); E-ELT Design Reference Mission and Science Plan, Garching, 26.–28. Apr. (Vortrag); IAU Symposium 266: »Star Clusters«, Rio de Janeiro, Brasilien, 10.–14. Aug. (Poster); IAU Special Session 7: »Young Stellar Objects, Brown Dwarfs and Disks«, Rio de Janeiro, Brasilien, 11.–14. Aug. (Vortrag); PanStarrs 1 consortium meeting, Boston, USA, 29. Aug.–3. Sep.
- Leonard Bartscher: IMPRS-Workshop Retreat, 11.–13. März, Brigach-Hirzwald, Schwarzwald (Vortrag); Helmholtz Nachwuchskonferenz, Berlin, 19. Mai; Ringberg Workshop »Physics of Galactic Nuclei«, Schloss Ringberg, 15.–19. Juni (Vortrag); Konferenz »The Many Faces of Centaurus A«, Sydney, Australien, 28. Juni – 3. Juli (Vortrag); IMPRS-Summerschool »Statistical Inferences from Astrophysical Data«, Heidelberg, 10.–14. Aug.; 4th PhDnet Interdisciplinary Scientific Event »Science and Fiction: Crossing the boundaries«, Leipzig, 4.–6. Sep. (Vortrag)
- Chris Carilli: MPIA & LSW Hauskolloquium, MPIA, 7. Aug. (Vortrag); Kolloquium am MPI für extraterrestrische Physik, Juli (Vortrag)
- Joseph Carson: AIP-Konferenz »Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity«, Hawaii, USA, Feb. (Vortrag); Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, USA, März (Vortrag); European Southern Observatory, Santiago, Chile, Sep. (Vortrag)
- Mauricio Cisternas: COSMOS Team Meeting, Ehime University, Matsuyama, Japan, 15.–18. Juni (Poster); IAU Symposium 267, Rio de Janeiro, Brasilien, 10.–14. Aug. (Poster)
- Nicola Da Rio: IAU Symposium 266: »Star Clusters – Basic Galactic Building Blocks Throughout Time And Space«, Rio de Janeiro, Brasilien, 10.–14. Aug. (Poster)
- Jelte de Jong: Konferenz »The Milky Way and the Local Group – Now and in the GAIA Era«, Heidelberg, 31. Aug.–4. Sep. (Poster)
- Örs Hunor Detre: MIRI European Consortium Meetings: Leuven, Belgien, 21.–23. Jan., Leicester, UK, 28.–30. Apr., Kopenhagen, Dänemark, 8.–10. Sep.
- Cornelis P. Dullemond: Workshop »Doug Lin Fest«, Florenz, Italien, 22.–26. Juni
- Gaelle Dumas: Konferenz »ALMA and ELTs – A Deeper, Finer View of the Universe«, Garching, ESO, 24.–27. März (Vortrag); »Journées Action Spécifique ALMA«, Grenoble, IRAM, Apr. 6.–7. Apr. (Poster); Konferenz »Physics of Galactic Nuclei«, Ringberg, 15.–19. Juni (Vortrag); Konferenz »SFR@50 filling the cosmos with stars«, Spineto, Italien, 6.–10. Juli (Vortrag); Konferenz »German ALMA community day«, AIA, Bonn, 8. Okt. (Vortrag)
- Natalia Dzyurkevich: Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets«, Tübingen, 2.–6. März (Poster); Ringberg Workshop »The Astrophysics of the Magnetorotational Instability and Related Processes«, Schloss Ringberg, 14.–18. Apr. (Vortrag); Konferenz »Dynamics of Discs and Planets«, Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, Cambridge, UK, 17.–21. Aug. (Poster); Workshop »MHD days«, AIP, Potsdam, 8.–9. Dez.
- Min Fang: Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets«, Tübingen, 2.–6. März (Poster); Konferenz »From Circumstellar Disks to Planetary Systems«, Garching, 3.–6. Nov. (Poster)
- Mario Flock: Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets, Tübingen, 2.–6. März (Poster); Ringberg Workshop »The Astrophysics of the Magnetorotational Instability and Related Processes«, Schloss Ringberg, 14.–18. Apr. (Vortrag); MPIA Student Workshop, Noorden, Niederlande, 25.–31. Mai (Vortrag); Konferenz »Dynamics of Discs and Planets«, Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, Cambridge, UK, 17.–21. Aug. (Poster); Pencil Meeting, MPIA, Heidelberg, 24.–28. Aug. (Vortrag); Workshop »MHD days, AIP, Potsdam, 8.–9. Dez. (Vortrag)
- Kelly Foyle: Konferenz »Unveiling the Mass«, Kingston, Kanada, Juni (Poster); Konferenz »Canadian Astronomical Society Annual Meeting«, Toronto, Kanada, Mai (Vortrag); Konferenz »Galaxies: Nature versus Nurture«, Granada, Spanien, Mai (Poster)
- Wolfgang Gässler: ARGOS PDR preparation meeting, Tuscon, 15.–16. Jan. (Vortrag); ARGOS PDR, Garching, 16.–17. Feb. (Vortrag); LBT First Light AO review, Arcetri, Italien, 30.–31. März (Vortrag); LINC-NIRVANA consortium meeting, Rom, Italien, 7.–8. Mai (Vortrag); ARGOS consortium meeting, Arcetri, Italien, 18.–19. März (Vortrag); AO for ELT, Paris, Frankreich, 22.–27. Juni (Vortrag); ARGOS consrotium meeting, Heidelberg, 30.–31. Juli (Vortrag); LINC-NIRVANA consortium meeting, Heidelberg, 1.–2. Okt. (Vortrag); LBT AO software meeting, Florenz, Italien, 20.–22. Okt.; ARGOS consortium meeting, Tuscon, USA, 9.–10. Nov. (Vortrag); ARGOS software meeting, Garching, 8. Dez.
- Anna Gallazzi: IAU-Symposium No. 262: »Stellar Populations – Planning for the next decade«, Rio de Janeiro, Brasilien, 3.–7. Aug. (Vortrag); Konferenz »Galaxy evolution and environment«, Kuala Lumpur, Malaysia, 30. März – 3. Apr. (Vortrag); Treffen der STAGES-Collaboration, MPIA, 19.–20. Mai
- Mario Gennaro: IAU XXVII General assembly, Symposium 266: »Star Clusters: Basic Galactic Building Blocks Throughout Time And Space«, Rio de Janeiro, Brasilien, 3.–14. Aug. (Poster)
- Bertrand Goldman: JENAM 2009, Hertfordshire, UK, 20.–24. Apr. (Poster); PAN-STARRS1 collaboration meeting, Cambridge, MA, 29. Aug.–2. Sep. (Vortrag); UKIDSS Workshop, London, UK, 12.–15. Dez. (Vortrag)
- Roland Gredel: 3. ARENA-Konferenz: »An astronomical observatory at Concordia (Antarctica) for the next decade«, Frascati, Italien, 10.–14. Mai (Vortrag)
- Joseph F. Hennawi: Konferenz »The Gaseous Evolution of Galaxies«, Schloss Ringberg, 15.–18. Nov. (Vortrag)
- Martin Hennenmann: MIRI European Consortium Meetings: Leicester, UK, 28.–30. Apr., Kopenhagen, Dänemark, 8.–10. Sep.

- Thomas Henning: Internationaler Workshop »Solving the Riddle of Turbulence: What, Why, and How«, Göttingen, 6.–9. Mai
- Tom Herbst: Klausurtagung der Galaxiengruppe, MPIA, 5.–6. Feb.; Klausurtagung MPIA, 12.–13. Feb.; ALMA/ELT Meeting, ESO, 24.–27. März; Klausurtagung der GC-Gruppe, Schloss Neuburg, 5.–6. Feb.; Klausurtagung MPIA Staff »LBT Generation 1.5 Instruments«, »LBT Science Exploitation«, Schloss Edesheim, 12.–13. Feb.; Konferenz »European ELT Science and Engineering Committee Report«, ESO, Garching, 23. Apr.; Konferenz »LBT News and LN Project Overview«, Rom, Italien, 7. Mai; Konferenz »LBT News and LN Project Overview«, MPIA, 1. Okt.; Konferenz »European ELT Science and Engineering Committee Report«, Garching, 22. Okt.; Konferenz »LINC-NIRVANA Project Update«, Tucson, USA, 28. Okt.
- Stefan Hippler: Konferenz »Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity«, Kailua-Kona, Hawaii, 9.–12. März; (Vortrag); METIS team meeting, KU, Leuven, Belgien, 4. Feb.; GRAVITY Adaptive Optics meeting, Observatoire de Paris, Paris, Frankreich, 16. Feb.; GRAVITY team meeting, MPIA, Heidelberg, 30.–31. März; METIS team meeting, ATC, Edinburgh, 19.–20. Mai; METIS team meeting, MPIA, Heidelberg, 30. Juni – 2. Juli; GRAVITY team meeting, LAO, Grenoble, Frankreich, 15.–16. Sep.; METIS team meeting, Sterrewacht, Leiden, Niederlande, 30. Sep.–1. Okt.; GRAVITY PDR Review, ESO, Garching, 14.–15. Dez.; METIS Phase A Study Review, ESO, Garching, 17.–18. Dez.
- Rory Holmes: EUCLID Consortium Meetings: Garching, 2.–3. Feb., Barcelona, Spanien, 1.–2. Apr.; EUCLID Imaging Channels (EIC) Meeting, Rom, Italien, 4.–5. Juni; ESMATS (European Space Mechanisms and Tribology Symposium), Wien, Österreich, 23.–25. Sep.; Konferenz »Cosmic Vision«, Paris, Frankreich, 30. Nov.–1. Dez.
- Felix Hormuth: Seminar über Astrophysik, Hamburger Sternwarte, 25. Juni (Vortrag)
- Friedrich Huysen: Photonik-Kolloquium, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Potsdam, 5. Mai (Kolloquium); European Silicon Days, Wien, Österreich, 20.–22. Sep. (Vortrag); Clustertreffen, Herzogenhorn, 4.–9. Okt. (Vortrag)
- Katherine Inskip: IAU symposium 267: »Evolution of Galaxies and Central Black Holes: Feeding and Feedback«, Rio de Janeiro, Brasilien, 10.–14. Aug. (Poster)
- Cornelia Jäger: Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, 27. Mai (Kolloquium)
- Klaus Jäger: Eröffnungsveranstaltung zum »International Year of Astronomy«, Berlin, 20.–21. Jan.; Gemeinsames Meeting von Mitgliedern des Vorstandes der Astronomischen Gesellschaft (AG) mit Mitgliedern des Rat Deutscher Sternwarten (RDS), Institut für Astrophysik, Göttingen, 19. März; Sitzung des Rats Deutscher Sternwarten (RDS), Institut für Astrophysik, Göttingen, 20. März; Sitzung des wissenschaftlichen Beirates der »International Summer Science School Heidelberg«, Palais Graimberg, Heidelberg, 14. Apr.; Tagung der Astronomischen Gesellschaft »Deciphering the Universe through Spectroscopy«, Potsdam, 20.–25. Sep.; Vorstandssitzung der Astronomischen Gesellschaft, Potsdam, 25. Sep.; Meeting »Visualisierung astronomischer Inhalte«, Planetarium Mannheim, 28. Sep.; Heidelberg Astronomers' Convention, Neuenheim Campus, Universität Heidelberg, 2. Okt.; Informationsveranstaltung zu den Programmen der Alexander von Humboldt-Stiftung beim Stipendientreffen, Universität Heidelberg, 26. Nov.; Sitzung des wissenschaftlichen Beirates der »International Summer Science School Heidelberg«, Palais Graimberg, Heidelberg, 22. Okt.; Vorstandssitzung der Astronomischen Gesellschaft, Bonn, 17. Dez
- Knud Jahnke: Herbsttagung der Astronomischen Gesellschaft 2009, Potsdam, 21.–25. Sep. (Vortrag, Poster); IAU Symposium 267 »Evolution of Galaxies and Central Black Holes: Feeding and Feedback«, Rio de Janeiro, 10.–14. Aug. (Poster); COSMOS collaboration meeting, Matsuyama, Japan, Juni (Vortrag); Sino German Frontiers of Science (Humboldt Stiftung), Potsdam, Mai; STAGES Collaboration meeting, MPIA, 19.–20. Mai
- Viki Joergens: Konferenz »Recipes for making brownies: theory vs. observations, ESA conference«, Nordwijk, Niederlande, 9.–11. Sep. (Vortrag); Konferenz »Herbst-Jahrestagung der AG: The Cosmos at High Resolution«, Potsdam, 21.–25. Sep. (Vortrag)
- Jouni Kainulainen: Konferenz »The Many Faces of Centaurus A«, Sydney, Australien, 28. Juni – 3. Juli (Vortrag)
- Alexander Karim: COSMOS team meeting, Universität Ehime, Matsuyama, Japan, 15.–18. Juni (Vortrag); VIIth Marseille International Cosmology Conference, Marseille, Frankreich, 29. Juni – 3. Juli (Vortrag)
- Sebastian Kern: Konferenz: »The Astrophysics of the Magnetorotational Instability and Related Processes«, Schloss Ringberg, 14.–18. Apr.; IMPRS Summer School »Statistical Inferences from Astrophysical Data«, Heidelberg, 10.–14. Aug.; Konferenz: »Pencil Code User Meeting 2009«, 24.–28. Aug, MPIA; Konferenz: »Planetesimal Formation Workshop«, Cambridge, UK, 28.–30. Sep. (Poster)
- Hubert Klahr: Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets« Tübingen, 2.–6. März (Vortrag)
- Rainer Klement: GAIA CU8 Meeting No. 7 und Java Workshop, CNE, Toulouse, Frankreich, 9.–12. Juni; Konferenz »The Milky Way and the Local Group – Now and in the GAIA Era«, Heidelberg, 31. Aug.–4. Sept. (Vortrag); GAIA CU8 Meeting No. 8, Observatoire de Côte d'Azur, Nizza, Frankreich, 17.–18. Nov.
- Oliver Krause: MIRI European Consortium Meetings: Leuven, Belgien, 21.–23. Jan., Leicester, UK, 28.–30. Apr., Kopenhagen, Dänemark, 8.–10. Sep.; EUCLID

- Consortium Meetings, Garching, 2. – 3. Feb., Barcelona, Spanien, 1. – 2. Apr.; MPIA Internal Symposium, Heidelberg, 18. Feb.; SUBARU Science Conference, Kyoto, Japan, 17. – 24. Mai (Vortrag); Space Cryogenics Workshop, Arcadia, Pasadena, USA, 23. – 25. Juni (Vortrag); ESMATS (European Space Mechanisms and Tribology Symposium), Wien, Österreich, 23. – 25. Sep. (Vortrag); Konferenz »Cosmic Vision«, Paris, Frankreich, 30. Nov. – 1. Dez.; HERSCHEL SDP Initial Results Symposium, ESA, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spanien, 17. – 18. Dez. (Vortrag)
- Natalia Kudryavtseva: GRAVITY science team meeting, Grenoble, Frankreich, 14. Sep. (Vortrag)
- Martin Kürster: MPIA internes Symposium, MPIA, 18. Feb.; Treffen des ESO-OPC-Panels, Ismaning, 26. – 28. Mai; LINC-NIRVANA science case meeting, MPIA, 24. Juni; Treffen des ESO-OPC-Panels, Ismaning, 17. – 19. Nov.
- Rolf Kuiper: Konferenz »ERASMUS-School: Supercomputing and Numerical Techniques in Astrophysics Fluid Flow Modelling«, Evora, Portugal, 2. – 14. Feb.; Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets«, Tübingen, 2. – 6. März; Konferenz »The Astrophysics of the Magnetorotational Instability and Related Processes«, Ringberg, 14. – 18. Apr. (Poster)
- Ralf Launhardt: Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets«, Universität Tübingen, 2. – 6. Mai (Poster); Konferenz »Millimeter and Submillimeter Astronomy at High Angular Resolution«, Taipei, Taiwan, 8. – 12. Juni (Poster); AG-Tagung »Deciphering the universe through spectroscopy«, AIP Potsdam, 21. – 25. Sep. (Vortrag)
- Christian Leipski: Workshop »HERSCHEL Science Demonstration Phase Data Processing«, Madrid, Spanien, 14. – 16. Dez.; Workshop »HERSCHEL Science Demonstration Phase Initial Results«, Madrid, Spanien, 17. – 18. Dez. (Vortrag)
- Dietrich Lemke: Tagung Astronomische Gesellschaft, Arbeitskreis Astronomie-Geschichte, Potsdam, 21. Sep.
- Rainer Lenzen: METIS technical team meeting, Leuven, Belgien, 4. – 5. Feb.; GRAVITY meeting, Heidelberg, 30. – 31. März; METIS meeting, Leiden, Niederlande, 21. Apr.; METIS progress meeting, ACT, Edinburgh, UK, 19. Mai; METIS 3rd team meeting, Heidelberg, 30. Juni – 2. Juli; Gravity consortium review meeting, Grenoble, 15. – 16. Sept.; AG-Tagung, Potsdam 21. – 25. Sept.; METIS technical team meeting, Leiden, Niederlande, 30. Sep.; ESO/CAUP exoplanet conference, Porto, Portugal, 19. – 23. Okt.; PDR GRAVITY meeting, ESO, Garching, 14. – 15. Dez.; METIS FDR meeting, ESO, Garching, 17. – 18. Dez.
- Hendrik Linz: Konferenz »ALMA and ELTs: A Deeper, Finer View of the Universe«, ESO, Garching, 24. – 27. März (Poster); HERSCHEL Data Reduction Workshop, ESA, Villa Franca, Spanien, 14. – 16. Dez.; HERSCHEL SDP Initial Results Symposium, ESA, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spanien, 17. – 18. Dez.
- Chao Liu: Konferenz »The Milky Way and the Local Group – Now and in the GAIA Era«, ZAH, Heidelberg, 31. Aug – 4. Sep. (Vortrag); LAMOST-PLUS meeting, NAOC, Peking, China, 22. Aug – 25. Aug. (Vortrag); GAIA CU8 Meeting, CNES, Toulouse, Frankreich, 9. – 10. Juni (Vortrag)
- Andrea V. Macciò: Konferenz »Open Problems in Galaxy Formation«, Potsdam, 12. – 15. Mai (Vortrag); Konferenz »Distribution of Mass in the Milky Way Galaxy«, Leiden, Niederlande, 13. – 17. Juli (Vortrag); Konferenz »The Milky Way in the GAIA era«, Heidelberg, 1. – 4. Sep. (Vortrag)
- Nicolas Martin: Freffen der PAN-STARRS-Kollaboration, Harvard, USA, Aug. (Vortrag); Konferenz »The Milky Way and the Local Group: now and in the GAIA era«, Heidelberg, Sep. (Vortrag); Konferenz »Distribution of mass in the Milky Way galaxy«, Leiden, Niederlande, Juli (Vortrag); Konferenz »Overcoming Great Barriers in Galactic Archaeology«, Palm Cove, Australien, Mai (Vortrag)
- Eva Meyer: Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets«, Tübingen, 2. – 6. März (Poster); MPIA Student workshop, Noorden, Netherlands, 25. – 31. Mai (Vortrag); Workshop »MAD and Beyond«, ESO, Garching, 8. – 10. Juni; Konferenz »New Technologies for Probing the Diversity of Brown Dwarfs and Exoplanets«, Shanghai, China, 19. – 24. Juli (Vortrag); Klausurtagung der PSF-Gruppe des MPIA, Mayschoss, 14. – 17. Okt.
- Christoph Mordasini: Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets«, Tübingen, 2. – 6. März (Poster); Konferenz »Boliden and Meteorite Falls«, Prag, Tschechische Republik, 10. – 15. Mai (Vortrag); Konferenz »From Circumstellar Disks to Planetary Systems«, Garching, 3. – 6. Nov. (Vortrag)
- Friedrich Müller: MIRI European Consortium Meetings: Leuven, Belgien, 21. – 23. Jan., Leicester, UK, 28. – 30. Apr., Kopenhagen, Dänemark, 8. – 10. Sep.; ESMATS (European Space Mechanisms and Tribology Symposium), Wien, Österreich, 23. – 25. Sep.
- Reinhard Mundt: Workshop »KH 15D«, Middletown, USA, 22. – 23. Juni (Vortrag)
- Marie-Helene Nicol: 213th American Astronomical Society Meeting, Long Beach, USA, 4. – 8. Jan. (Poster); Konferenz »Galaxy Evolution and Environment«, Kuala Lumpur, Malaysia, 30. März – 3. Apr. (Poster); Space Telescope A 901/902 Galaxy Evolution Survey meeting, MPIA, 19. – 20. Mai (Vortrag)
- Markus Nielbock: HERSCHEL/PACS ICC Meetings: Wien, 12. – 13. Jan. (Vortrag), MPE, Garching, 1. – 3. Apr. (Vortrag), 29. – 30. Juni (Vortrag); HERSCHEL PV Phase Mid-Term Review, ESAC Villafranca, via Videocon, 1. Sep. (Vortrag); Klausurtagung der PSF-Gruppe des MPIA, Mayschoß, 14. – 16. Okt. (Vortrag); HERSCHEL SDP Initial Results Symposium, ESAC, Madrid, Spanien, 17. – 18. Dez.

- Nikolay Nikolov: Konferenz »JENAM« (Joint European and National Astronomy Meeting), University of Hertfordshire, UK, 20.–23. Apr. (Poster)
- Dading Nugroho: IAU Symposium 267 »Co-evolution of central black holes and galaxies: feeding and feedback«, Rio de Janeiro, Brasilien, 10.–14. Aug. (Poster)
- Christiaan W. Ormel: Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets«, Tübingen, 2.–6. März (Vortrag); Konferenz »Learning from starlight«, Lorentz Center, Leiden, Niederlande, 16.–20. März (Vortrag); Konferenz »Evolution of planetary and stellar systems«, Monash Parto Center, Prato, Italien, 22.–26. Juni (Poster); Konferenz »Planetesimal Formation«, Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, Cambridge, UK, 28.–30. Sep. (Poster); Winter workshop on planetary astrophysics, Kavli institute for astronomy and astrophysics, Universität Peking, Peking, 12.–19. Dez. (Vortrag)
- Alexey Pavlov: ADASS 2009: »Astronomical Data Analysis Software and Systems XIX«, Sapporo, Japan, 4.–8. Okt. (Poster)
- Oliver Porth: Workshop »Physics of Galactic Nuclei«, Ringberg, 15.–19. Juni (Poster); Konferenz »High Energy Phenomena in Relativistic Outflows«, Buenos Aires, Argentinien, 26.–30. Okt.
- Jörg-Uwe Pott: Physics of Galactic Nuclei«, Ringberg Castle, Monday, 15.–19.6., »From Circumstellar Disks to Planetary Systems«, ESO Garching, 3.–6. 11. (Vortrag)
- Natalie Raettig: Konferenz »Planet Formation and Evolution«, Tübingen, 2.–6. März (Poster); Konferenz »The Dynamics of Discs and Planets«, Cambridge, UK, 17.–21. Aug. (Poster)
- Hans-Walter Rix: Externe Klausurtagung des WBK am MPIA, Obrigheim, 12.–13. Feb.; Internes Symposium des MPIA, Heidelberg, 18. Feb.; LAMOST Workshop, Peking, 27. Mai – 2. Juni; Konferenz »Tidal dwarf: Ghosts from structure formation, Bad Honnef, 25. Mai; Workshop »Galaxy Masses«, Kingston, UK, 13.–17. Juni; Konferenz »Galaxy Evolution«, Marseille, Frankreich, 1. Juli; Workshop »Distribution of Mass in the Milky Way Galaxy«, Leiden, Niederlande, 13.–17. Juli; PS1 Collaboration Meeting, Center for Astrophysics, Cambridge, USA, 29. Aug.–2. Sep.; Konferenz des NIRSPEC science team, Oxford, UK, 9.–11. Dez.
- Aday Robaina: Konferenz »Galaxy Evolution and Environment«, Kuala Lumpur, Malaysia, 30. März – 3. Apr. (Vortrag)
- Boyke Rochau: Konferenz »Numerical Astrophysics and its role in Star Formation«, Cardiff, UK, 19.–23. Jan. (Poster); Konferenz »MAD and Beyond: Science with Multi-Conjugate Adaptive Optics Instruments«, Garching, 8.–10. Juni (Vortrag); IAU Symposium 266: »Star Clusters – Basic Galactic Building Blocks throughout Time and Space«, 10.–14. Aug. (Poster)
- Maria Victoria Rodriguez Ledesma: Annual Argentinean Astronomical Meeting, La Plata, Argentina 21.–25. Sept. (Vortrag)
- Christine Ruhland: Konferenz »Tidal Dwarf Galaxies«, Bad Honnef, 25.–29. Mai (Poster); Konferenz »The Milky Way and the Local Group«, Heidelberg, 31. Aug.–4. Sep. (Poster)
- Mark Sargent: 213th AAS meeting, Long Beach, CA, USA, 4.–8. Jan. (Poster); Konferenz »Galaxies in Isolation: Exploring Nature vs. Nurture«, Granada, Spanien, 12.–15. Mai (Poster); COSMOS Team Meeting, Matsuyama, Japan, 15.–18. Juni (Vortrag)
- Silvia Scheithauer: MIRI European Consortium Meeting, Leuven, Belgien, 21.–23. Jan.
- Eva Schinnerer: Konferenz »ALMA and ELTs: A Deeper, Finer View of the Universe«, ESO, Garching, 24.–27. März (Poster); 214th AAS Meeting, COSMOS special session, Pasadena, 7.–11. Mai; COSMOS Team Meeting, Matsuyama, 15.–18. Juni (Vortrag); Konferenz »Spiral Arm Substructure in Nearby Galaxies«, STScI, 29. Sep.–1. Okt. (Vortrag); German ALMA community day, Bonn, 8. Okt.; Konferenz »The Gaseous Evolution of Galaxies«, Schloss Ringberg, 15.–18. Nov. (Vortrag)
- Markus Schmalzl: Konferenz »Dense Cores in Dark Clouds LXV«, Newport, Rhode Island, USA, 21.–23. Okt.
- Jürgen Schreiber: HERSCHEL Data Processing Workshop, ESAC/Madrid, 24.–25. März (Tutor)
- Dmitry A. Semenov: Klausurtagung der Laborastrophysik-Gruppe des MPIA, Schlosshotel Eyba, Jena, 8.–9. Feb.; Konferenz »Planet Formation«, Tübingen, 1.–6. März (Vortrag); Konferenz »Astrochemistry«, ROC, Taipeh, Taiwan, 7.–13. Juni (Poster)
- Aurora Sicilia-Aguilar: Konferenz »Planet formation and evolution: The Solar System and Extrasolar planets«, Tübingen, 2.–6. März (Vortrag); Konferenz »From circumstellar disks to planetary systems«, ESO, Garching, 3.–6. Nov. (Poster)
- Rosalind Skelton: Konferenz »Galaxy evolution and the environment«, Kuala Lumpur, Malaysia, 30. März – 2. Apr. (Poster)
- Kester Smith: Konferenz »The Milky Way, Now and in the GAIA Era«, Heidelberg, 31. Aug.–4. Sep. (Poster)
- Jakob Staude: Jahrestagung der Astronomischen Gesellschaft, Potsdam, 21.–25. Sep.
- Micaela Stumpf: 213th Meeting of the American Astronomical Society (AAS), Long Beach, USA, 4.–9. Jan. (Vortrag)
- Amelia Stutz: HERSCHEL Data Processing Workshop, Villafranca del Castillo, 14.–16. Dez.; HERSCHEL SDP Initial Results Presentations, Boadilla del Monte, 16.–17. Dez.
- Christian Thalmann: 2nd SUBARU International Conference, Kona, Hawaii, März (Poster)
- Paraskevi Tsalmantza: Konferenz: »GAIA DPAC Integration Testing Workshop«, Genf, Schweiz, 30. Jan.; Konferenz: »7th GAIA CU8 Meeting«, Toulouse, Frankreich, 8.–10. Juni (Vortrag); Konferenz: »GAIA DPCC Java Workshop«, Toulouse, Frankreich, 11.–12. Juni; Konferenz: »The Milky Way and the Local Group – Now and in the GAIA Era«, Heidelberg, 31. Aug.–4. Sep.; Konferenz: »8th

- GAIA CU8 Meeting«, Nizza, Frankreich, 17.–18. Nov. (Vortrag); Konferenz: »GAIA GREAT meeting«, Nizza, Frankreich, 19.–20. Nov.
- Ana Lucía Uribe: Konferenz »The Astrophysics of the Magnetorotational Instability«, Schloss Ringberg, 14.–18. Apr.; Konferenz »12th MHD days«, Potsdam, 8.–9. Dez. (Poster)
- Roy van Boekel: Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets«, Tübingen, 2.–6. März (Poster); Klausurtagung der PSF-Gruppe 2009, Mayschoß, 14.–16. Okt.; Konferenz »From circumstellar disks to planetary systems«, Garching, 3.–6. Nov. (Poster)
- Glenn van de Ven: Konferenz »The Milky Way and the Local Group – Now and in the GAIA Era«, Heidelberg, 31. Aug.–4. Sep. (Vortrag)
- Arjen van der Wel: Konferenz »Deep IR studies of the distant universe«, Leiden, Niederlande, 2.–6. Feb. (Vortrag); Science Day, MPIA, 18. Feb. (Vortrag); Konferenz »Joint European and National Astronomy Meeting«, Hertfordshire, UK, 20.–23. Apr. (Vortrag); Galaxy Coffee, MPIA, 30. Apr. (Vortrag); Konferenz »VIIth Marseille International Cosmology Conference«, Marseille, France, 29. Juni – 3. Juli (Vortrag); Galaxy Coffee, MPIA, 22. Okt. (Vortrag); Konferenz »Evolution of galaxies from mass selected samples«, Leiden, Niederlande, 9.–13. Nov. (Vortrag)
- Anton I. Vasyunin: Klausurtagung der Laborastrophysik-Gruppe des MPIA, Schlosshotel Eyba, Jena, 8.–9. Feb.; Schlosshotel Eyba, Jena, 9.–10. Feb. (Vortrag); Konferenz »Astrochemistry«, ROC, Taipeh, Taiwan, 7.–13. Juni (Poster)
- Fabian Walter: German ALMA community day, Bonn, Okt.; AAS meeting, Pasadena, USA, Juni (Poster); ESO workshop »ELTs and ALMA: A deeper, finer view of the universe«, Garching, März (Vortrag)
- Wei Wang: Konferenz »New Technologies for Probing the Diversity of Brown dwarfs and Exoplanets«, Shanghai, China, 19.–24. Juli (Poster); Konferenz »Evolution of Planetary and Stellar Systems«, Prato, Italien, 21.–26. Juni
- Yuan Wang: Workshop »ALMA and ELTs: A Deeper, Finer View of the Universe«, 24.–27. März; Klausurtagung der PSF-Gruppe, Mayschoß, 14.–17. Okt.; ALMA training school »CASA Tutorial«, Bonn, 5.–7. Okt.
- Svitlana Zhukovska: JENAM 2009, Hertfordshire, UK, 20.–23. Apr. (Vortrag); Herbsttagung der AG, Potsdam, 21.–25. Sep. (Vortrag); Institutsseminar am Institute für Astronomy, Universität Wien, 14. Dez. (Vortrag)
- Stefano Zibetti: IAU Symposium 262, »Stellar populations: planning for the next decade«, Rio de Janeiro, Brasilien, 3.–7. Aug. (Vortrag); Workshop »Unveiling the Mass: Extracting and Interpreting Galaxy Masses«, Kingston, Kanada, 15.–19. Juni (Vortrag); Konferenz »Galaxy evolution and environment«, Kuala Lumpur, Malaysia, 30. März – 3. Apr. (Poster)

Eingeladene Vorträge, Kolloquien

- Coryn Bailer-Jones: ELSA (European Leadership in Space Astrometry) workshop on The Techniques of GAIA, Heidelberg, Okt. (Vortrag); Joint European and National Astronomy Meeting, Hatfield, UK, Apr. (Vortrag)
- Henrik Beuther: Physik-Kolloquium, Universität Kiel, 20. Jan.; Konferenz »Chemistry in star formation«, Universität Tokyo, 5. März; Konferenz »ALMA vs ELT«, Garching, 25. März; Kolloquium »(Massive) star formation: Present and future«, Universität Wien, Österreich
- Jeroen Bouwman: Universität Amsterdam, Niederlande, 26. Feb. (Kolloquium); Konferenz »The Dynamics of Disks and Planets«, Cambridge, UK, 16.–21. Aug. (Vortrag)
- Leonard Burtscher: MPIA internal symposium, Heidelberg, 18. Feb. (Vortrag)
- Joseph Carson: College of Charleston, Charleston, USA, März (Vortrag)
- Cornelis P. Dullemond: Konferenz »IAU General Assembly«, Rio de Janeiro, Brasilien, 2.–13. Aug. (Vortrag); Workshop »Planetesimal Formation«, Cambridge, UK, 28.–30. Sep. (Vortrag); Konferenz »From circumstellar disks to planetary systems«, Garching, 3.–6. Nov. (Vortrag); Workshop »Polarimetry of circumstellar disks«, Utrecht, Niederlande, 18.–19. Nov. (Vortrag); Kolloquium »How to build a planet«, Innsbruck, Österreich, 1. Dez.
- Natalia Dzyurkevich: MPIA Symposium, MPIA, 18. Feb.; Video-Seminar »Early Stages of Planet Formation«, MPIA, 18. Juni; Universität Tübingen, 3. Nov.; CEA, Paris, Frankreich, 2. Dez.
- Markus Feldt: The 2nd SUBARU International Conference: »Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity«, Keauhou, Hawaii, 9.–12. März (Vortrag)
- Mario Flock: Video-Seminar »Early Stages of Planet Formation«, 18. Juni (Vortrag); CEA, Paris, Frankreich, 2. Dez. (Vortrag)
- Bertrand Goldman: Workshop »Voie Lactée«, Besançon, Frankreich, 5. Nov. (Vortrag); Kolloquium am MPE, Garching, 16. Dez.
- Thomas Henning: Universität Uppsala, Schweden, Jan. (Kolloquium); Konferenz »Planet Formation and Evolution: The Solar System and Extrasolar Planets«, Tübingen, 2.–6. März (Vortrag); The Second SUBARU International Conference, Hawaii, 8.–13. März (Vortrag); Universität Leiden, 2. Apr. (Kolloquium); Universität Grenoble, Frankreich, 25. Juni (Kolloquium); Summer School »Young Stellar Objects: From Cool Stars to Exoplanets«, El Escorial, Universität Madrid, 29. Juni – 3. Juli (Vortrag); Paderborn, 16. Juli (Kolloquium); Opening Symposium GranTeCan, Teneriffa, Spanien, 23.–25. Juli (Vortrag); Konferenz »To the Edge of the Universe: 30 Years of IRAM«, Grenoble, Frankreich, 28.–30. Sept. (Vortrag); Workshop »Polarimetry of circumstellar disks«, Utrecht, Niederlande, 18.–19. Nov. (Vortrag); Leopoldina, Halle, 24. Nov. (Kolloquium)
- Tom Herbst: Amtsantritt Prof. Alfred Krabbe im SOFIA-Institut, Stuttgart, 23. März (Vortrag); AO Coffee, HIA,

- Victoria, Kanada, 18. Sep. (Vortrag); MPIA Galaxy Coffee, MPIA, 8. Okt. (Vortrag); IYA Science Tea, Victoria, Kanada, 15. Okt. (Vortrag); HIA Colloquium, Victoria, Kanada, 10. Nov. (Vortrag); HIA Instrumentation Coffee, Victoria, Kanada, 2. Dez. (Vortrag)
- Stefan Hippler: Kolloquium »Optische Technologien«, FH Münster, Münster, 14. Okt. (Vortrag)
- Knud Jahnke: Heidelberg Joint Astronomical Colloquium, 10. Okt. (Kolloquium)
- Viki Joergens: ESA-Konferenz »Recipes for making brownies: theory vs. observations«, Nordwijk, Niederlande, 9. – 11. Sep. (Vortrag); Konferenz »Heidelberg Astronomers' Convention«, Heidelberg, 2. Okt. (Vortrag)
- Hubert Klahr: Konferenz »The Astrophysics of the Magnetorotational Instability and Related Processes«, Schloss Ringberg, 14. – 18. Apr. (Vortrag); Internationaler Workshop »Solving the Riddle of Turbulence«, Göttingen, 6. – 9. Mai (Vortrag); Department of Terrestrial Magnetism, Washington, USA, 26. Mai (Kolloquium); Museum of Natural History, New York, USA, 2. Juni (Kolloquium); Konferenz »Evolution of Planetary and stellar systems«, Prato, Italien, 21. – 26. Juni (Vortrag); ASTRONOM 2009, 4th International Conference on Numerical Modeling of Space Plasma Flows, Chamonix, Frankreich, 29. Juni – 3. Juli (Vortrag); Observatorium Stockholm, Stockholm, 10. Sep. (Kolloquium); Konferenz »Planetary Formation« Cambridge, UK, 28. – 30. Sep. (Vortrag); Department of Aerodynamics and Fluid Mechanics, Brandenburg University of Technology (BTU), Cottbus, 18. Nov. (Kolloquium); Isaac Newton Institute, Cambridge, UK, 1. Dez. (Kolloquium); University of Exeter, 2. Dez. (Kolloquium); Winter Workshop »Planetary Astrophysics« KIAA, Universität Peking, Peking, 12. – 19. Dez. (Vortrag)
- Oliver Krause: Workshop »SN Ia Progenitors«, Universität Princeton, USA, 17. – 18. Apr. (Vortrag); ESO, Garching, 7. Apr. (Kolloquium); ESO, Santiago, Chile, 21. Juni (Kolloquium); ESA/ESTEC Noordwijk, 19. Aug. (Kolloquium)
- Rolf Kuiper: Argelander Institut für Astronomie (AIfA), Bonn, 9. Jan. (Sonderkolloquium)
- Ralf Launhardt: AIU Jena, 1. Juli (Kolloquium)
- Andrea V. Macciò: Dark Cosmology Center, Kopenhagen, Dänemark, 31. März (Kolloquium); Konferenz »Particle Physics and Cosmology: From the Smallest Scales to the Largest«, Kopenhagen, Dänemark, 1. – 3. Apr. (Vortrag); MPI für Astrophysik, Garching, 16. Juni (Kolloquium); MPI für Kernphysik, Heidelberg, 24. Nov. (Kolloquium); Institut für Theoretische Physik der Universität, Heidelberg, 9. Dez. (Kolloquium)
- Nicolas Martin: Workshop »Calar Alto Legacy Survey«, Heidelberg, Apr. (Vortrag); Konferenz »Tidal Dwarf Galaxies: Ghosts from Structure Formation«, Bad Honnef, Mai (Vortrag); Workshop »Voie Lactée«, Besançon, Frankreich, 5. Nov. (Vortrag); NRC Herzberg Institute for Astrophysics, Victoria, Kanada, (Kolloquium)
- Christoph Mordasini: Konferenz »The Dynamics of Discs and Planets«, Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, Cambridge, UK, 17. – 21. Aug. (Vortrag); Dipartimento di Astronomia, Universität Padua, Italien, 17. Dez. (Kolloquium)
- Jörg-Uwe Pott: IAA, Granada, seminar-talk, 1.12
- Hans-Walter Rix: Joint Astronomy Colloquium: »Do the Milky Way's Outskirts Live up to Expectations«, ESO, Garching, 29. Jan. (Vortrag); Arizona Colloquium, Steward Observatory, Tucson, Arizona, USA, 12. März (Vortrag); NYU Colloquium, Universität New York, USA, 10. Apr. (Vortrag); Universität von Utah, Salt Lake City, Utah, 6. Okt. (Kolloquium)
- Boyke Rochau: University of Exeter, Astrophysics Group, Exeter, UK, 29. Okt. (Kolloquium)
- Jakob Staude: Konferenz »The Inspiration of Astronomical Phenomena«, Venedig, 18. – 23. Okt. (Vortrag)
- Jürgen Steinacker: Observatoire de Paris, Paris, 13. Nov. (Vortrag); IAS, Paris, 9. Nov. (Vortrag); German Sofia Center, Stuttgart, 27. Okt. (Vortrag); IAS, Paris, 22. Okt. (Vortrag); Observatoire de Paris, Paris, 7. Okt. (Vortrag); ZAH/ITA, Heidelberg, 15. Juli (Kolloquium); MPIA, Heidelberg, 6. Mai (Vortrag); Hochschule Mannheim, Mannheim, 2. Apr. (Kolloquium); MPIA, Heidelberg, 27. März; MPIA und LSW Heidelberg (Kolloquium)
- Micaela Stumpf: Pressekonferenz bei 213th Meeting of the American Astronomical Society (AAS), Long Beach, USA, 5. Jan. (Vortrag)
- Roy van Boekel: AG Herbsttagung 2009, Potsdam, 21. – 25. Sep. (Vortrag)
- Fabian Walter: Workshop »First Star Formation«, Heidelberg, Okt. (Vortrag); IRAM 30th anniversary, Grenoble, Frankreich, Sep. (Vortrag), Jahrestreffen der AG, Potsdam, Sep. (Highlight-Vortrag); Kolloquium am Lowell-Observatorium, Flagstaff, Mai; VLA-AOC, Socorro, USA, Mai (Vortrag)
- Stefano Zibetti: IAU General Assembly 2009, »Diffuse light in galaxy clusters«, Joint Discussion 02, Rio de Janeiro, Brasilien, 6. – 7. Aug. (Vortrag); Università dell'Insubria, Como, Italien, 28. Mai (Kolloquium)

Vortragsreihen

- Viki Joergens: »Exoplanets around young stars: I. Radial Velocity«, ASTROCAM School »Young stellar Objects: from Cool Stars to Exoplanets«, San Lorenzo de El Escorial, Madrid, Spanien, 29. Jun. – 3. Juli

Populärwissenschaftliche Vorträge

- Henrik Beuther: Astronomie am Sonntag Vormittag: »Die Geburt der Sterne«, MPIA, 28. Juni; »Die Geburt der Sterne«, Planetarium Mannheim, 6. Okt.
- Wolfgang Brandner: »Braune Zwerge – gescheiterte Sterne oder Superplaneten?«, Pollichia (Pfalzmuseum für Naturkunde), Bad Dürkheim, 6. Aug.

- Leonard Burtscher: »Eine Nacht am größten Teleskop der Welt«, Gymnasium Penzberg/Sternwarte Penzberg e.V., 5. März; »In den Sternen die Zukunft erkennen? Eine kritische Auseinandersetzung mit der Astrologie«, Sternwarte Gudensberg, 20. März; »In den Sternen die Zukunft erkennen? Eine kritische Auseinandersetzung mit der Astrologie«, Sternwarte Heilbronn, 18. Sep.
- Joseph Carson: »Discovering Astronomy«, Nysmith School for the Gifted, Herndon, USA, März (Vortrag)
- Christian Fendt: »Zwischen Millisekunden und Milliarden Jahren – Zeitskalen in der Astronomie«, Studientag »Zeit« am Hölderlin-Gymnasium, Heidelberg, 11. Nov.
- Martin Hennenmann: »Die schwere Geburt massereicher Sterne«, Arbeitskreis Astronomie, Studium Generale, Universität Stuttgart, Stuttgart-Vaihingen, 24. Juni
- Thomas Henning: »Astrophysik im Labor: Über Fußballmoleküle, Nanodiamanten und Sternenstaub«, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 17. Jan.
- Klaus Jäger: »Weitblick, Scharfblick, Zeitmaschine – 400 Jahre Astronomie mit dem Fernrohr«, Planetarium Mannheim, 3. Feb.; »Weitblick, Scharfblick, Zeitmaschine«, Sondervortrag für Schüler des Salier-Gymnasiums, Waiblingen, MPIA, 14. Juli; »Weitblick, Scharfblick, Zeitmaschine«, Kepler-Tage am MPIA, 18. Juli; »Geheimnisvolle Quasare – der Lösung eines Rätsels auf der Spur«, Geodätisches Observatorium Wettzell, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie (FESG), Wettzell, 19. Nov.; »Weitblick, Scharfblick, Zeitmaschine«, Starkenburg-Sternwarte, Heppenheim, 24. Nov.
- Oliver Krause: »Das Europäische Weltraumteleskop HERSCHEL«, Astronomie am Sonntagvormittag, MPIA Heidelberg, 26. Juni; »Lichtblick in die Vergangenheit – Zeitreise zu einer Sternexplosion des 16. Jahrhunderts«, Sternwarte Trebur, 18. Sep.; »Das Weltraumteleskop HERSCHEL – Europas neues Fenster ins All«, Science Express, Universität Heidelberg, 4. – 6. Okt.
- Dietrich Lemke: »400 Jahre Astronomische Fernrohr-Geschichte und Zukunft einer Entdeckungsmaschine«, Sternwarte Starkenburg, 10. Feb.; »Sind wir allein im Universum?«, Volkshochschule Schwetzingen, 7. Apr.; »400 Jahre Astronomisches Fernrohr«, Astronomie am Sonntagvormittag, MPIA, Heidelberg, 21. Juni; »Infrarot-Weltraum-Teleskope – Entdeckungen im kalten Kosmos«, Lehrerfortbildung, MPIA, Heidelberg, 10. Nov.; »Zurück zum Mond«, Sternwarte Heilbronn, 11. Dez.
- Hendrik Linz: »Das größte Weltraumteleskop: HERSCHEL«, Space Science Day, SRH, Hochschule Heidelberg, 6. Mai
- Markus Nielbock: »HERSCHEL und Planck – Europas neue Weltraumobservatorien«, Planetarium Mannheim, 31. März
- Axel M. Quetz: »Die Entstehung von Planetensystemen«, Schenk-von-Limpurg-Gymnasium Gaildorf, 24. März; »Die Entstehung von Planetensystemen«, Volkshochschule Leimen, 15. Okt.; »Die Entstehung von Planetensystemen«, Carl-Bosch-Gymnasium Ludwigshafen, 11. Nov.
- Hans-Walter Rix: Vortrag bei der Astronomischen Vereinigung Weikersheim, Bad Mergentheim, 6. Mai; »Superaugen schauen ins All«, Universität Tübingen, Tübingen, 20. Mai
- Maria Victoria Rodriguez Ledesma: »The formation of stars and brown dwarfs«, IYA (Argentinean node) talks, Salta University and National School Tucuman, August; »Extrasolar planets«, IYA (Argentinean node) talks, Normal High School and Tafi del Valle School, Sept.
- Christine Ruhland: »Den Geheimnissen der Galaxien auf der Spur«, Immanuel-Kant-Schule, Rüsselsheim, 16. Nov.
- Silvia Scheithauer: »Die infraroten Augen des James Webb Weltraumteleskops«, Kinderuniversität Bretten, 4. Nov.
- Johny Setiawan: »Die Suche nach Planeten ausserhalb des Sonnensystems«, 5. Schülersymposium, Kommunikationszentrum DKFZ, Heidelberg, 13. Mai; »Eine Reise in die Geschichte der Planetensysteme«, Astronomischer Vortragsabend zum Science Express, Universität Heidelberg, 5. Okt.; Botschaft der Republik Indonesien, Berlin, 12. Sep.
- Jakob Staude: »Quattrocento anni dopo. Galileo Galilei e la nascita del Sidereus Nuncius«, Festivalletteratura, Mantua, 10. Sep.
- Jürgen Steinacker: »The unsolved puzzle of the giant stars«, MPIA, Heidelberg, 17. Mai

Veröffentlichungen

In Zeitschriften mit Referierungssystem

- Abazajian, K. N., J. K. Adelman-McCarthy, M. A. Agüeros, S. S. Allam, C. Allende Prieto, D. An, K. S. J. Anderson, S. F. Anderson, J. Annis, N. A. Bahcall, C. A. L. Bailer-Jones, J. C. Barentine, B. A. Bassett, A. C. Becker, T. C. Beers, E. F. Bell, V. Belokurov, A. A. Berlind, E. F. Berman, M. Bernardi, S. J. Bickerton, D. Bizyaev, J. P. Blakeslee, M. R. Blanton, J. J. Bochanski, W. N. Boroski, H. J. Brewington, J. Brinchmann, J. Brinkmann, R. J. Brunner, T. Budavári, L. N. Carey, S. Carliles, M. A. Carr, F. J. Castander, D. Cinabro, A. J. Connolly, I. Csabai, C. E. Cunha, P. C. Czarapata, J. R. A. Davenport, E. de Haas, B. Dilday, M. Doi, D. J. Eisenstein, M. L. Evans, N. W. Evans, X. Fan, S. D. Friedman, J. A. Frieman, M. Fukugita, B. T. Gänsicke, E. Gates, B. Gillespie, G. Gilmore, B. Gonzalez, C. F. Gonzalez, E. K. Grebel, J. E. Gunn, Z. Györy, P. B. Hall, P. Harding, F. H. Harris, M. Harvanek, S. L. Hawley, J. J. E. Hayes, T. M. Heckman, J. S. Hendry, G. S. Hennessy, R. B. Hindsley, J. Hoblitt, C. J. Hogan, D. W. Hogg, J. A. Holtzman, J. B. Hyde, S.-i. Ichikawa, T. Ichikawa, M. Im, Z. Ivezić, S. Jester, L. Jiang, J. A. Johnson, A. M. Jorgensen, M. Juric, S. M. Kent, R. Kessler, S. J. Kleinman, G. R. Knapp, K. Konishi, R. G. Kron, J. Krzesinski, N. Kuropatkin, H. Lampeitl, S. Lebedeva, M. G. Lee, Y. S. Lee, R. F. Leger, S. Lépine, N. Li, M. Lima, H. Lin, D. C. Long, C. P. Loomis, J. Loveday, R. H. Lupton, E. Magnier, O. Malanushenko, V. Malanushenko, R. Mandelbaum, B. Margon, J. P. Marriner, D. Martínez-Delgado, T. Matsubara, P. M. McGehee, T. A. McKay, A. Meiksin, H. L. Morrison, F. Mullally, J. A. Munn, T. Murphy, T. Nash, A. Nebot, E. H. Neilsen, H. J. Newberg, P. R. Newman, R. C. Nichol, T. Nicinski, M. Nieto-Santisteban, A. Nitta, S. Okamura, D. J. Oravetz, J. P. Ostriker, R. Owen, N. Padmanabhan, K. Pan, C. Park, G. Pauls, J. Peoples, W. J. Percival, J. R. Pier, A. C. Pope, D. Pourbaix, P. A. Price, N. Purger, T. Quinn, M. J. Raddick, P. R. Fiorentin, G. T. Richards, M. W. Richmond, A. G. Riess, H.-W. Rix, C. M. Rockosi, M. Sako, D. J. Schlegel, D. P. Schneider, R.-D. Scholz, M. R. Schreiber, A. D. Schwöpe, U. Seljak, B. Sesar, E. Sheldon, K. Shimasaku, V. C. Sibley, A. E. Simmons, T. Sivarani, J. A. Smith, M. C. Smith, V. Smolcic, S. A. Snedden, A. Stebbins, M. Steinmetz, C. Stoughton, M. A. Strauss, M. Subba Rao, Y. Suto, A. S. Szalay, I. Szapudi, P. Szkody, M. Tanaka, M. Tegmark, L. F. A. Teodoro, A. R. Thakar, C. A. Tremonti, D. L. Tucker, A. Uomoto, D. E. Vanden Berk, J. Vandenberg, S. Vidrih, M. S. Vogeley, W. Voges, N. P. Vogt, Y. Wadadekar, S. Watters, D. H. Weinberg, A. A. West, S. D. M. White, B. C. Wilhite, A. C. Wonders, B. Yanny, D. R. Yocum, D. G. York, I. Zehavi, S. Zibetti and D. B. Zucker: The Seventh Data Release of the Sloan Digital Sky Survey. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 182, 543-558 (2009)
- Ábrahám, P., A. Juhász, C. P. Dullemond, Á. Kóspál, R. van Boekel, J. Bouwman, T. Henning, A. Moór, L. Mosoni, A. Sicilia-Aguilar and N. Sipos: Episodic formation of cometary material in the outburst of a young Sun-like star. *Nature* 459, 224-226 (2009)
- Acke, B., M. Min, M. E. van den Ancker, J. Bouwman, B. Ochsendorf, A. Juhász and L. B. F. M. Waters: On the interplay between flaring and shadowing in disks around Herbig Ae/Be stars. *Astronomy and Astrophysics* 502, L17-L20 (2009)
- Alibert, Y., F. Pont, I. Baraffe, C. Reylé, C. Mordasini, D. Queloz, W. Benz and S. Udry: Planet formation by nucleated-instability: comparison with the two first CoRoT runs. *Astronomy and Astrophysics* 506, 391-398 (2009)
- Andersen, M., H. Zinnecker, A. Moneti, M. J. McCaughrean, B. Brandl, W. Brandner, G. Meylan and D. Hunter: The low-mass initial mass function in the 30 Doradus starburst cluster. *The Astrophysical Journal* 707, 1347-1360 (2009)
- Andreon, S., B. Maughan, G. Trinchieri and J. Kurk: JKCS 041: a colour-detected galaxy cluster at $z_{\text{phot}} \sim 1.9$ with deep potential well as confirmed by X-ray data. *Astronomy and Astrophysics* 507, 147-157 (2009)
- Andrews, S. M., D. J. Wilner, A. M. Hughes, C. Qi and C. P. Dullemond: Protoplanetary disk structures in Ophiuchus. *The Astrophysical Journal* 700, 1502-1523 (2009)
- Araya, E. D., S. Kurtz, P. Hofner and H. Linz: Radio continuum and methanol observations of DR21(OH). *The Astrophysical Journal* 698, 1321-1329 (2009)
- Bailer-Jones, C. A. L.: The evidence for and against astronomical impacts on climate change and mass extinctions: a review. *International Journal of Astrobiology* 8, 213-219 (2009)
- Barazza, F. D., C. Wolf, M. E. Gray, S. Jogee, M. Balogh, D. H. McIntosh, D. Bacon, M. Barden, E. F. Bell, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, B. Häussler, A. Heiderman, C. Heymans, K. Jahnke, E. van Kampen, K. Lane, I. Marinova, K. Meisenheimer, C. Y. Peng, S. F. Sanchez, A. Taylor, L. Wisotzki and X. Zheng: Relating basic properties of bright early-type dwarf galaxies to their location in Abell 901/902. *Astronomy and Astrophysics* 508, 665-675 (2009)
- Beuther, H. and T. Henning: Multiple low-turbulence starless cores associated with intermediate- to high-mass star formation. *Astronomy and Astrophysics* 503, 859-867 (2009)
- Beuther, H., A. J. Walsh and S. N. Longmore: Hot high-mass accretion disk candidates. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 184, 366-386 (2009)
- Beuther, H., Q. Zhang, E. A. Bergin and T. K. Sridharan: Chemical diversity in high-mass star formation. *The Astronomical Journal* 137, 406-418 (2009)
- Bihain, G., R. Rebolo, M. R. Zapatero Osorio, V. J. S. Béjar, I. Villó-Pérez, A. Díaz-Sánchez, A. Pérez-Garrido, J. A. Caballero, C. A. L. Bailer-Jones, D. B. Y. Navascués, J.

- Eislöffel, T. Forveille, B. Goldman, T. Henning, E. L. Martín and R. Mundt: Candidate free-floating super-Jupiters in the young σ Orionis open cluster. *Astronomy and Astrophysics* 506, 1169-1182 (2009)
- Birnstiel, T., C. P. Dullemond and F. Brauer: Dust retention in protoplanetary disks. *Astronomy and Astrophysics* 503, L5-L8 (2009)
- Boley, P. A., A. M. Sobolev, V. V. Krushinsky, R. van Boekel, T. Henning, A. V. Moiseev and M. V. Yushkin: S 235 B explained: an accreting Herbig Be star surrounded by reflection nebula. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 399, 778-782 (2009)
- Boudreault, S. and C. A. L. Bailer-Jones: A constraint on brown dwarf formation via ejection: radial variation of the stellar and substellar mass function of the young open cluster IC 2391. *The Astrophysical Journal* 706, 1484-1503 (2009)
- Boulanger, F., J. P. Maillard, P. Appleton, E. Falgarone, G. Lagache, B. Schulz, B. P. Wakker, A. Bressan, J. Cernicharo, V. Charmandaris, L. Drissen, G. Helou, T. Henning, T. L. Lim, E. A. Valentijn, A. Abergel, J. L. Bourlot, M. Bouzit, S. Cabrit, F. Combes, J. M. Deharveng, P. Desmet, H. Dole, C. Dumesnil, A. Dutrey, J. J. Fourmond, E. Gavila, R. Grangé, C. Gry, P. Guillard, S. Guilloteau, E. Habart, B. Huet, C. Joblin, M. Langer, Y. Longval, S. C. Madden, C. Martin, M. A. Miville-Deschênes, G. Pineau Des Forêts, E. Pointecouteau, H. Roussel, L. Tresse, L. Verstraete, F. Viallefond, F. Bertoldi, J. Jorgensen, J. Bouwman, A. Carmona, O. Krause, A. Baruffolo, C. Bonoli, F. Bortoletto, L. Danese, G. L. Granato, C. Pernechele, R. Rampazzo, L. Silva, G. D. Zotti, J. Pardo, M. Spaans, F. F. S. van der Tak, W. Wild, M. J. Ferlet, S. K. Ramsay Howat, M. D. Smith, B. Swinyard, G. S. Wright, G. Joncas, P. G. Martin, C. J. Davis, B. T. Draine, P. F. Goldsmith, A. K. Mainzer, P. Ogle, S. A. Rinehart, G. J. Stacey and A. G. G. M. Tielens: The molecular hydrogen explorer H₂EX. *Experimental Astronomy* 23, 277-302 (2009)
- Bovy, J., D. W. Hogg and H.-W. Rix: Galactic masers and the Milky Way circular velocity. *The Astrophysical Journal* 704, 1704-1709 (2009)
- Bovy, J., D. W. Hogg and S. T. Roweis: The velocity distribution of nearby stars from HIPPARCOS Data. I. The significance of the moving groups. *The Astrophysical Journal* 700, 1794-1819 (2009)
- Brieva, A. C., C. Jager, F. Huysken, L. Siller and Y. V. Butenko: A sensible route to covalent functionalization of carbon nanoparticles with aromatic compounds. *Carbon* 47, 2812-2820 (2009)
- Brogan, C. L., T. R. Hunter, C. J. Cyganowski, R. Indebetouw, H. Beuther, K. M. Menten and S. Thorwirth: Digging into NGC 6334 I(N): multiwavelength imaging of a massive protostellar cluster. *The Astrophysical Journal* 707, 1-23 (2009)
- Brown, J. M., G. A. Blake, C. Qi, C. P. Dullemond, D. J. Wilner and J. P. Williams: Evidence for dust clearing through resolved submillimeter imaging. *The Astrophysical Journal* 704, 496-502 (2009)
- Burtscher, L., W. Jaffe, D. Raban, K. Meisenheimer, K. R. W. Tristram and H. Röttgering: Dust emission from a parsec-scale structure in the Seyfert 1 nucleus of NGC 4151. *The Astrophysical Journal* 705, L53-L57 (2009)
- Cacciato, M., F. C. van den Bosch, S. More, R. Li, H. J. Mo and X. Yang: Galaxy clustering and galaxy-galaxy lensing: a promising union to constrain cosmological parameters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 394, 929-946 (2009)
- Campisi, M. A., G. De Lucia, L. X. Li, S. Mao and X. Kang: Properties of long gamma-ray burst host galaxies in cosmological simulations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 400, 1613-1624 (2009)
- Cappellari, M., S. D. Alighieri, A. Cimatti, E. Daddi, A. Renzini, J. D. Kurk, P. Cassata, M. Dickinson, A. Franceschini, M. Mignoli, L. Pozzetti, G. Rodighiero, P. Rosati and G. Zamorani: Dynamical masses of early-type galaxies at $z \sim 2$: are they truly superdense? *The Astrophysical Journal Letters* 704, L34-L39 (2009)
- Cappellari, M., N. Neumayer, J. Reunanen, P. P. van der Werf, P. T. de Zeeuw and H. W. Rix: The mass of the black hole in Centaurus A from SINFONI AO-assisted integral-field observations of stellar kinematics. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 394, 660-674 (2009)
- Carpenter, J. M., J. Bouwman, E. E. Mamajek, M. R. Meyer, L. A. Hillenbrand, D. E. Backman, T. Henning, D. C. Hines, D. Hollenbach, J. S. Kim, A. Moro-Martín, I. Pascucci, M. D. Silverstone, J. R. Stauffer and S. Wolf: Formation and evolution of planetary systems: properties of debris dust around solar-type stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 181, 197-226 (2009)
- Carson, J. C., K. D. Hiner, G. G. Villar, M. G. Blaschak, A. L. Rudolph and K. R. Stapelfeldt: A distance-limited imaging survey of substellar companions to solar neighborhood stars. *The Astronomical Journal* 137, 218-225 (2009)
- Casarini, L., A. V. Macciò and S. A. Bonometto: High accuracy power spectra at high redshift in dynamical dark energy simulations. *Nuclear Physics B Proceedings Supplements* 194, 185-189 (2009)
- Casarini, L., A. V. Macciò and S. A. Bonometto: Dynamical dark energy simulations: high accuracy power spectra at high redshift. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 03, 014 (2009 online)
- Casey, C. M., S. C. Chapman, E. Daddi, H. Dannerbauer, A. Pope, D. Scott, F. Bertoldi, R. J. Beswick, A. W. Blain, P. Cox, R. Genzel, T. R. Greve, R. J. Ivison, T. W. B. Muxlow, R. Neri, A. Omont, I. Smail and L. J. Tacconi: A search for neutral carbon towards two $z = 4.05$ submillimetre galaxies, GN 20 and GN 20.2. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (online first), 1448 (2009)
- Chen, X., R. Launhardt and T. Henning: IRAM-PdBI observations of binary protostars. I. The hierarchical system SVS 13 in NGC 1333. *The Astrophysical Journal* 691, 1729-1737 (2009)

- Chizhik, A. M., A. I. Chizhik, R. Gutbrod, A. J. Meixner, T. Schmidt, J. Sommerfeld and F. Huisken: Imaging and spectroscopy of defect luminescence and electron-phonon coupling in single SiO₂ nanoparticles. *Nano Letters* 9, 3239-3244 (2009)
- Cimatti, A., M. Robberto, C. Baugh, S. V. W. Beckwith, R. Content, E. Daddi, G. De Lucia, B. Garilli, L. Guzzo, G. Kauffmann, M. Lehnert, D. Maccagni, A. Martínez-Sansigre, F. Pasian, I. N. Reid, P. Rosati, R. Salvaterra, M. Stiavelli, Y. Wang, M. Z. Osorio, M. Balcells, M. Bersanelli, F. Bertoldi, J. Blaizot, D. Bottini, R. Bower, A. Bulgarelli, A. Burgasser, C. Burigana, R. C. Butler, S. Casertano, B. Ciardi, M. Cirasuolo, M. Clampin, S. Cole, A. Comastri, S. Cristiani, J. G. Cuby, F. Cuttaia, A. de Rosa, A. D. Sanchez, M. di Capua, J. Dunlop, X. Fan, A. Ferrara, F. Finelli, A. Franceschini, M. Franx, P. Franzetti, C. Frenk, J. P. Gardner, F. Gianotti, R. Grange, C. Gruppioni, A. Gruppiso, F. Hammer, L. Hillenbrand, A. Jacobsen, M. Jarvis, R. Kennicutt, R. Kimble, M. Kriek, J. Kurk, J. P. Kneib, O. Le Fevre, D. Macchetto, J. MacKenty, P. Madau, M. Magliocchetti, D. Maino, N. Mandolesi, N. Masetti, R. McLure, A. Mennella, M. Meyer, M. Mignoli, B. Mobasher, E. Molinari, G. Morgante, S. Morris, L. Nicastro, E. Oliva, P. Padovani, E. Palazzi, F. Paresce, A. Perez Garrido, E. Pian, L. Popa, M. Postman, L. Pozzetti, J. Rayner, R. Rebolo, A. Renzini, H. Röttgering, E. Schinnerer, M. Scodeggio, M. Saisse, T. Shanks, A. Shapley, R. Sharples, H. Shea, J. Silk, I. Smail, P. Spanó, J. Steinacker, L. Stringhetti, A. Szalay, L. Tresse, M. Trifoglio, M. Urry, L. Valenziano, F. Villa, I. Villo Perez, F. Walter, M. Ward, R. White, S. White, E. Wright, R. Wyse, G. Zamorani, A. Zacchei, W. W. Zeilinger and F. Zerbi: SPACE: the spectroscopic all-sky cosmic explorer. *Experimental Astronomy* 23, 39-66 (2009)
- Cockell, C. S., T. Herbst, A. Léger, O. Absil, C. Beichman, W. Benz, A. Brack, B. Chazelas, A. Chelli, H. Cottin, V. Coudé Du Foresto, W. Danchi, D. Defrère, J.-W. den Herder, C. Eiroa, M. Fridlund, T. Henning, K. Johnston, L. Kaltenegger, L. Labadie, H. Lammer, R. Launhardt, P. Lawson, O. P. Lay, R. Liseau, S. R. Martin, D. Mawet, D. Mourard, C. Moutou, L. Mugnier, F. Paresce, A. Quirrenbach, Y. Rabbia, H. J. A. Rottgering, D. Rouan, N. Santos, F. Selsis, E. Serabyn, F. Westall, G. White, M. Ollivier and P. Bordé: DARWIN – an experimental astronomy mission to search for extrasolar planets. *Experimental Astronomy* 23, 435-461 (2009)
- Cockell, C. S., A. Léger, M. Fridlund, T. M. Herbst, L. Kaltenegger, O. Absil, C. Beichman, W. Benz, M. Blanc, A. Brack, A. Chelli, L. Colangeli, H. Cottin, F. Coudé du Foresto, W. C. Danchi, D. Defrère, J. W. den Herder, C. Eiroa, J. Greaves, T. Henning, K. J. Johnston, H. Jones, L. Labadie, H. Lammer, R. Launhardt, P. Lawson, O. P. Lay, J. M. LeDuigou, R. Liseau, F. Malbet, S. R. Martin, D. Mawet, D. Mourard, C. Moutou, L. M. Mugnier, M. Ollivier, F. Paresce, A. Quirrenbach, Y. D. Rabbia, J. A. Raven, H. J. A. Rottgering, D. Rouan, N. C. Santos, F. Selsis, E. Serabyn, H. Shibai, M. Tamura, E. Thiébaud, F. Westall and G. J. White: DARWIN – a mission to detect and search for life on extrasolar planets. *Astrobiology* 9, 1-22 (2009)
- Collins, K. A., C. A. Grady, K. Hamaguchi, J. P. Wisniewski, S. Brittain, M. Sitko, W. J. Carpenter, J. P. Williams, G. S. Mathews, G. M. Williger, R. van Boekel, A. Carmona, T. Henning, M. E. van den Ancker, G. Meeus, X. P. Chen, R. Petre and B. E. Woodgate: HD 100453: a link between gas-rich protoplanetary disks and gas-poor debris disks. *The Astrophysical Journal* 697, 557-572 (2009)
- Collins, M. L. M., S. C. Chapman, M. Irwin, R. Ibata, N. F. Martin, A. M. N. Ferguson, A. Huxor, G. F. Lewis, A. D. Mackey, A. W. McConnachie and N. Tanvir: A spectroscopic survey of EC4, an extended cluster in Andromeda's halo. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 396, 1619-1628 (2009)
- Combes, F., A. J. Baker, E. Schinnerer, S. García-Burillo, L. K. Hunt, F. Boone, A. Eckart, R. Neri and L. J. Tacconi: Molecular gas in Nuclei of GALaxies (NUGA). XII. The head-on collision in NGC 1961. *Astronomy and Astrophysics* 503, 73-86 (2009)
- Cooper, M. C., A. Gallazzi, J. A. Newman and R. Yan: Galaxy assembly bias on the red sequence. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 1868 (2009)
- Coppin, K. E. K., I. Smail, D. M. Alexander, A. Weiss, F. Walter, A. M. Swinbank, T. R. Greve, A. Kovacs, C. De Breuck, M. Dickinson, E. Ibar, R. J. Ivison, N. Reddy, H. Spinrad, D. Stern, W. N. Brandt, S. C. Chapman, H. Dannerbauer, P. van Dokkum, J. S. Dunlop, D. Frayer, E. Gawiser, J. E. Geach, M. Huynh, K. K. Knudsen, A. M. Koekemoer, B. D. Lehmer, K. M. Menten, C. Papovich, H. W. Rix, E. Schinnerer, J. L. Wardlow and P. P. van der Werf: A submillimetre galaxy at $z = 4.76$ in the LABOCA survey of the Extended CHANDRA Deep Field-South. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 395, 1905-1914 (2009)
- Cresci, G., E. K. S. Hicks, R. Genzel, N. M. Förster Schreiber, R. Davies, N. Bouché, P. Buschkamp, S. Genel, K. Shapiro, L. Tacconi, J. Sommer-Larsen, A. Burkert, F. Eisenhauer, O. Gerhard, D. Lutz, T. Naab, A. Sternberg, A. Cimatti, E. Daddi, D. K. Erb, J. Kurk, S. L. Lilly, A. Renzini, A. Shapley, C. C. Steidel and K. Caputi: The SINS Survey: Modeling the dynamics of $z \sim 2$ galaxies and the high- z Tully-Fisher relation. *The Astrophysical Journal* 697, 115-132 (2009)
- Csizmadia, S., T. Borkovits, Z. Paragi, P. Ábrahám, L. Szabados, L. Mosoni, L. Sturmann, J. Sturmann, C. Farrington, H. A. Mc Alister, T. A. ten Brummelaar, N. H. Turner and P. Klagyivik: Interferometric observations of the hierarchical triple system Algol. *The Astrophysical Journal* 705, 436-445 (2009)
- Da Rio, N., D. A. Gouliermis and T. Henning: The complete initial mass function down to the subsolar regime in the Large Magellanic Cloud with HUBBLE Space Telescope ACS observations. *The Astrophysical Journal* 696, 528-545 (2009)

- Da Rio, N., M. Robberto, D. R. Soderblom, N. Panagia, L. A. Hillenbrand, F. Palla and K. Stassun: A multi-color optical survey of the Orion Nebula Cluster. I. The catalog. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 183, 261-277 (2009)
- Daddi, E., H. Dannerbauer, M. Krips, F. Walter, M. Dickinson, D. Elbaz and G. E. Morrison: A CO emission line from the optical and near-IR undetected submillimeter galaxy GN 10. *The Astrophysical Journal* 695, L176-L180 (2009)
- Daddi, E., H. Dannerbauer, D. Stern, M. Dickinson, G. Morrison, D. Elbaz, M. Giavalisco, C. Mancini, A. Pope and H. Spinrad: Two bright submillimeter galaxies in a $z = 4.05$ protocluster in GOODS-North, and accurate radio-infrared photometric redshifts. *The Astrophysical Journal* 694, 1517-1538 (2009)
- Daemgen, S., F. Hormuth, W. Brandner, C. Bergfors, M. Janson, S. Hippler and T. Henning: Binarity of transit host stars. Implications for planetary parameters. *Astronomy and Astrophysics* 498, 567-574 (2009)
- Dalcanton, J. J.: 18 years of science with the HUBBLE Space Telescope. *Nature* 457, 41-50 (2009)
- Dale, D. A., S. A. Cohen, L. C. Johnson, M. D. Schuster, D. Calzetti, C. W. Engelbracht, A. Gil de Paz, R. C. Kennicutt, J. C. Lee, A. Begum, M. Block, J. J. Dalcanton, J. G. Funes, K. D. Gordon, B. D. Johnson, A. R. Marble, S. Sakai, E. D. Skillman, L. van Zee, F. Walter, D. R. Weisz, B. Williams, S. Y. Wu and Y. Wu: The SPITZER Local Volume Legacy: survey description and infrared photometry. *The Astrophysical Journal* 703, 517-556 (2009)
- Dannerbauer, H., E. Daddi, D. A. Riechers, F. Walter, C. L. Carilli, M. Dickinson, D. Elbaz and G. E. Morrison: Low Milky-Way-like molecular gas excitation of massive disk galaxies at $z \sim 1.5$. *The Astrophysical Journal* 698, L178-L182 (2009)
- Davis, C. J., D. Froebrich, T. Stanke, S. T. Megeath, M. S. N. Kumar, A. Adamson, J. Eislöffel, R. Gredel, T. Khanzadyan, P. Lucas, M. D. Smith and W. P. Varricatt: A census of molecular hydrogen outflows and their sources along the Orion A molecular ridge. Characteristics and overall distribution. *Astronomy and Astrophysics* 496, 153-176 (2009)
- de Medeiros, J. R., J. Setiawan, A. P. Hatzes, L. Pasquini, L. Girardi, S. Udry, M. P. Döllinger and L. da Silva: A planet around the evolved intermediate-mass star HD 110014. *Astronomy and Astrophysics* 504, 617-623 (2009)
- di Folco, E., A. Dutrey, O. Chesneau, S. Wolf, A. Schegerer, C. Leinert and B. Lopez: The flared inner disk of the Herbig Ae star AB Aurigae revealed by VLTI/MIDI in the N-band. *Astronomy and Astrophysics* 500, 1065-1076 (2009)
- Diamond-Stanic, A. M., X. Fan, W. N. Brandt, O. Shemmer, M. A. Strauss, S. F. Anderson, C. L. Carilli, R. R. Gibson, L. Jiang, J. S. Kim, G. T. Richards, G. D. Schmidt, D. P. Schneider, Y. Shen, P. S. Smith, M. Vestergaard and J. E. Young: High-redshift SDSS quasars with weak emission lines. *The Astrophysical Journal* 699, 782-799 (2009)
- Dicken, D., C. Tadhunter, D. Axon, R. Morganti, K. J. Inskip, J. Holt, R. González Delgado and B. Groves: The origin of the infrared emission in radio galaxies. II. Analysis of mid- to far-infrared SPITZER observations of the 2Jy sample. *The Astrophysical Journal* 694, 268-285 (2009)
- Dong, X.-B., T.-G. Wang, J.-G. Wang, X. Fan, H. Wang, H. Zhou and W. Yuan: Eddington ratio governs the equivalent width of Mg II emission line in active galactic nuclei. *The Astrophysical Journal* 703, L1-L5 (2009)
- Dutton, A. A. and F. C. van den Bosch: The impact of feedback on disc galaxy scaling relations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 396, 141-164 (2009)
- Elbaz, D., K. Jahnke, E. Pantin, D. Le Borgne and G. Letawe: Quasar induced galaxy formation: a new paradigm? *Astronomy and Astrophysics* 507, 1359-1374 (2009)
- Elvis, M., F. Civano, C. Vignali, S. Puccetti, F. Fiore, N. Cappelluti, T. L. Aldcroft, A. Fruscione, G. Zamorani, A. Comastri, M. Brusa, R. Gilli, T. Miyaji, F. Damiani, A. M. Koekemoer, A. Finoguenov, H. Brunner, C. M. Urry, J. Silverman, V. Mainieri, G. Hasinger, R. Griffiths, M. Carollo, H. Hao, L. Guzzo, A. Blain, D. Calzetti, C. Carilli, P. Capak, S. Etori, G. Fabbiano, C. Impey, S. Lilly, B. Mobasher, M. Rich, M. Salvato, D. B. Sanders, E. Schinnerer, N. Scoville, P. Shopbell, J. E. Taylor, Y. Taniguchi and M. Volonteri: The CHANDRA COSMOS Survey. I. Overview and point source catalog. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 184, 158-171 (2009)
- Ernst, A., A. Just and R. Spurzem: On the dissolution of star clusters in the Galactic Centre – I. Circular orbits. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 399, 141-156 (2009)
- Fallscheer, C., H. Beuther, Q. Zhang, E. Keto and T. K. Sridharan: Rotational structure and outflow in the infrared dark cloud 18223-3. *Astronomy and Astrophysics* 504, 127-137 (2009)
- Fang, M., R. van Boekel, W. Wang, A. Carmona, A. Sicilia-Aguilar and T. Henning: Star and protoplanetary disk properties in Orion's suburbs. *Astronomy and Astrophysics* 504, 461-489 (2009)
- Federrath, C., R. S. Klessen and W. Schmidt: The fractal density structure in supersonic isothermal turbulence: solenoidal versus compressive energy injection. *The Astrophysical Journal* 692, 364-374 (2009)
- Fendt, C.: Formation of protostellar jets as two-component outflows from star-disk magnetospheres. *The Astrophysical Journal* 692, 346-363 (2009)
- Ferreras, I., T. Lisker, A. Pasquali and S. Kaviraj: Exploring the formation of spheroidal galaxies out to $z \sim 1.5$ in GOODS. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 395, 554-566 (2009)
- Ferreras, I., T. Lisker, A. Pasquali, S. Khochfar and S. Kaviraj: On the formation of massive galaxies: a simultaneous study of number density, size and intrinsic co-

- lour evolution in GOODS. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 396, 1573-1578 (2009)
- Ferreras, I., A. Pasquali, S. Malhotra, J. Rhoads, S. Cohen, R. Windhorst, N. Pirzkal, N. Grogan, A. M. Koekemoer, T. Lisker, N. Panagia, E. Daddi and N. P. Hathi: Early-type galaxies in the PEARS Survey: Probing the stellar populations at moderate redshift. *The Astrophysical Journal* 706, 158-169 (2009)
- Fiore, F., S. Puccetti, M. Brusa, M. Salvato, G. Zamorani, T. Aldcroft, H. Aussel, H. Brunner, P. Capak, N. Cappelluti, F. Civano, A. Comastri, M. Elvis, C. Feruglio, A. Finoguenov, A. Fruscione, R. Gilli, G. Hasinger, A. Koekemoer, J. Kartaltepe, O. Ilbert, C. Impey, E. LeFloc'h, S. Lilly, V. Mainieri, A. Martinez-Sansigre, H. J. McCracken, N. Menci, A. Merloni, T. Miyaji, D. B. Sanders, M. Sargent, E. Schinnerer, N. Scoville, J. Silverman, V. Smolcic, A. Steffen, P. Santini, Y. Taniguchi, D. Thompson, J. R. Trump, C. Vignali, M. Urry and L. Yan: Chasing highly obscured QSOs in the COSMOS field. *The Astrophysical Journal* 693, 447-462 (2009)
- Fontanot, F., G. De Lucia, P. Monaco, R. S. Somerville and P. Santini: The many manifestations of downsizing: hierarchical galaxy formation models confront observations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 397, 1776-1790 (2009)
- Fontanot, F., R. S. Somerville, L. Silva, P. Monaco and R. Skibba: Evaluating and improving semi-analytic modelling of dust in galaxies based on radiative transfer calculations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 392, 553-569 (2009)
- Forbrich, J., T. Stanke, R. Klein, T. Henning, K. M. Menten, K. Schreyer and B. Posselt: A multi-wavelength study of a double intermediate-mass protostar – from large-scale structure to collimated jets. *Astronomy and Astrophysics* 493, 547-556 (2009)
- Förster Schreiber, N. M., R. Genzel, N. Bouché, G. Cresci, R. Davies, P. Buschkamp, K. Shapiro, L. J. Tacconi, E. K. S. Hicks, S. Genel, A. E. Shapley, D. K. Erb, C. C. Steidel, D. Lutz, F. Eisenhauer, S. Gillessen, A. Sternberg, A. Renzini, A. Cimatti, E. Daddi, J. Kurk, S. Lilly, X. Kong, M. D. Lehnert, N. Nesvadba, A. Verma, H. McCracken, N. Arimoto, M. Mignoli and M. Onodera: The SINS Survey: SINFONI integral field spectroscopy of $z \sim 2$ star-forming galaxies. *The Astrophysical Journal* 706, 1364-1428 (2009)
- Freyer, D. T., D. B. Sanders, J. A. Surace, H. Aussel, M. Salvato, E. Le Floc'h, M. T. Huynh, N. Z. Scoville, A. Afonso-Luis, B. Bhattacharya, P. Capak, D. Fadda, H. Fu, G. Helou, O. Ilbert, J. S. Kartaltepe, A. M. Koekemoer, N. Lee, E. Murphy, M. T. Sargent, E. Schinnerer, K. Sheth, P. L. Shopbell, D. L. Shupe and L. Yan: SPITZER 70 and 160 μm observations of the COSMOS field. *The Astronomical Journal* 138, 1261-1270 (2009)
- Fuchs, B., C. Dettbarn, H.-W. Rix, T. C. Beers, D. Bizyaev, H. Brewington, H. Jahreiß, R. Klement, E. Malanushenko, V. Malanushenko, D. Oravetz, K. Pan, A. Simmons and S. Snedden: The kinematics of late-type stars in the solar cylinder studied with SDSS data. *The Astronomical Journal* 137, 4149-4159 (2009)
- Fujita, A., C. L. Martin, M.-M. Mac Low, K. C. B. New and R. Weaver: The origin and kinematics of cold gas in galactic winds: insight from numerical simulations. *The Astrophysical Journal* 698, 693-714 (2009)
- Gabor, J. M., C. D. Impey, K. Jahnke, B. D. Simmons, J. R. Trump, A. M. Koekemoer, M. Brusa, N. Cappelluti, E. Schinnerer, V. Smolcic, M. Salvato, J. D. Rhodes, B. Mobasher, P. Capak, R. Massey, A. Leauthaud and N. Scoville: Active galactic nucleus host galaxy morphologies in COSMOS. *The Astrophysical Journal* 691, 705-722 (2009)
- Gallazzi, A. and E. F. Bell: Stellar mass-to-light ratios from galaxy spectra: how accurate can they be? *The Astrophysical Journal Supplement Series* 185, 253-272 (2009)
- Gallazzi, A., E. F. Bell, C. Wolf, M. E. Gray, C. Papovich, M. Barden, C. Y. Peng, K. Meisenheimer, C. Heymans, E. van Kampen, R. Gilmour, M. Balogh, D. H. McIntosh, D. Bacon, F. D. Barazza, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, B. Häußler, K. Jahnke, S. Jogee, K. Lane, A. R. Robaina, S. F. Sanchez, A. Taylor, L. Wisotzki and X. Zheng: Obscured star formation in intermediate-density environments: a SPITZER study of the Abell 901/902 supercluster. *The Astrophysical Journal* 690, 1883-1900 (2009)
- García-Burillo, S., S. Fernández-García, F. Combes, L. K. Hunt, S. Haan, E. Schinnerer, F. Boone, M. Krips and I. Márquez: Molecular gas in NUClei of GALaxies (NUGA). XI. A complete gravity torque map of NGC 4579: new clues to bar evolution. *Astronomy and Astrophysics* 496, 85-105 (2009)
- Garrod, R. T., A. I. Vasyunin, D. A. Semenov, D. S. Wiebe and T. Henning: A new modified-rate approach for gas-grain chemistry: Comparison with a unified large-scale Monte Carlo simulation. *The Astrophysical Journal* 700, L43-L46 (2009)
- Geers, V. C., E. F. van Dishoeck, K. M. Pontoppidan, F. Lahuis, A. Crapsi, C. P. Dullemond and G. A. Blake: Lack of PAH emission toward low-mass embedded young stellar objects. *Astronomy and Astrophysics* 495, 837-846 (2009)
- Getman, K. V., E. D. Feigelson, K. L. Luhman, A. Sicilia-Aguilar, J. Wang and G. P. Garmire: Protoplanetary disk evolution around the triggered star-forming region Cepheus B. *The Astrophysical Journal* 699, 1454-1472 (2009)
- Gibson, D., R. Plume, E. Bergin, S. Ragan and N. Evans: Molecular line observations of infrared dark clouds. II. Physical conditions. *The Astrophysical Journal* 705, 123-134 (2009)
- Glauser, A. M., M. Güdel, D. M. Watson, T. Henning, A. A. Schegerer, S. Wolf, M. Audard and C. Baldovin-Saavedra: Dust amorphization in protoplanetary disks. *Astronomy and Astrophysics* 508, 247-257 (2009)
- Goldman, B., J. Pitann, M. R. Zapatero Osorio, C. A. L. Bailer-Jones, V. J. S. Béjar, J. A. Caballero and T.

- Henning: Polarisation of very-low-mass stars and brown dwarfs. I. VLT/FORS1 optical observations of field ultra-cool dwarfs. *Astronomy and Astrophysics* 502, 929-936 (2009)
- Gonidakis, I., E. Livanou, E. Kontizas, U. Klein, M. Kontizas, M. Belcheva, P. Tsalmantza and A. Karamelas: Structure of the SMC. Stellar component distribution from 2MASS data. *Astronomy and Astrophysics* 496, 375-380 (2009)
- Gorti, U., C. P. Dullemond and D. Hollenbach: Time evolution of viscous circumstellar disks due to photoevaporation by far-ultraviolet, extreme-ultraviolet, and X-ray radiation from the central star. *The Astrophysical Journal* 705, 1237-1251 (2009)
- Goto, M., T. Henning, A. Kouchi, H. Takami, Y. Hayano, T. Usuda, N. Takato, H. Terada, S. Oya, C. Jäger and A. C. Andersen: Spatially resolved 3 μ m spectroscopy of Elias 1: origin of diamonds in protoplanetary disks. *The Astrophysical Journal* 693, 610-616 (2009)
- Gouliermis, D. A., R. de Grijs and Y. Xin: A new diagnostic method for assessment of stellar stratification in star clusters. *The Astrophysical Journal* 692, 1678-1689 (2009)
- Grady, C. A., G. Schneider, M. L. Sitko, G. M. Williger, K. Hamaguchi, S. D. Brittain, K. Ablordeppey, D. Apai, L. Beerman, W. J. Carpenter, K. A. Collins, M. Fukagawa, H. B. Hammel, T. Henning, D. Hines, R. Kimes, D. K. Lynch, F. Ménard, R. Pearson, R. W. Russell, M. Silverstone, P. S. Smith, M. Troutman, D. Wilner, B. Woodgate and M. Clampin: Revealing the structure of a pre-transitional disk: the case of the Herbig F star SAO 206462 (HD 135344 B). *The Astrophysical Journal* 699, 1822-1842 (2009)
- Graham, J. F., A. S. Fruchter, A. J. Levan, A. Melandri, L. J. Kewley, E. M. Levesque, M. Nysewander, N. R. Tanvir, T. Dahlen, D. Bersier, K. Wiersema, D. G. Bonfield and A. Martinez-Sansigre: GRB 070714 B – Discovery of the highest spectroscopically confirmed short burst redshift. *The Astrophysical Journal* 698, 1620-1629 (2009)
- Gray, M. E., C. Wolf, M. Barden, C. Y. Peng, B. Häußler, E. F. Bell, D. H. McIntosh, Y. Guo, J. A. R. Caldwell, D. Bacon, M. Balogh, F. D. Barazza, A. Böhm, C. Heymans, K. Jahnke, S. Jogee, E. van Kampen, K. Lane, K. Meisenheimer, S. F. Sánchez, A. Taylor, L. Wisotzki, X. Zheng, D. A. Green, R. J. Beswick, D. J. Saikia, R. Gilmour, B. D. Johnson and C. Papovich: STAGES: the Space Telescope A901/2 Galaxy Evolution Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 393, 1275-1301 (2009)
- Grazian, A., N. Menci, E. Giallongo, S. Gallozzi, F. Fontanot, A. Fontana, V. Testa, R. Ragazzoni, A. Baruffolo, G. Beccari, E. Diolaiti, A. di Paola, J. Farinato, F. Gasparo, G. Gentile, R. Green, J. Hill, O. Kuhn, F. Pasian, F. Pedichini, M. Radovich, R. Smareglia, R. Speziali, D. Thompson and R. M. Wagner: Wide and deep near-UV (360 nm) galaxy counts and the extragalactic background light with the Large Binocular Camera. *Astronomy and Astrophysics* 505, 1041-1048 (2009)
- Greve, T. R., P. P. Papadopoulos, Y. Gao and S. J. E. Radford: Molecular gas in extreme star-forming environments: the starbursts Arp 220 and NGC 6240 as case studies. *The Astrophysical Journal* 692, 1432-1446 (2009)
- Grove, L. F., J. P. U. Fynbo, C. Ledoux, M. Limousin, P. Møller, K. K. Nilsson and B. Thomsen: The building the bridge survey for $z = 3$ Ly α emitting galaxies. II. Completion of the survey. *Astronomy and Astrophysics* 497, 689-702 (2009)
- Guo, Y., D. H. McIntosh, H. J. Mo, N. Katz, F. C. van den Bosch, M. Weinberg, S. M. Weinmann, A. Pasquali and X. Yang: Structural properties of central galaxies in groups and clusters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 1107 (2009)
- Haan, S., E. Schinnerer, E. Emsellem, S. García-Burillo, F. Combes, C. G. Mundell and H.-W. Rix: Dynamical evolution of AGN host galaxies – gas in/out-flow rates in seven NUGA galaxies. *The Astrophysical Journal* 692, 1623-1661 (2009)
- Hatch, N. A., R. A. Overzier, J. D. Kurk, G. K. Miley, H. J. A. Röttgering and A. W. Zirm: The growth and assembly of a massive galaxy at $z \sim 2$. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 395, 114-125 (2009)
- Hathi, N. P., I. Ferreras, A. Pasquali, S. Malhotra, J. E. Rhoads, N. Pirzkal, R. A. Windhorst and C. Xu: Stellar populations of late-type bulges at $z \sim 1$ in the HUBBLE Ultra Deep Field. *The Astrophysical Journal* 690, 1866-1882 (2009)
- Heiderman, A., S. Jogee, I. Marinova, E. van Kampen, M. Barden, C. Y. Peng, C. Heymans, M. E. Gray, E. F. Bell, D. Bacon, M. Balogh, F. D. Barazza, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, B. Häußler, K. Jahnke, K. Lane, D. H. McIntosh, K. Meisenheimer, S. F. Sánchez, R. S. Somerville, A. Taylor, L. Wisotzki, C. Wolf and X. Zheng: Interacting galaxies in the A901/902 supercluster with stages. *The Astrophysical Journal* 705, 1433-1455 (2009)
- Hennemann, M., S. M. Birkmann, O. Krause, D. Lemke, Y. Pavlyuchenkov, S. More and T. Henning: Star-forming cores embedded in a massive cold clump: fragmentation, collapse, and energetic outflows. *The Astrophysical Journal* 693, 1379-1391 (2009)
- Hormuth, F. and T. G. Müller: Catalogue of ISO LWS observations of asteroids. *Astronomy and Astrophysics* 497, 983-990 (2009)
- Jäger, C., F. Huisken, H. Mutschke, I. L. Jansa and T. Henning: Formation of polycyclic aromatic hydrocarbons and carbonaceous solids in gas-phase condensation experiments. *The Astrophysical Journal* 696, 706-712 (2009)
- Jahnke, K., A. Bongiorno, M. Brusa, P. Capak, N. Cappelluti, M. Cisternas, F. Civano, J. Colbert, A. Comastri, M. Elvis, G. Hasinger, O. Ilbert, C. Impey, K. Inskip, A. M. Koekemoer, S. Lilly, C. Maier, A. Merloni, D. Riechers, M. Salvato, E. Schinnerer, N. Z. Scoville, J. Silverman, Y. Taniguchi, J. R. Trump and L. Yan: Massive galaxies in COSMOS: evolution of black hole versus bulge mass but not versus total stellar mass over the last 9 Gyr? *The Astrophysical Journal* 706, L215-L220 (2009)

- Jahnke, K., D. Elbaz, E. Pantin, A. Böhm, L. Wisotzki, G. Letawe, V. Chantry and P.-O. Lagage: The QSO HE 0450-2958: scantily dressed or heavily robed? A normal quasar as part of an unusual ULIRG. *The Astrophysical Journal* 700, 1820-1830 (2009)
- Janson, M., D. Apai, M. Zechmeister, W. Brandner, M. Kürster, M. Kasper, S. Reffert, M. Endl, D. Lafrenière, K. Geißler, S. Hippler and T. Henning: Imaging search for the unseen companion to ϵ Ind A – improving the detection limits with 4 μ m observations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 399, 377-384 (2009)
- Jappsen, A.-K., R. S. Klessen, S. C. O. Glover and M.-M. MacLow: Star formation at very low metallicity. IV. Fragmentation does not depend on metallicity for cold initial conditions. *The Astrophysical Journal* 696, 1065-1074 (2009)
- Jappsen, A.-K., M.-M. M. Low, S. C. O. Glover, R. S. Klessen and S. Kitsionas: Star formation at very low metallicity. V. The greater importance of initial conditions compared to metallicity thresholds. *The Astrophysical Journal* 694, 1161-1170 (2009)
- Jester, S.: Erratum: Retardation magnification and the appearance of relativistic jets. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 397, 1711-1712 (2009)
- Jester, S. and H. Falcke: Science with a lunar low-frequency array: From the Dark Ages of the Universe to nearby exoplanets. *New Astronomy Review* 53, 1-26 (2009)
- Jiang, L., X. Fan, F. Bian, J. Annis, K. Chiu, S. Jester, H. Lin, R. H. Lupton, G. T. Richards, M. A. Strauss, V. Malanushenko, E. Malanushenko and D. P. Schneider: A survey of $z \sim 6$ quasars in the Sloan Digital Sky Survey deep stripe. II. Discovery of six quasars at $z_{AB} > 21$ mag. *The Astronomical Journal* 138, 305-311 (2009)
- Jin, S. and N. F. Martin: Inferring the dynamics of stellar streams via distance gradients. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 400, L43-L46 (2009)
- Jogee, S., S. H. Miller, K. Penner, R. E. Skelton, C. J. Conselice, R. S. Somerville, E. F. Bell, X. Z. Zheng, H.-W. Rix, A. R. Robaina, F. D. Barazza, M. Barden, A. Borch, S. V. W. Beckwith, J. A. R. Caldwell, C. Y. Peng, C. Heymans, D. H. McIntosh, B. Häußler, K. Jahnke, K. Meisenheimer, S. F. Sanchez, L. Wisotzki, C. Wolf and C. Papovich: History of galaxy interactions and their impact on star formation over the last 7 Gyr from GEMS. *The Astrophysical Journal* 697, 1971-1992 (2009)
- Johansen, A., A. Youdin and H. Klahr: Zonal flows and long-lived axisymmetric pressure bumps in magnetorotational turbulence. *The Astrophysical Journal* 697, 1269-1289 (2009)
- Juhász, A., T. Henning, J. Bouwman, C. P. Dullemond, I. Pascucci and D. Apai: Do we really know the dust? Systematics and uncertainties of the mid-infrared spectral analysis methods. *The Astrophysical Journal* 695, 1024-1041 (2009)
- Just, A., P. Berczik, M. I. Petrov and A. Ernst: Quantitative analysis of clumps in the tidal tails of star clusters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 392, 969-981 (2009)
- Juvela, M., K. Mattila, D. Lemke, U. Klaas, C. Leinert and C. Kiss: Determination of the cosmic far-infrared background level with the ISOPHOT instrument. *Astronomy and Astrophysics* 500, 763-768 (2009)
- Kainulainen, J., H. Beuther, T. Henning and R. Plume: Probing the evolution of molecular cloud structure. From quiescence to birth. *Astronomy and Astrophysics* 508, L35-L38 (2009)
- Kalirai, J. S., D. B. Zucker, P. Guhathakurta, M. Geha, A. Y. Kniazev, D. Martínez-Delgado, E. F. Bell, E. K. Grebel and K. M. Gilbert: The SPLASH Survey: A spectroscopic analysis of the metal-poor, low-luminosity M 31 dSph Satellite Andromeda X. *The Astrophysical Journal* 705, 1043-1055 (2009)
- Kasper, M., A. Burrows and W. Brandner: Testing the models: NIR imaging and spectroscopy of the benchmark T-dwarf binary ϵ Indi β . *The Astrophysical Journal* 695, 788-792 (2009)
- Kimm, T., R. S. Somerville, S. K. Yi, F. C. van den Bosch, S. Salim, F. Fontanot, P. Monaco, H. Mo, A. Pasquali, R. M. Rich and X. Yang: The correlation of star formation quenching with internal galaxy properties and environment. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 394, 1131-1147 (2009)
- Kitsionas, S., C. Federrath, R. S. Klessen, W. Schmidt, D. J. Price, L. J. Dursi, M. Gritschneider, S. Walch, R. Piontek, J. Kim, A. K. Jappsen, P. Ciecielag and M. M. Mac Low: Algorithmic comparisons of decaying, isothermal, supersonic turbulence. *Astronomy and Astrophysics* 508, 541-560 (2009)
- Klement, R., H. W. Rix, C. Flynn, B. Fuchs, T. C. Beers, C. Allende Prieto, D. Bizyaev, H. Brewington, Y. S. Lee, E. Malanushenko, V. Malanushenko, D. Oravetz, K. Pan, P. Re Fiorentin, A. Simmons and S. Snedden: Halo streams in the Seventh Sloan Digital Sky Survey data release. *The Astrophysical Journal* 698, 865-894 (2009)
- Kley, W., B. Bitsch and H. Klahr: Planet migration in three-dimensional radiative discs. *Astronomy and Astrophysics* 506, 971-987 (2009)
- Klöckner, H. R., A. Martínez-Sansigre, S. Rawlings and M. A. Garrett: High-redshift obscured quasars: radio emission at sub-kiloparsec scales. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 398, 176-188 (2009)
- Koposov, S. E., J. Yoo, H.-W. Rix, D. H. Weinberg, A. V. Macciò and J. M. Escudé: A quantitative explanation of the observed population of Milky Way satellite galaxies. *The Astrophysical Journal* 696, 2179-2194 (2009)
- Koppenhoefer, J., C. Afonso, R. P. Saglia and T. Henning: Investigating the potential of the Pan-Planets project using Monte Carlo simulations. *Astronomy and Astrophysics* 494, 707-717 (2009)
- Kümmel, M., J. R. Walsh, N. Pirzkal, H. Kuntschner and A. Pasquali: The slitless spectroscopy data extraction software. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 121, 59-72 (2009)
- Kun, M., Z. Balog, S. J. Kenyon, E. E. Mamajek and R. A. Gutermuth: Pre-main-sequence stars in the Cepheus flare

- region. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 185, 451-476 (2009)
- Kurk, J., A. Cimatti, G. Zamorani, C. Halliday, M. Mignoli, L. Pozzetti, E. Daddi, P. Rosati, M. Dickinson, M. Bolzonella, P. Cassata, A. Renzini, A. Franceschini, G. Rodighiero and S. Berta: GMASS ultra-deep spectroscopy of galaxies at $z \sim 2$. V. Witnessing the assembly at $z = 1.6$ of a galaxy cluster. *Astronomy and Astrophysics* 504, 331-346 (2009)
- Kurk, J. D., F. Walter, X. Fan, L. Jiang, S. Jester, H. W. Rix and D. A. Riechers: Near-infrared spectroscopy of SDSS J0303-0019: a low-luminosity, High-Eddington-Ratio quasar at $z \sim 6$. *The Astrophysical Journal* 702, 833-837 (2009)
- La Massa, S. M., T. M. Heckman, A. Ptak, A. Hornschemeier, L. Martins, P. Sonnentrucker and C. Tremonti: XMM-Newton observations of a complete sample of optically selected type 2 Seyfert galaxies. *The Astrophysical Journal* 705, 568-586 (2009)
- Labadie, L. and O. Wallner: Mid-infrared guided optics: a perspective for astronomical instruments. *Optics Express* 17, 1947-1962 (2009)
- Lang, D., D. W. Hogg, S. Jester and H.-W. Rix: Measuring the undetectable: proper motions and parallaxes of very faint sources. *The Astronomical Journal* 137, 4400-4411 (2009)
- Launhardt, R., Y. Pavlyuchenkov, F. Gueth, X. Chen, A. Dutrey, S. Guilloteau, T. Henning, V. Piétu, K. Schreyer and D. Semenov: Rotating molecular outflows: the young T Tauri star in CB 26. *Astronomy and Astrophysics* 494, 147-156 (2009)
- Lee, J. C., A. Gil de Paz, C. Tremonti, R. C. Kennicutt, S. Salim, M. Bothwell, D. Calzetti, J. Dalcanton, D. Dale, C. Engelbracht, S. J. J. G. Funes, B. Johnson, S. Sakai, E. Skillman, L. van Zee, F. Walter and D. Weisz: Comparison of H α and UV star formation rates in the local volume: systematic discrepancies for dwarf galaxies. *The Astrophysical Journal* 706, 599-613 (2009)
- Lemke, D.: The short history of infrared space telescopes. *Astronomische Nachrichten* 330, 562-567 (2009)
- Leroy, A. K., A. Bolatto, C. Bot, C. W. Engelbracht, K. Gordon, F. P. Israel, M. Rubio, K. Sandstrom and S. Stanimirovic: The structure of a low-metallicity giant molecular cloud complex. *The Astrophysical Journal* 702, 352-367 (2009)
- Leroy, A. K., F. Walter, F. Bigiel, A. Usero, A. Weiss, E. Brinks, W. J. G. de Blok, R. C. Kennicutt, K.-F. Schuster, C. Kramer, H. W. Wiesemeyer and H. Roussel: HERACLES: the HERA CO Line Extragalactic Survey. *The Astronomical Journal* 137, 4670-4696 (2009)
- Letarte, B., S. C. Chapman, M. Collins, R. A. Ibata, M. J. Irwin, A. M. N. Ferguson, G. F. Lewis, N. Martin, A. McConnachie and N. Tanvir: A Keck/DEIMOS spectroscopic survey of the faint M31 satellites AndXV and AndXVI. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 400, 1472-1478 (2009)
- Li, R., H. J. Mo, Z. Fan, M. Cacciato, F. C. van den Bosch, X. Yang and S. More: Modelling galaxy-galaxy weak lensing with Sloan Digital Sky Survey groups. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 394, 1016-1030 (2009)
- Linz, H., T. Henning, M. Feldt, I. Pascucci, R. van Boekel, A. Men'shchikov, B. Stecklum, O. Chesneau, T. Ratzka, S. P. Quanz, C. Leinert, L. B. F. M. Waters and H. Zinnecker: Mid-infrared interferometry of massive young stellar objects. I. VLTI and SUBARU observations of the enigmatic object M8E-IR. *Astronomy and Astrophysics* 505, 655-661 (2009)
- Lipari, S., M. Bergmann, S. F. Sanchez, B. Garcia-Lorenzo, R. Terlevich, E. Mediavilla, Y. Taniguchi, W. Zheng, B. Punsly, A. Ahumada and D. Merlo: Gemini 3D spectroscopy of BAL+IR+FeII QSOs – II. IRAS 04505-2958, an explosive QSO with hypershells and a new scenario for galaxy formation and galaxy end phase. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 398, 658-700 (2009)
- Lo Faro, B., P. Monaco, E. Vanzella, F. Fontanot, L. Silva and S. Cristiani: Faint Lyman-break galaxies as a crucial test for galaxy formation models. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 399, 827-841 (2009)
- Lyra, W., A. Johansen, H. Klahr and N. Piskunov: Standing on the shoulders of giants. Trojan Earths and vortex trapping in low mass self-gravitating protoplanetary disks of gas and solids. *Astronomy and Astrophysics* 493, 1125-1139 (2009)
- Lyra, W., A. Johansen, A. Zsom, H. Klahr and N. Piskunov: Planet formation bursts at the borders of the dead zone in 2D numerical simulations of circumstellar disks. *Astronomy and Astrophysics* 497, 869-888 (2009)
- Ma, L. B., T. Schmidt, O. Guillois and F. Huisken: Evolution of photoluminescence properties of Si_{1-x}Ge_x nanocrystals synthesized by laser-induced pyrolysis. *Applied Physics Letters* 95, 013115-1-3 (2009 online)
- Macciò, A. V., X. Kang and B. Moore: Central mass and luminosity of milky way satellites in the λ cold dark matter model. *The Astrophysical Journal* 692, L109-L112 (2009)
- Mackay, F. E., N. M. Elias, C. E. Jones and T. A. A. Sigut: Using optical/near-infrared interferometric polarimetry to place constraints on the disks surrounding Be stars. *The Astrophysical Journal* 704, 591-605 (2009)
- Mackey, A. D., A. M. N. Ferguson, M. J. Irwin, N. F. Martin, A. P. Huxor, N. R. Tanvir, S. C. Chapman, R. A. Ibata, G. F. Lewis and A. W. McConnachie: Deep Gemini/GMOS imaging of an extremely isolated globular cluster in the Local Group. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 533-546 (2009)
- Maier, C., S. J. Lilly, G. Zamorani, M. Scodeggio, F. Lamareille, T. Contini, M. T. Sargent, C. Scarlata, P. Oesch, C. M. Carollo, O. LeFèvre, A. Renzini, J. P. Kneib, V. Mainieri, S. Bardelli, M. Bolzonella, A. Bongiorno, K. Caputi, G. Coppia, O. Cucciati, S. de la Torre, L. de Ravel, P. Franzetti, B. Garilli, A. Iovino, P. Kampeczyk, C. Knobel, K. Kovac, J. F. LeBorgne, V.

- LeBrun, M. Mignoli, R. Pello, Y. Peng, E. P. Montero, E. Ricciardelli, J. D. Silverman, M. Tanaka, L. Tasca, L. Tresse, D. Vergani, E. Zucca, U. Abbas, D. Bottini, A. Cappi, P. Cassata, A. Cimatti, M. Fumana, L. Guzzo, C. Halliday, A. M. Koekemoer, A. Leauthaud, D. Maccagni, C. Marinoni, H. J. McCracken, P. Memeo, B. Meneux, C. Porciani, L. Pozzetti and R. Scaramella: The dependence of star formation activity on stellar mass surface density and Sersic index in z COSMOS galaxies at $0,5 < z < 0,9$ compared with SDSS galaxies at $0,04 < z < 0,08$. *The Astrophysical Journal* 694, 1099-1114 (2009)
- Maltby, D. T., A. Aragón-Salamanca, M. E. Gray, M. Barden, B. Häußler, C. Wolf, C. Y. Peng, K. Jahnke, D. H. McIntosh, A. Böhm and V. E. Kampen: The environmental dependence of the stellar-mass-size relation in STAGES galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (2009 online)
- Marengo, M., K. Stapelfeldt, M. W. Werner, J. L. Hora, G. G. Fazio, M. T. Schuster, J. C. Carson and S. T. Megeath: SPITZER/Infrared Array Camera limits to planetary companions of Fomalhaut and ϵ Eridani. *The Astrophysical Journal* 700, 1647-1657 (2009)
- Marinova, I., S. Jogee, A. Heiderman, F. D. Barazza, M. E. Gray, M. Barden, C. Wolf, C. Y. Peng, D. Bacon, M. Balogh, E. F. Bell, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, B. Häußler, C. Heymans, K. Jahnke, E. van Kampen, K. Lane, D. H. McIntosh, K. Meisenheimer, S. F. Sánchez, R. Somerville, A. Taylor, L. Wisotzki and X. Zheng: Barred galaxies in the Abell 901/2 supercluster with stages. *The Astrophysical Journal* 698, 1639-1658 (2009)
- Marquette, J. B., J. P. Beaulieu, J. R. Buchler, R. Szabó, P. Tisserand, S. Belghith, P. Fouqué, É. Lesquoy, A. Milsztajn, A. Schwarzenberg-Czerny, C. Afonso, J. N. Albert, J. Andersen, R. Ansari, É. Aubourg, P. Bareyre, X. Charlot, C. Coutures, R. Ferlet, J. F. Glicenstein, B. Goldman, A. Gould, D. Graff, M. Gros, J. Haïssinski, C. Hamadache, J. de Kat, L. Le Guillou, C. Loup, C. Magneville, É. Maurice, A. Maury, M. Moniez, N. Palanque-Delabrouille, O. Perdureau, Y. R. Rahal, J. Rich, M. Spiro and A. Vidal-Madjar: The beat Cepheids in the Magellanic Clouds: an analysis from the EROS-2 database. *Astronomy and Astrophysics* 495, 249-256 (2009)
- Martin, N. F., A. W. Mc Connachie, M. Irwin, L. M. Widrow, A. M. N. Ferguson, R. A. Ibata, J. Dubinski, A. Babul, S. Chapman, M. Fardal, G. F. Lewis, J. Navarro and R. M. Rich: PANDAS' CUBS: discovery of two new dwarf galaxies in the surroundings of the Andromeda and Triangulum galaxies. *The Astrophysical Journal* 705, 758-765 (2009)
- Martínez-Delgado, D., M. Pohlen, R. J. Gabany, S. R. Majewski, J. Peñarrubia and C. Palma: Discovery of a giant stellar tidal stream around the disk galaxy NGC 4013. *The Astrophysical Journal* 692, 955-963 (2009)
- Martínez-Sansigre, A., A. Karim, E. Schinnerer, A. Omont, D. J. B. Smith, J. Wu, G. J. Hill, H.-R. Klöckner, M. Lacy, S. Rawlings and C. J. Willott: Millimeter observations of a sample of high-redshift obscured quasars. *The Astrophysical Journal* 706, 184-202 (2009)
- Martínez-Sansigre, A. and A. M. Taylor: The cosmological consequence of an obscured Agn population on the radiation efficiency. *The Astrophysical Journal* 692, 964-972 (2009)
- Maturi, M. and C. Mignone: An optimal basis system for cosmology: data analysis and new parameterisation. *Astronomy and Astrophysics* 508, 45-51 (2009)
- McConnachie, A. W., M. J. Irwin, R. A. Ibata, J. Dubinski, L. M. Widrow, N. F. Martin, P. Côté, A. L. Dotter, J. F. Navarro, A. M. N. Ferguson, T. H. Puzia, G. F. Lewis, A. Babul, P. Barmby, O. Bienaymé, S. C. Chapman, R. Cockcroft, M. L. M. Collins, M. A. Fardal, W. E. Harris, A. Huxor, A. D. Mackey, J. Peñarrubia, R. M. Rich, H. B. Richer, A. Siebert, N. Tanvir, D. Valls-Gabaud and K. A. Venn: The remnants of galaxy formation from a panoramic survey of the region around M 31. *Nature* 461, 66-69 (2009)
- Meeus, G., A. Juhász, T. Henning, J. Bouwman, C. Chen, W. Lawson, D. Apai, I. Pascucci and A. Sicilia-Aguilar: MBM 12: young protoplanetary discs at high galactic latitude. *Astronomy and Astrophysics* 497, 379-392 (2009)
- Meijer, J., L. B. F. M. Waters, A. de Koter, M. Min, R. van Boekel, C. Dominik and C. P. Dullemond: Model infrared spectra of passively heated proto-planetary disks surrounding intermediate-mass pre-main-sequence stars. *Astronomy and Astrophysics* 496, 741-749 (2009)
- Meijerink, R., K. M. Pontoppidan, G. A. Blake, D. R. Poelman and C. P. Dullemond: Radiative transfer models of mid-infrared H_2O lines in the planet-forming region of circumstellar disks. *The Astrophysical Journal* 704, 1471-1481 (2009)
- Menut, J. L., O. Chesneau, E. Bakker, B. Lopez, G. Perrin, C. Leinert and A. Quirrenbach: Revisiting the optical interferometry observations of HR 4049. *Astronomy and Astrophysics* 496, 133-137 (2009)
- Mercer, E. P., J. M. Miller, N. Calvet, L. Hartmann, J. Hernandez, A. Sicilia-Aguilar and R. Gutermuth: CHANDRA and SPITZER observations reveal new YSOs in the heart of Trumpler 37. *The Astronomical Journal* 138, 7-18 (2009)
- Merten, J., M. Cacciato, M. Meneghetti, C. Mignone and M. Bartelmann: Combining weak and strong cluster lensing: applications to simulations and MS 2137. *Astronomy and Astrophysics* 500, 681-691 (2009)
- Min, M., C. P. Dullemond, C. Dominik, A. de Koter and J. W. Hovenier: Radiative transfer in very optically thick circumstellar disks. *Astronomy and Astrophysics* 497, 155-166 (2009)
- Mobasher, B., T. Dahlen, A. Hopkins, N. Z. Scoville, P. Capak, R. M. Rich, D. B. Sanders, E. Schinnerer, O. Ilbert, M. Salvato and K. Sheth: Relation between stellar mass and star-formation activity in galaxies. *The Astrophysical Journal* 690, 1074-1083 (2009)
- Moór, A., D. Apai, I. Pascucci, P. Ábrahám, C. Grady, T. Henning, A. Juhász, C. Kiss and Á. Kóspál: The disco-

- very of new warm debris disks around F-type stars. *The Astrophysical Journal* 700, L25-L29 (2009)
- Mordasini, C., Y. Alibert and W. Benz: Extrasolar planet population synthesis I. Method, formation tracks, and mass-distance distribution. *Astronomy and Astrophysics* 501, 1139-1160 (2009)
- Mordasini, C., Y. Alibert, W. Benz and D. Naef: Extrasolar planet population synthesis II. Statistical comparison with observations. *Astronomy and Astrophysics* 501, 1161-1184 (2009)
- More, A., J. P. McKean, S. More, R. W. Porcas, L. V. E. Koopmans and M. A. Garrett: The role of luminous substructure in the gravitational lens system MG 2016+112. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 394, 174-190 (2009)
- More, S., J. Bovy and D. W. Hogg: Cosmic transparency: A test with the Baryon acoustic feature and type Ia supernovae. *The Astrophysical Journal* 696, 1727-1732 (2009)
- More, S., F. C. van den Bosch and M. Cacciato: Satellite kinematics – I. A new method to constrain the halo mass-luminosity relation of central galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 392, 917-924 (2009)
- More, S., F. C. van den Bosch, M. Cacciato, H. J. Mo, X. Yang and R. Li: Satellite kinematics – II. The halo mass-luminosity relation of central galaxies in SDSS. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 392, 801-816 (2009)
- Muzerolle, J., K. Flaherty, Z. Balog, E. Furlan, P. S. Smith, L. Allen, N. Calvet, P. D'Alessio, S. T. Megeath, A. Muench, G. H. Rieke and W. H. Sherry: Evidence for dynamical changes in a transitional protoplanetary disk with mid-infrared variability. *The Astrophysical Journal* 704, L15-L19 (2009)
- Muzzin, A., G. Wilson, H. K. C. Yee, H. Hoekstra, D. Gilbank, J. Surace, M. Lacy, K. Blindert, S. Majumdar, R. Demarco, J. P. Gardner, M. Gladders and C. Lonsdale: Spectroscopic confirmation of two massive Red-sequence-selected galaxy clusters at $z \sim 1.2$ in the SPARCS-North Cluster Survey. *The Astrophysical Journal* 698, 1934-1942 (2009)
- Nesvadba, N. P. H., R. Neri, C. De Breuck, M. D. Lehnert, D. Downes, F. Walter, A. Omont, F. Boulanger and N. Seymour: CO line emission in the halo of a radio galaxy at $z \sim 2.6$. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 395, L16-L20 (2009)
- Neuhäuser, R., S. Krämer, M. Mugrauer, R. Köhler, T. O. B. Schmidt, M. Ammler-von Eiff, J. Alves, S. Fiedler and N. Vogt: Edge-on disk around the T Tauri star [MR 81] H α 17 NE in Corona Australis. *Astronomy and Astrophysics* 496, 777-786 (2009)
- Nilsson, K. K. and K. Meisenheimer: Understanding Ly α emitters. *New Astronomy Review* 53, 37-39 (2009)
- Nilsson, K. K., O. Möller-Nilsson, P. Möller, J. P. U. Fynbo and A. E. Shapley: On the dependence between UV luminosity and Ly α equivalent width in high-redshift galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 400, 232-237 (2009)
- Nilsson, K. K., C. Tapken, P. Möller, W. Freudling, J. P. U. Fynbo, K. Meisenheimer, P. Laursen and G. Östlin: Evolution in the properties of Lyman- α emitters from redshifts $z \sim 3$ to $z \sim 2$. *Astronomy and Astrophysics* 498, 13-23 (2009)
- Noll, S., D. Pierini, A. Cimatti, E. Daddi, J. D. Kurk, M. Bolzonella, P. Cassata, C. Halliday, M. Mignoli, L. Pozzetti, A. Renzini, S. Berta, M. Dickinson, A. Franceschini, G. Rodighiero, P. Rosati and G. Zamorani: GMASS ultradeep spectroscopy of galaxies at $z \sim 2$. IV. The variety of dust populations. *Astronomy and Astrophysics* 499, 69-85 (2009)
- Oberlaender, M., P. J. Broser, B. Sakmann and S. Hippler: Shack-Hartmann wave front measurements in cortical tissue for deconvolution of large three-dimensional mosaic transmitted light brightfield micrographs. *Journal of Microscopy-Oxford* 233, 275-289 (2009)
- Odenkirchen, M., E. K. Grebel, A. Kayser, H.-W. Rix and W. Dehnen: Kinematics of the tidal debris of the globular cluster Palomar 5. *The Astronomical Journal* 137, 3378-3387 (2009)
- Oliveira, I., B. Merín, K. M. Pontoppidan, E. F. van Dishoeck, R. A. Overzier, J. Hernández, A. Sicilia-Aguilar, C. Eiroa and B. Montesinos: Optical characterization of a new young stellar population in the Serpens molecular cloud. *The Astrophysical Journal* 691, 672-686 (2009)
- Olofsson, J., J. C. Augereau, E. F. van Dishoeck, B. Merín, F. Lahuis, J. Kessler-Silacci, C. P. Dullemond, I. Oliveira, G. A. Blake, A. C. A. Boogert, J. M. Brown, N. J. Evans, II, V. Geers, C. Knez, J. L. Monin and K. Pontoppidan: C2D SPITZER-IRS spectra of disks around T Tauri stars. IV. Crystalline silicates. *Astronomy and Astrophysics* 507, 327-345 (2009)
- Ormel, C. W., D. Paszun, C. Dominik and A. G. G. M. Tielens: Dust coagulation and fragmentation in molecular clouds. I. How collisions between dust aggregates alter the dust size distribution. *Astronomy and Astrophysics* 502, 845-869 (2009)
- Overzier, R. A., T. M. Heckman, C. Tremonti, L. Armus, A. Basu-Zych, T. Gonçalves, R. M. Rich, D. C. Martin, A. Ptak, D. Schiminovich, H. C. Ford, B. Madore and M. Seibert: Local Lyman break galaxy analogs: the impact of massive star-forming clumps on the interstellar medium and the global structure of young, forming galaxies. *The Astrophysical Journal* 706, 203-222 (2009)
- Pannella, M., C. L. Carilli, E. Daddi, H. J. McCracken, F. N. Owen, A. Renzini, V. Strazzullo, F. Civano, A. M. Koekemoer, E. Schinnerer, N. Scoville, V. Smolcic, Y. Taniguchi, H. Aussel, J. P. Kneib, O. Ilbert, Y. Mellier, M. Salvato, D. Thompson and C. J. Willott: Star formation and dust obscuration at $z = 2$: galaxies at the dawn of downsizing. *The Astrophysical Journal* 698, L116-L120 (2009)
- Pascucci, I., D. Apai, K. Luhman, T. Henning, J. Bouwman, M. R. Meyer, F. Lahuis and A. Natta: The different evolution of gas and dust in disks around Sun-like and cool stars. *The Astrophysical Journal* 696, 143-159 (2009)

- Pasetto, S. and C. Chiosi: Tidal effects on the spatial structure of the Local Group. *Astronomy and Astrophysics* 499, 385-394 (2009)
- Pasquali, A., F. C. van den Bosch, H. J. Mo, X. Yang and R. Somerville: The rise and fall of galaxy activity in dark matter haloes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 394, 38-50 (2009)
- Peñarrubia, J., J. F. Navarro, A. W. McConnachie and N. F. Martin: The signature of galactic tides in local group dwarf spheroidals. *The Astrophysical Journal* 698, 222-232 (2009)
- Petzold, A. and E. Pitz: The historical origin of the Pulfrich Effect: A serendipitous astronomic observation at the border of the Milky Way. *Neuro-Ophthalmology* 33, 39-46 (2009)
- Pinte, C., T. J. Harries, M. Min, A. M. Watson, C. P. Dullemond, P. Woitke, F. Ménard and M. C. Durán-Rojas: Benchmark problems for continuum radiative transfer. High optical depths, anisotropic scattering, and polarisation. *Astronomy and Astrophysics* 498, 967-980 (2009)
- Pon, A., R. Plume, R. K. Friesen, J. Di Francesco, B. Matthews and E. A. Bergin: Submillimeter observations of the quiescent core – Ophiuchus A-N6. *The Astrophysical Journal* 698, 1914-1923 (2009)
- Pontoppidan, K. M., R. Meijerink, C. P. Dullemond and G. A. Blake: A new raytracer for modeling AU-scale imaging of lines from protoplanetary disks. *The Astrophysical Journal* 704, 1482-1494 (2009)
- Raban, D., W. Jaffe, H. Röttgering, K. Meisenheimer and K. R. W. Tristram: Resolving the obscuring torus in NGC 1068 with the power of infrared interferometry: revealing the inner funnel of dust. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 394, 1325-1337 (2009)
- Ratzka, T., A. A. Schegerer, C. Leinert, P. Ábrahám, T. Henning, T. M. Herbst, R. Köhler, S. Wolf and H. Zinnecker: Spatially resolved mid-infrared observations of the triple system T Tauri. *Astronomy and Astrophysics* 502, 623-646 (2009)
- Rhoads, J. E., S. Malhotra, N. Pirzkal, M. Dickinson, S. Cohen, N. Grogan, N. Hathi, C. Xu, I. Ferreras, C. Gronwall, A. Koekemoer, M. Kümmel, G. Meurer, N. Panagia, A. Pasquali, R. Ryan, A. Straughn, J. Walsh, R. A. Windhorst and H.-J. Yan: Spectroscopic confirmation of faint Lyman break galaxies near redshift five in the HUBBLE Ultra Deep field. *The Astrophysical Journal* 697, 942-949 (2009)
- Riechers, D. A., F. Walter, F. Bertoldi, C. L. Carilli, M. Aravena, R. Neri, P. Cox, A. Weiß and K. M. Menten: Imaging atomic and highly excited molecular gas in a $z \sim 6.42$ quasar host galaxy: Copious fuel for an Eddington-limited starburst at the end of cosmic reionization. *The Astrophysical Journal* 703, 1338-1345 (2009)
- Riechers, D. A., F. Walter, C. L. Carilli and G. F. Lewis: Imaging the molecular gas in a $z = 3.9$ quasar host galaxy at 0".3 resolution: a central, sub-kiloparsec scale star formation reservoir in APM08279+5255. *The Astrophysical Journal* 690, 463-485 (2009)
- Robaina, A. R., E. F. Bell, R. E. Skelton, D. H. McIntosh, R. S. Somerville, X. Zheng, H.-W. Rix, D. Bacon, M. Balogh, F. D. Barazza, M. Barden, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, A. Gallazzi, M. E. Gray, B. Häussler, C. Heymans, K. Jahnke, S. Jogee, E. van Kampen, K. Lane, K. Meisenheimer, C. Papovich, C. Y. Peng, S. Sánchez, R. Skibba, A. Taylor, L. Wisotzki and C. Wolf: Less than 10 percent of star formation in $z \sim 0.6$ massive galaxies is triggered by major interactions. *The Astrophysical Journal* 704, 324-340 (2009)
- Roccatagliata, V., T. Henning, S. Wolf, J. Rodmann, S. Corder, J. M. Carpenter, M. R. Meyer and D. Dowell: Long-wavelength observations of debris discs around sun-like stars. *Astronomy and Astrophysics* 497, 409-421 (2009)
- Rodríguez-Ledesma, M. V., R. Mundt and J. Eisloffel: Rotational studies in the Orion Nebula Cluster: from solar mass stars to brown dwarfs. *Astronomy and Astrophysics* 502, 883-904 (2009)
- Rogers, B., I. Ferreras, S. Kaviraj, A. Pasquali and M. Sarzi: Star formation and nuclear activity in close pairs of early-type galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 399, 2172-2182 (2009)
- Rouillé, G., M. Arold, A. Staicu, T. Henning and F. Huisken: Cavity ring-down laser absorption spectroscopy of jet-cooled L-tryptophan. *The Journal of Physical Chemistry A* 113, 8187-8194 (2009)
- Rouillé, G., M. Steglich, F. Huisken, T. Henning and K. Müllen: UV/visible spectroscopy of matrix-isolated hexa-peri-hexabenzocoronene: Interacting electronic states and astrophysical context. *Journal of Chemical Physics* 131, 204311-1-204311-7 (2009 online)
- Ruhland, C., E. F. Bell, B. Häußler, E. N. Taylor, M. Barden and D. H. McIntosh: The evolution of the scatter of the cosmic average color-magnitude relation: demonstrating consistency with the ongoing formation of elliptical galaxies. *The Astrophysical Journal* 695, 1058-1069 (2009)
- Ryan, E. L., C. E. Woodward, A. Dipaolo, J. Farinato, E. Giallongo, R. Gredel, J. Hill, F. Pedichini, R. Pogge and R. Ragazzoni: The asteroid distribution in the ecliptic. *The Astronomical Journal* 137, 5134-5145 (2009)
- Salvato, M., G. Hasinger, O. Ilbert, G. Zamorani, M. Brusa, N. Z. Scoville, A. Rau, P. Capak, S. Arnouts, H. Aussel, M. Bolzonella, A. Buongiorno, N. Cappelluti, K. Caputi, F. Civano, R. Cook, M. Elvis, R. Gilli, K. Jahnke, J. S. Kartaltepe, C. D. Impey, F. Lamareille, E. LeFloch, S. Lilly, V. Mainieri, P. McCarthy, H. McCracken, M. Mignoli, B. Mobasher, T. Murayama, S. Sasaki, D. B. Sanders, D. Schiminovich, Y. Shioya, P. Shopbell, J. Silverman, V. Smolcic, J. Surace, Y. Taniguchi, D. Thompson, J. R. Trump, M. Urry and M. Zamojski: Photometric redshift and classification for the XMM-COSMOS sources. *The Astrophysical Journal* 690, 1250-1263 (2009)
- Santini, P., A. Fontana, A. Grazian, S. Salimbeni, F. Fiore, F. Fontanot, K. Boutsia, M. Castellano, S. Cristiani, C. de Santis, S. Gallozzi, E. Giallongo, N. Menci, M. Nonino,

- D. Paris, L. Pentericci and E. Vanzella: Star formation and mass assembly in high redshift galaxies. *Astronomy and Astrophysics* 504, 751-767 (2009)
- Sauter, J., S. Wolf, R. Launhardt, D. L. Padgett, K. R. Stapelfeldt, C. Pinte, G. Duchêne, F. Ménard, C. E. McCabe, K. Pontoppidan, M. Dunham, T. L. Bourke and J. H. Chen: The circumstellar disc in the Bok globule CB 26. Multi-wavelength observations and modelling of the dust disc and envelope. *Astronomy and Astrophysics* 505, 1167-1182 (2009)
- Schartmann, M., K. Meisenheimer, H. Klahr, M. Camenzind, S. Wolf and T. Henning: The effect of stellar feedback on the formation and evolution of gas and dust tori in AGN. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 393, 759-773 (2009)
- Scheegerer, A. A., S. Wolf, C. A. Hummel, S. P. Quanz and A. Richichi: Tracing the potential planet-forming regions around seven pre-main-sequence stars. *Astronomy and Astrophysics* 502, 367-U 427 (2009)
- Schmeja, S., D. A. Gouliermis and R. S. Klessen: The clustering behavior of pre-main-sequence stars in NGC 346 in the Small Magellanic Cloud. *The Astrophysical Journal* 694, 367-375 (2009)
- Schmidt, K. B., S. H. Hansen, J. H. An, L. L. R. Williams and A. V. Macciò: Dark matter angular momentum profile from the Jeans equation. *The Astrophysical Journal* 694, 893-901 (2009)
- Scholz, A., J. Eislöffel and R. Mundt: Long-term monitoring in IC 4665: fast rotation and weak variability in very low mass objects. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 400, 1548-1562 (2009)
- Schuller, F., K. M. Menten, Y. Contreras, F. Wyrowski, P. Schilke, L. Bronfman, T. Henning, C. M. Walmsley, H. Beuther, S. Bontemps, R. Cesaroni, L. Deharveng, G. Garay, F. Herpin, B. Lefloch, H. Linz, D. Mardones, V. Minier, S. Molinari, F. Motte, L. Å. Nyman, V. Reveret, C. Risacher, D. Russeil, N. Schneider, L. Testi, T. Troost, T. Vasyunina, M. Wienen, A. Zavagno, A. Kovacs, E. Kreysa, G. Siringo and A. Weiß: ATLASGAL – The APEX telescope large area survey of the galaxy at 870 μm . *Astronomy and Astrophysics* 504, 415-427 (2009)
- Seale, J. P., L. W. Looney, Y.-H. Chu, R. A. Gruendl, B. Brandl, C. H. Rosie Chen, W. Brandner and G. A. Blake: The evolution of massive young stellar objects in the Large Magellanic Cloud. I. Identification and spectral classification. *The Astrophysical Journal* 699, 150-167 (2009)
- Shioya, Y., Y. Taniguchi, S. S. Sasaki, T. Nagao, T. Murayama, T. Saito, Y. Ideue, A. Nakajima, K. Matsuoka, J. Trump, N. Z. Scoville, D. B. Sanders, B. Mobasher, H. Aussel, P. Capak, J. Kartaltepe, A. Koekemoer, C. Carilli, R. S. Ellis, B. Garilli, M. Giavalisco, M. G. Kitzbichler, C. Impey, O. LeFevre, E. Schinnerer and V. Smolcic: Erratum: »Photometric Properties of Ly α Emitters at $z = 4.86$ in the COSMOS 2 Square Degree Field« (2009, ApJ, 696, 546). *The Astrophysical Journal* 700, 899-900 (2009)
- Shioya, Y., Y. Taniguchi, S. S. Sasaki, T. Nagao, T. Murayama, T. Saito, Y. Ideue, A. Nakajima, K. Matsuoka, J. Trump, N. Z. Scoville, D. B. Sanders, B. Mobasher, H. Aussel, P. Capak, J. Kartaltepe, A. Koekemoer, C. Carilli, R. S. Ellis, B. Garilli, M. Giavalisco, M. G. Kitzbichler, C. Impey, O. LeFevre, E. Schinnerer and V. Smolcic: Photometric properties of Ly α emitters at $z = 4.86$ in the COSMOS 2 Square Degree Field. *The Astrophysical Journal* 696, 546-561 (2009)
- Sicilia-Aguilar, A., J. Bouwman, A. Juhász, T. Henning, V. Roccatagliata, W. A. Lawson, B. Acke, E. D. Feigelson, A. G. G. M. Tielens, L. Decin and G. Meeus: The long-lived disks in the η Chamaeleontis cluster. *The Astrophysical Journal* 701, 1188-1203 (2009)
- Silverman, J. D., K. Kovac, C. Knobel, S. Lilly, M. Bolzonella, F. Lamareille, V. Mainieri, M. Brusa, N. Cappelluti, Y. Peng, G. Hasinger, G. Zamorani, M. Scodeggio, T. Contini, C. M. Carollo, K. Jahnke, J. P. Kneib, O. LeFevre, S. Bardelli, A. Bongiorno, H. Brunner, K. Caputi, F. Civano, A. Comastri, G. Coppa, O. Cucciati, S. de la Torre, L. de Ravel, M. Elvis, A. Finoguenov, F. Fiore, P. Franzetti, B. Garilli, R. Gilli, R. Griffiths, A. Iovino, P. Kampczyk, A. Koekemoer, J. F. LeBorgne, V. LeBrun, C. Maier, M. Mignoli, R. Pello, E. Perez Montero, E. Ricciardelli, M. Tanaka, L. Tasca, L. Tresse, D. Vergani, C. Vignali, E. Zucca, D. Bottini, A. Cappi, P. Cassata, C. Marinoni, H. J. McCracken, P. Memeo, B. Meneux, P. Oesch, C. Porciani and M. Salvato: The environments of active galactic nuclei within the z COSMOS density field. *The Astrophysical Journal* 695, 171-182 (2009)
- Silverman, J. D., F. Lamareille, C. Maier, S. J. Lilly, V. Mainieri, M. Brusa, N. Cappelluti, G. Hasinger, G. Zamorani, M. Scodeggio, M. Bolzonella, T. Contini, C. M. Carollo, K. Jahnke, J. P. Kneib, O. LeFèvre, A. Merloni, S. Bardelli, A. Bongiorno, H. Brunner, K. Caputi, F. Civano, A. Comastri, G. Coppa, O. Cucciati, S. de la Torre, L. de Ravel, M. Elvis, A. Finoguenov, F. Fiore, P. Franzetti, B. Garilli, R. Gilli, A. Iovino, P. Kampczyk, C. Knobel, K. Kovac, J. F. LeBorgne, V. LeBrun, M. Mignoli, R. Pello, Y. Peng, E. P. Montero, E. Ricciardelli, M. Tanaka, L. Tasca, L. Tresse, D. Vergani, C. Vignali, E. Zucca, D. Bottini, A. Cappi, P. Cassata, M. Fumana, R. Griffiths, J. Kartaltepe, A. Koekemoer, C. Marinoni, H. J. McCracken, P. Memeo, B. Meneux, P. Oesch, C. Porciani and M. Salvato: Ongoing and co-evolving star formation in z COSMOS galaxies hosting active galactic nuclei. *The Astrophysical Journal* 696, 396-410 (2009)
- Simon, P., M. Hetterscheidt, C. Wolf, K. Meisenheimer, H. Hildebrandt, P. Schneider, M. Schirmer and T. Erben: Relative clustering and the joint halo occupation distribution of red sequence and blue-cloud galaxies in COMBO-17. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 398, 807-831 (2009)
- Sipos, N., P. Ábrahám, J. Acosta-Pulido, A. Juhász, Á. Kóspál, M. Kun, A. Moór and J. Setiawan: EX Lupi in

- quiescence. *Astronomy and Astrophysics* 507, 881-889 (2009)
- Skelton, R. E., E. F. Bell and R. S. Somerville: The effect of dry mergers on the color-magnitude relation of early-type galaxies. *The Astrophysical Journal* 699, L9-L12 (2009)
- Skelton, R. E., P. A. Woudt and R. C. Kraan-Korteweg: The Norma cluster (ACO 3627) – II. The near-infrared K_s -band luminosity function. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 396, 2367-2378 (2009)
- Skibba, R. A.: Central and satellite colours in galaxy groups: a comparison of the halo model and SDSS group catalogues. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 392, 1467-1474 (2009)
- Skibba, R. A., S. P. Bamford, R. C. Nichol, C. J. Lintott, D. Andreescu, E. M. Edmondson, P. Murray, M. J. Raddick, K. Schawinski, A. Slosar, A. S. Szalay, D. Thomas and J. Vandenberg: Galaxy Zoo: disentangling the environmental dependence of morphology and colour. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 399, 966-982 (2009)
- Skibba, R. A. and R. K. Sheth: A halo model of galaxy colours and clustering in the Sloan Digital Sky Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 392, 1080-1091 (2009)
- Smith, D. J. B., M. J. Jarvis, C. Simpson and A. Martínez-Sansigre: An 80-kpc $\text{Ly}\alpha$ halo around a high-redshift type-2 quasi-stellar object. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 393, 309-316 (2009)
- Smolcic, V., E. Schinnerer, G. Zamorani, E. F. Bell, M. Bondi, C. L. Carilli, P. Ciliegi, B. Mobasher, T. Paglione, M. Scodreggio and N. Scoville: The dust-unbiased cosmic star-formation history from the 20 CM VLA-COSMOS Survey. *The Astrophysical Journal* 690, 610-618 (2009)
- Smolcic, V., G. Zamorani, E. Schinnerer, S. Bardelli, M. Bondi, L. Bîrzan, C. L. Carilli, P. Ciliegi, M. Elvis, C. D. Impey, A. M. Koekemoer, A. Merloni, T. Paglione, M. Salvato, M. Scodreggio, N. Scoville and J. R. Trump: Cosmic evolution of radio selected active galactic nuclei in the COSMOS field. *The Astrophysical Journal* 696, 24-39 (2009)
- Sobral, D., P. N. Best, J. E. Geach, I. Smail, J. Kurk, M. Cirasuolo, M. Casali, R. J. Ivison, K. Coppin and G. B. Dalton: Bright $\text{Ly}\alpha$ emitters at $z \sim 9$: constraints on the LF from HiZELS. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 398, L68-L72 (2009)
- Sobral, D., P. N. Best, J. E. Geach, I. Smail, J. Kurk, M. Cirasuolo, M. Casali, R. J. Ivison, K. Coppin and G. B. Dalton: HiZELS: a high-redshift survey of H α emitters – II. The nature of star-forming galaxies at $z = 0.84$. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 398, 75-90 (2009)
- St-Louis, N., A. N. Chené, O. Schnurr and M. H. Nicol: A systematic search for corotating interaction regions in apparently single galactic Wolf-Rayet stars. I. Characterizing the variability. *The Astrophysical Journal* 698, 1951-1962 (2009)
- Straughn, A. N., N. Pirzkal, G. R. Meurer, S. H. Cohen, R. A. Windhorst, S. Malhotra, J. Rhoads, J. P. Gardner, N. P. Hathi, R. A. Jansen, N. Grogan, N. Panagia, S. di Serego Alighieri, C. Gronwall, J. Walsh, A. Pasquali and C. Xu: Emission-line galaxies from the HUBBLE Space Telescope Probing Evolution and Reionization Spectroscopically (PEARS) Grism Survey. I. The South Fields. *The Astronomical Journal* 138, 1022-1031 (2009)
- Stutz, A. M., G. H. Rieke, J. H. Bieging, Z. Balog, F. Heitsch, M. Kang, W. L. Peters, Y. L. Shirley and M. W. Werner: SPITZER and Heinrich Hertz Telescope observations of starless cores: masses and environments. *The Astrophysical Journal* 707, 137-166 (2009)
- Swain, M. R., G. Tinetti, G. Vasisht, P. Deroo, C. Griffith, J. Bouwman, P. Chen, Y. Yung, A. Burrows, L. R. Brown, J. Matthews, J. F. Rowe, R. Kuschnig and D. Angerhausen: Water, methane, and carbon dioxide present in the dayside spectrum of the exoplanet HD 209458b. *The Astrophysical Journal* 704, 1616-1621 (2009)
- Swain, M. R., G. Vasisht, G. Tinetti, J. Bouwman, P. Chen, Y. Yung, D. Deming and P. Deroo: Molecular signatures in the near-infrared dayside spectrum of HD 189733b. *The Astrophysical Journal Letters* 690, L114-L117 (2009)
- Swinyard, B., T. Nakagawa, P. Merken, P. Royer, T. Souverijns, B. Vandenbussche, C. Waelkens, P. Davis, J. Di Francesco, M. Halpern, M. Houde, D. Johnstone, G. Joncas, D. Naylor, R. Plume, D. Scott, A. Abergel, S. Bensammar, J. Braine, V. Buat, D. Burgarella, P. Cais, H. Dole, L. Duband, D. Elbaz, M. Gerin, M. Giard, J. Goicoechea, C. Joblin, A. Jones, J. P. Kneib, G. Lagache, S. Madden, R. Pons, F. Pajot, D. Rambaud, L. Ravera, I. Ristorcelli, L. Rodriguez, S. Vives, A. Zavagno, N. Geis, O. Krause, D. Lutz, A. Poglitsch, W. Raab, J. Stegmaier, E. Sturm, R. Tuffs, H. M. Lee, B.-C. Koo, M. Im, S. Pak, W. Han, J.-H. Park, U.-W. Nam, H. Jin, D.-H. Lee, I.-S. Yuk, S. Lee, Y. Aikawa, N. Arimoto, Y. Doi, K. Enya, M. Fukagawa, R. Furusho, S. Hasegawa, M. Hayashi, M. Honda Kanagawa, S. Ida, Imanishi, Masatoshi, S.-i. Inutsuka, H. Izumiura, H. Kamaya, H. Kaneda, T. Kasuga, H. Kataza, K. Kawabata, M. Kawada, H. Kawakita, T. Kii, J. Koda, T. Kodama, E. Kokubo, K. Komatsu, H. Matsuhara, T. Matsumoto, S. Matsuura, T. Miyata, M. H. Miyata, H. Nagata, T. Nagata, T. Nakajima, K. Naoto, R. Nishi, A. Noda, A. Okamoto, Y. K. Okamoto, K. Omukai, T. Onaka, T. Ootsubo, M. Ouchi, H. Saito, Y. Sato, S. Sako, T. Sekiguchi, H. Shibai, H. Sugita, K. Sugitani, H. Susa, T.-s. Pyo, M. Tamura, Y. Ueda, M. Ueno, T. Wada, J. i. Watanabe, T. Yamada, I. Yamamura, N. Yoshida, K. Yoshimi, Y. Yui, M. Benedettini, R. Cerulli, A. Di Giorgio, S. Molinari, R. Orfei, S. Pezzuto, L. Piazzo, P. Saraceno, L. Spinoglio, T. de Graauw, P. de Korte, F. Helmich, H. Hoevers, R. Huisman, R. Shipman, F. van der Tak, P. van der Werf, W. Wild, J. Acosta-Pulido, J. Cernicharo, J. Herreros, J. Martin-Pintado, F. Najarro, I. Perez-Fourmon, J. Ramon Pardo, F. Gomez, N. Castro Rodriguez, P. Ade, M. Barlow, D. Clements, M. Ferlet, H. Fraser, D. Griffin, M. Griffin, P. Hargrave, K. Isaak, R. Ivison, M. Mansour, J. Lianesse, P. Maukopf, D. Morozov, S. Oliver, A.

- Orlando, M. Page, C. Popescu, S. Serjeant, R. Sudiwala, D. Rigopoulou, I. Walker, G. White, S. Viti, B. Winter, J. Bock, M. Bradford, M. Harwit and W. Holmes: The space infrared telescope for cosmology and astrophysics: SPICA. A joint mission between JAXA and ESA. *Experimental Astronomy* 23, 193-219 (2009)
- Takami, H., M. Goto, W. Gaessler, Y. Hayano, M. Iye, Y. Kamata, T. Kanzawa, N. Kobayashi, Y. Minowa, S. Oya, T.-S. Pyo, D. Saint-Jacques, N. Takato, H. Terada, A. T. Tokunaga and T. Tsuji: Direct observation of the extended molecular atmosphere of α Ceti by differential spectral imaging with an adaptive optics system. *Publications of the Astronomical Society of Japan* 61, 623-627 (2009)
- Tamburro, D., H. W. Rix, A. K. Leroy, M. M. M. Low, F. Walter, R. C. Kennicutt, E. Brinks and W. J. G. de Blok: What is driving the H I velocity dispersion? *The Astronomical Journal* 137, 4424-4435 (2009)
- Taniguchi, Y., T. Murayama, N. Z. Scoville, S. S. Sasaki, T. Nagao, Y. Shioya, T. Saito, Y. Ideue, A. Nakajima, K. Matsuoka, D. B. Sanders, B. Mobasher, H. Aussel, P. Capak, M. Salvato, A. Koekemoer, C. Carilli, A. Cimatti, R. S. Ellis, B. Garilli, M. Giavalisco, O. Ilbert, C. D. Impey, M. G. Kitzbichler, O. LeFevre, H. J. McCracken, C. Scarlata, E. Schinnerer, V. Smolcic, S. Tribiano and J. R. Trump: HUBBLE Space Telescope/Advanced Camera for surveys morphology of Ly α emitters at redshift 5.7 in the COSMOS field. *The Astrophysical Journal* 701, 915-944 (2009)
- Taylor, E. N., M. Franx, P. G. van Dokkum, E. F. Bell, G. B. Brammer, G. Rudnick, S. Wuyts, E. Gawiser, P. Lira, C. M. Urry and H.-W. Rix: The rise of massive red galaxies: the color-magnitude and color-stellar mass diagrams for $z < 2$ from the Multiwavelength Survey by Yale-Chile. *The Astrophysical Journal* 694, 1171-1199 (2009)
- Taylor, E. N., M. Franx, P. G. van Dokkum, R. F. Quadri, E. Gawiser, E. F. Bell, L. F. Barrientos, G. A. Blanc, F. J. Castander, M. Damen, V. Gonzalez-Perez, P. B. Hall, D. Herrera, H. Hildebrandt, M. Kriek, I. Labbé, P. Lira, J. Maza, G. Rudnick, E. Treister, C. M. Urry, J. P. Willis and S. Wuyts: A public, K-selected, optical-to-near-infrared catalog of the Extended CHANDRA Deep Field South (ECDFS) from the Multiwavelength Survey by Yale-Chile (MUSYC). *The Astrophysical Journal Supplement Series* 183, 295-319 (2009)
- Thalmann, C., J. Carson, M. Janson, M. Goto, M. McElwain, S. Egner, M. Feldt, J. Hashimoto, Y. Hayano, T. Henning, K. W. Hodapp, R. Kandori, H. Klahr, T. Kudo, N. Kusakabe, C. Mordasini, J. I. Morino, H. Suto, R. Suzuki and M. Tamura: Discovery of the coldest imaged companion of a Sun-like star. *The Astrophysical Journal* 707, L123-L127 (2009)
- Trager, S. C. and R. S. Somerville: Probing recent star formation with absorption-line strengths in hierarchical models and observations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 395, 608-624 (2009)
- Tristram, K. R. W., D. Raban, K. Meisenheimer, W. Jaffe, H. Röttgering, L. Burtscher, W. D. Cotton, U. Graser, T. Henning, C. Leinert, B. Lopez, S. Morel, G. Perrin and M. Wittkowski: Parsec-scale dust distributions in Seyfert galaxies. Results of the MIDI AGN snapshot survey. *Astronomy and Astrophysics* 502, 67-84 (2009)
- Trump, J. R., C. D. Impey, M. Elvis, P. J. McCarthy, J. P. Huchra, M. Brusa, M. Salvato, P. Capak, N. Cappelluti, F. Civano, A. Comastri, J. Gabor, H. Hao, G. Hasinger, K. Jahnke, B. C. Kelly, S. J. Lilly, E. Schinnerer, N. Z. Scoville and V. Smolcic: The COSMOS active galactic nucleus spectroscopic survey. I. XMM-Newton counterparts. *The Astrophysical Journal* 696, 1195-1212 (2009)
- Trump, J. R., C. D. Impey, Y. Taniguchi, M. Brusa, F. Civano, M. Elvis, J. M. Gabor, K. Jahnke, B. C. Kelly, A. M. Koekemoer, T. Nagao, M. Salvato, Y. Shioya, P. Capak, J. P. Huchra, J. S. Kartaltepe, G. Lanzuisi, P. J. McCarthy, V. Mainieri and N. Z. Scoville: The nature of optically dull active galactic nuclei in COSMOS. *The Astrophysical Journal* 706, 797-809 (2009)
- Tsalmantza, P., M. Kontizas, B. Rocca-Volmerange, C. A. L. Bailer-Jones, E. Kontizas, I. Bellas-Velidis, E. Livanou, R. Korakitis, A. Dapergolas, A. Vallenari and M. Fioc: Towards a library of synthetic galaxy spectra and preliminary results of classification and parametrization of unresolved galaxies for GAIA. II. *Astronomy and Astrophysics* 504, 1071-1084 (2009)
- Vaidya, B., C. Fendt and H. Beuther: Accretion disks around massive stars: hydrodynamic structure, stability, and dust sublimation. *The Astrophysical Journal* 702, 567-579 (2009)
- van Boekel, R., M. Güdel, T. Henning, F. Lahuis and E. Pantin: An outflow origin of the [Ne II] emission in the T Tauri triplet. *Astronomy and Astrophysics* 497, 137-144 (2009)
- van der Plas, G., M. E. van den Ancker, B. Acke, A. Carmona, C. Dominik, D. Fedele and L. B. F. M. Waters: Evidence for CO depletion in the inner regions of gas-rich protoplanetary disks. *Astronomy and Astrophysics* 500, 1137-1141 (2009)
- van der Wel, A., E. F. Bell, F. C. van den Bosch, A. Gallazzi and H.-W. Rix: On the size and comoving mass density evolution of early-type galaxies. *The Astrophysical Journal* 698, 1232-1243 (2009)
- van der Wel, A., H.-W. Rix, B. P. Holden, E. F. Bell and A. R. Robaina: Major merging: the way to make a massive, passive galaxy. *The Astrophysical Journal* 706, L120-L123 (2009)
- Vasyunin, A. I., D. A. Semenov, D. S. Wiebe and T. Henning: A unified Monte Carlo treatment of gas-grain chemistry for large reaction networks. I. Testing validity of rate equations in molecular clouds. *The Astrophysical Journal* 691, 1459-1469 (2009)
- Vasyunina, T., H. Linz, T. Henning, B. Stecklum, S. Klose and L. Å. Nyman: Physical properties of Southern infrared dark clouds. *Astronomy and Astrophysics* 499, 149-161 (2009)
- Visser, R., E. F. van Dishoeck, S. D. Doty and C. P. Dullemond: The chemical history of molecules in cir-

- cumstellar disks. I. Ices. *Astronomy and Astrophysics* 495, 881-897 (2009)
- Voigt, F., G. H. Bauer and F. Huysen: Layer growth and connectivity calculations based on a stick-ball model: Application to silicon nanocrystals. *Journal of Applied Physics* 106, 4308 (2009)
- Walcher, C. J., P. Coelho, A. Gallazzi and S. Charlot: Differential stellar population models: how to reliably measure [Fe/H] and $[\alpha/\text{Fe}]$ in galaxies. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 398, L44-L48 (2009)
- Walter, F., D. Riechers, P. Cox, R. Neri, C. Carilli, F. Bertoldi, A. Weiss and R. Maiolino: A kiloparsec-scale hyper-starburst in a quasar host less than 1 gigayear after the Big Bang. *Nature* 457, 699-701 (2009)
- Walter, F., A. Weiß, D. A. Riechers, C. L. Carilli, F. Bertoldi, P. Cox and K. M. Menten: A sensitive search for [N II] $_{205\mu\text{m}}$ emission in a $z = 6.4$ quasar host galaxy. *The Astrophysical Journal* 691, L1-L4 (2009)
- Wang, H. and T. Henning: Herbig-Haro objects in the Lupus I and III molecular clouds. *The Astronomical Journal* 138, 1072-1081 (2009)
- Wang, H., H. J. Mo, Y. P. Jing, Y. Guo, F. C. van den Bosch and X. Yang: Reconstructing the cosmic density field with the distribution of dark matter haloes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 394, 398-414 (2009)
- Wang, Y., X. Yang, H. J. Mo, F. C. van den Bosch, N. Katz, A. Pasquali, D. H. McIntosh and S. M. Weinmann: The nature of red dwarf galaxies. *The Astrophysical Journal* 697, 247-257 (2009)
- Weidling, R., C. Güttler, J. Blum and F. Brauer: The physics of protoplanetary dust agglomerates. III. Compaction in multiple collisions. *The Astrophysical Journal* 696, 2036-2043 (2009)
- Weinmann, S. M., G. Kauffmann, F. C. van den Bosch, A. Pasquali, D. H. McIntosh, H. Mo, X. Yang and Y. Guo: Environmental effects on satellite galaxies: the link between concentration, size and colour profile. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 394, 1213-1228 (2009)
- Weiß, A., R. J. Ivison, D. Downes, F. Walter, M. Cirasuolo and K. M. Menten: First redshift determination of an optically/ultraviolet faint submillimeter galaxy using CO emission lines. *The Astrophysical Journal Letters* 705, L45-L47 (2009)
- Weiß, A., A. Kovács, K. Coppin, T. R. Greve, F. Walter, I. Smail, J. S. Dunlop, K. K. Knudsen, D. M. Alexander, F. Bertoldi, W. N. Brandt, S. C. Chapman, P. Cox, H. Dannerbauer, C. De Breuck, E. Gawiser, R. J. Ivison, D. Lutz, K. M. Menten, A. M. Koekemoer, E. Kreysa, P. Kurczynski, H. W. Rix, E. Schinnerer and P. P. van der Werf: The Large Apex Bolometer Camera Survey of the Extended CHANDRA Deep Field South. *The Astrophysical Journal* 707, 1201-1216 (2009)
- Weisz, D. R., E. D. Skillman, J. M. Cannon, A. E. Dolphin, R. C. Kennicutt, J. Lee and F. Walter: Does stellar feedback create H I holes? A HUBBLE Space Telescope/Very Large Array Study of Holmberg II. *The Astrophysical Journal* 704, 1538-1569 (2009)
- Weisz, D. R., E. D. Skillman, J. M. Cannon, F. Walter, E. Brinks, J. Ott and A. E. Dolphin: Triggered star formation and the creation of the supergiant H I shell in IC 2574. *The Astrophysical Journal* 691, L59-L62 (2009)
- Wilson, G., A. Muzzin, H. K. C. Yee, M. Lacy, J. Surace, D. Gilbank, K. Blindert, H. Hoekstra, S. Majumdar, R. Demarco, J. P. Gardner, M. D. Gladders and C. Lonsdale: Spectroscopic confirmation of a massive red-sequence-selected galaxy cluster at $z = 1.34$ in the SPARCS-South Cluster Survey. *The Astrophysical Journal* 698, 1943-1950 (2009)
- Wolf, C., A. Aragón-Salamanca, M. Balogh, M. Barden, E. F. Bell, M. E. Gray, C. Y. Peng, D. Bacon, F. D. Barazza, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, A. Gallazzi, B. Häußler, C. Heymans, K. Jahnke, S. Jogee, E. van Kampen, K. Lane, D. H. McIntosh, K. Meisenheimer, C. Papovich, S. F. Sánchez, A. Taylor, L. Wisotzki and X. Zheng: The STAGES view of red spirals and dusty red galaxies: mass-dependent quenching of star formation in cluster infall. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 393, 1302-1323 (2009)
- Xue, X.-X., H.-W. Rix and G. Zhao: The pairwise velocity difference of over 2000 BHB stars in the Milky Way halo. *Research in Astronomy and Astrophysics* 9, 1230-1240 (2009)
- Yang, X., H. J. Mo and F. C. van den Bosch: The subhalo-satellite connection and the fate of disrupted satellite galaxies. *The Astrophysical Journal* 693, 830-838 (2009)
- Yang, X., H. J. Mo and F. C. van den Bosch: Galaxy groups in the SDSS DR4. III. The luminosity and stellar mass functions. *The Astrophysical Journal* 695, 900-916 (2009)
- Yang, Y., A. Zabludoff, C. Tremonti, D. Eisenstein and R. Davä©: Extended Ly α nebulae at $z \approx 2.3$: an extremely rare and strongly clustered population? *The Astrophysical Journal* 693, 1579-1587 (2009)
- Yanny, B., H. J. Newberg, J. A. Johnson, Y. S. Lee, T. C. Beers, D. Bizyaev, H. Brewington, P. R. Fiorentin, P. Harding, E. Malanushenko, V. Malanushenko, D. Oravetz, K. Pan, A. Simmons and S. Snedden: Tracing Sagittarius structure with SDSS and SEGUE imaging and spectroscopy. *The Astrophysical Journal* 700, 1282-1298 (2009)
- Yanny, B., C. Rockosi, H. J. Newberg, G. R. Knapp, J. K. Adelman-McCarthy, B. Alcorn, S. Allam, C. Allende Prieto, D. An, K. S. J. Anderson, S. Anderson, C. A. L. Bailer-Jones, S. Bastian, T. C. Beers, E. Bell, V. Belokurov, D. Bizyaev, N. Blythe, J. J. Bochanski, W. N. Boroski, J. Brinchmann, J. Brinkmann, H. Brewington, L. Carey, K. M. Cudworth, M. Evans, N. W. Evans, E. Gates, B. T. Gänsicke, B. Gillespie, G. Gilmore, A. N. Gomez-Moran, E. K. Grebel, J. Greenwell, J. E. Gunn, C. Jordan, W. Jordan, P. Harding, H. Harris, J. S. Hendry, D. Holder, I. I. Ivans, Z. Ivezić, S. Jester, J. A. Johnson, S. M. Kent, S. Kleinman, A. Kniazev, J. Krzesinski, R.

- Kron, N. Kuropatkin, S. Lebedeva, Y. S. Lee, R. F. Leger, S. Lépine, S. Levine, H. Lin, D. C. Long, C. Loomis, R. Lupton, O. Malanushenko, V. Malanushenko, B. Margon, D. Martínez-Delgado, P. McGehee, D. Monet, H. L. Morrison, J. A. Munn, E. H. Neilsen, A. Nitta, J. E. Norris, D. Oravetz, R. Owen, N. Padmanabhan, K. Pan, R. S. Peterson, J. R. Pier, J. Platson, P. R. Fiorentin, G. T. Richards, H.-W. Rix, D. J. Schlegel, D. P. Schneider, M. R. Schreiber, A. Schwobe, V. Sibley, A. Simmons, S. A. Snedden, J. A. Smith, L. Stark, F. Stauffer, M. Steinmetz, C. Stoughton, M. Subba Rao, A. Szalay, P. Szkody, A. R. Thakar, S. Thirupathi, D. Tucker, A. Uomoto, D. Vanden Berk, S. Vidrih, Y. Wadadekar, S. Watters, R. Wilhelm, R. F. G. Wyse, J. Yarger and D. Zucker: SEGUE: a spectroscopic survey of 240 000 stars with $g = 14-20$. *The Astronomical Journal* 137, 4377-4399 (2009)
- Yip, C. W., A. J. Connolly, D. E. Vanden Berk, R. Scranton, S. Krughoff, A. S. Szalay, L. Dobos, C. Tremonti, M. Taghizadeh-Popp, T. Budavári, I. Csabai, R. F. G. Wyse and Z. Ivezic: Probing spectroscopic variability of galaxies and narrow-line active galactic nuclei in the Sloan Digital Sky Survey. *The Astronomical Journal* 137, 5120-5133 (2009)
- Zapata, L. A., K. Menten, M. Reid and H. Beuther: An extensive, sensitive search for SiO masers in high- and intermediate-mass star-forming regions. *The Astrophysical Journal* 691, 332-341 (2009)
- Zechmeister, M. and M. Kürster: The generalised Lomb-Scargle periodogram. A new formalism for the floating-mean and Keplerian periodograms. *Astronomy and Astrophysics* 496, 577-584 (2009)
- Zechmeister, M., M. Kürster and M. Endl: The M dwarf planet search programme at the ESO VLT + UVES. A search for terrestrial planets in the habitable zone of M dwarfs. *Astronomy and Astrophysics* 505, 859-871 (2009)
- Zheng, X. Z., E. F. Bell, R. S. Somerville, H.-W. Rix, K. Jahnke, F. Fontanot, G. H. Rieke, D. Schiminovich and K. Meisenheimer: Observational constraints on the co-evolution of supermassive black holes and galaxies. *The Astrophysical Journal* 707, 1566-1577 (2009)
- Zibetti, S., S. p. Charlot and H.-W. Rix: Resolved stellar mass maps of galaxies – I. Method and implications for global mass estimates. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 400, 1181-1198 (2009)
- Zibetti, S., D. Pierini and G. W. Pratt: Are fossil groups a challenge of the cold dark matter paradigm? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 392, 525-536 (2009)
- Henning, T.: Cosmic silicate dust. In: *Interstellar Dust from Astronomical Observations to Fundamental Studies*, (Eds.) Boulanger, F., C. Joblin, A. Jones, S. Madden. EAS Publications Series 35, EDP Sciences, 103-114 (2009)
- Steinacker, J.: Three dimensional continuum radiative transfer. In: *Jets From Young Stars V, Lecture Notes in Physics*, Vol. 791, (Eds.) Gracia, J., F. De Colle, T. Downes. Springer, Berlin 2009, 117-135

Beiträge zu Konferenzberichten und Sammelbänden

- Bagetakos, I., E. Brinks, F. Walter, W. J. G. de Blok, J. W. Rich, A. Usero and R. C. Kennicutt, Jr.: An inventory of supershells in nearby galaxies: first results from THINGS. In: *The Evolving ISM in the Milky Way and Nearby Galaxies*, (Eds.) Sheth, K., A. Noriega-Crespo, J. Ingalls, R. Paladini. (2009 online)
- Bailer-Jones, C. A. L.: What will GAIA tell us about the Galactic disk? In: *The Galaxy Disk in Cosmological Context*, (Eds.) Andersen, J., J. Bland-Hawthorn, B. Nordström. IAU Symp. 254, Cambridge Univ. Press, 475-482 (2009)
- Bakos, G., C. Afonso, T. Henning, A. Jordán, M. Holman, R. W. Noyes, P. D. Sackett, D. Sasselov, G. Kovács, Z. Csabry and A. Pál: HAT-South: a global network of Southern hemisphere automated telescopes to detect transiting exoplanets. In: *Transiting Planets*, (Eds.) Pont, F., D. Sasselov, M. Holman. IAU Symp. 253, Cambridge Univ. Press, 354-357 (2009)
- Berwein, J., F. Briegel, F. Kittmann, A. Pavlov and W. Gaessler: An engineering editor tool based on the SOA application framework of the LINC-NIRVANA LBT interferometer. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVIII*, (Eds.) Bohlender, D. A., D. Durand, P. Dowler. ASP Conf. Ser 411, ASP, 289-292 (2009)
- Bigiel, F., F. Walter, A. Leroy, E. Brinks, W. J. G. de Blok, B. Madore and M. D. Thornley: The star formation law on sub-kpc resolution in THINGS. In: *The Evolving ISM in the Milky Way and Nearby Galaxies*, (Eds.) Sheth, K., A. Noriega-Crespo, J. Ingalls, R. Paladini. 12 (2009 online)
- Bolatto, A. D., A. K. Leroy and F. Walter: Molecular Cloud Properties and Star Formation in Primitive Galaxies. *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica. Serie de Conferencias* 35, 289 (2009)
- Bot, C., M. Rubio, F. Boulanger, M. Albrecht, F. Bertoldi, A. D. Bolatto and A. K. Leroy: Tracing the cold molecular gas reservoir through dust emission in the SMC. In: *The Magellanic System: Stars, Gas, and Galaxies*, (Eds.) van Loon, J. T., J. M. Oliveira. IAU Symp. 256, Cambridge Univ. Press, 148-153 (2009)
- Boudreault, S. and C. A. L. Bailer-Jones: A constraint on brown dwarf formation via ejection: radial variation of the stellar and substellar mass function of the young open cluster IC 2391. In: *Cool Stars, Stellar Systems and*
- Eingeladene Beiträge und Reviews**
- Derekas, A., L. L. Kiss, T. R. Bedding, M. C. B. Ashley, B. Csák, A. Danos, J. M. Fernandez, G. Furész, S. Mészáros, G. M. Szabó, R. Szakáts, P. Székely and K. Szatmáry: Binarity and multiperiodicity in high-amplitude delta Scuti stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 394, 995-1008 (2009)

- the Sun, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 904-907 (2009)
- Brinks, E., F. Bigiel, A. Leroy, F. Walter, W. J. G. de Blok, I. Bagetakos, A. Usero and R. C. Kennicutt: HI in galactic disks. In: *The Galaxy Disk in Cosmological Context*, (Eds.) Andersen, J., J. Bland-Hawthorn, B. Nordström. IAU Symp. 254, Cambridge Univ. Press, 301-306 (2009)
- Brunner, G., R. Dufour, K. Sheth, L. Armus, S. Vogel, M. Wolfire and E. Schinnerer: Mapping the spatial distribution of H₂ in nearby galaxies with the SPITZER Infrared Spectrograph. In: *The Evolving ISM in the Milky Way and Nearby Galaxies*, (Eds.) Sheth, K., A. Noriega-Crespo, J. Ingalls, R. Paladini. 19 (2009 online)
- Cardoso, C. V., M. J. McCaughrean, R. R. King, L. M. Close, R. D. Scholz, R. Lenzen, W. Brandner, N. Lodieu and H. Zinnecker: Dynamical masses for the nearest brown dwarf binary: e Indi Ba, Bb. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 509-512 (2009)
- Carson, J., M. Marengo and B. Patten: A SPITZER IRAC direct imaging substellar companion search around 89 M, L, and T dwarf systems. In: *Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity*, (Eds.) Usuda, T., M. Tamura, M. Ishii. AIP Conference Proceedings 1158, AIP, Springer, 227-230 (2009)
- Carson, J. C.: The impact of transiting planet science on the next generation of direct-imaging planet searches. In: *Transiting Planets*, (Eds.) Pont, F., D. Sasselo, M. Holman. IAU Symp. 253, Cambridge Univ. Press, 556-559 (2009)
- Chizhik, A. M., T. Schmidt, A. I. Chizhik, F. Huisken and A. Meixner: Confocal microscopy and spectroscopy of defect photoluminescence in single SiO₂ nanoparticles. In: *Nanophotonic Materials VI*, (Eds.) Cabrini, S., T. Mokari. SPIE 7393, SPIE, 739305-739305-11 (2009)
- Collins, K. A., C. A. Grady, K. Hamaguchi, J. P. Wisniewski, S. Brittain, M. Sitko, W. J. Carpenter, J. P. Williams, G. S. Mathews, G. M. Williger, R. van Boekel, A. Carmona, M. E. van den Ancker, G. Meeus, X. P. Chen, R. Petre, B. E. Woodgate and T. Henning: HD 100453: an evolutionary link between protoplanetary disks and debris disks. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Series 1094, AIP, Springer, 409-411 (2009)
- Cusano, F., E. W. Guenther, M. Esposito, M. Mundt, E. Covino and J. M. Alcalà: Testing evolutionary tracks of Pre-Main Sequence stars: the case of HD 113449. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 788-791 (2009)
- Daemgen, S., F. Hormuth, M. Janson, W. Brandner, E. Meyer, S. Hippler and T. Henning: High-resolution imaging of transiting exoplanet host stars with AstraLux. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 433-436 (2009)
- de Jong, J. T. A., B. Yanny, H.-W. Rix, E. F. Bell and A. E. Dolphin: Mapping low-latitude stellar substructure with SEGUE photometry. In: *The Galaxy Disk in Cosmological Context*, (Eds.) Andersen, J., J. Bland-Hawthorn, B. Nordström. IAU Symp. 254, Cambridge Univ. Press, 121-126 (2009)
- Dzyurkevich, N., M. Flock and H. Klahr: 3D global MHD simulations of a proto-planetary disk: dead zone and large-scale magnetic fields. In: *Cosmic Magnetic Fields: From Planets, to Stars and Galaxies*, (Eds.) Strassmeier, K. G., A. G. Kosovichev, J. E. Beckman. IAU Symp. 259, Cambridge Univ. Press, 117-118 (2009)
- Eisenhauer, F., G. Perrin, W. Brandner, C. Straubmeier, A. Böhm, H. Baumeister, F. Cassaing, Y. Clénet, K. Dodds-Eden, A. Eckart, E. Gendron, R. Genzel, S. Gillessen, A. Gräter, C. Gueriau, N. Hamaus, X. Haubois, M. Haug, T. Henning, S. Hippler, R. Hofmann, F. Hormuth, K. Houairi, S. Kellner, P. Kervella, R. Klein, J. Kolmeder, W. Laun, P. Léna, R. Lenzen, M. Marteaude, V. Naranjo, U. Neumann, T. Paumard, S. Rabien, J. R. Ramos, J. M. Reess, R. R. Rohloff, D. Rouan, G. Rousset, B. Ruyet, A. Sevin, M. Thiel, J. Ziegler and D. Ziegler: GRAVITY: microarcsecond astrometry and deep interferometric imaging with the VLT. In: *Science with the VLT in the ELT Era*, (Ed.) Moorwood, A. F. M. Astrophysics and Space Science Proceedings, Springer, 361-368 (2009)
- Feldt, M.: Adaptive optics for the support of exoplanet observations. In: *Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity*, (Eds.) Usuda, T., M. Tamura, M. Ishii. AIP Conference Proceedings 1158, AIP, 277-284 (2009)
- Fendt, C.: Magnetohydrodynamic jets from different magnetic field configurations. In: *Protostellar Jets in Context*, (Eds.) Tsinganos, K., T. Ray, M. Stute. Astrophysics and Space Science Proceedings Series, Springer, 131-136 (2009)
- Geißler, K., M. R. Sterzik, G. Chauvin and E. Pantin: Mid-infrared imaging of brown dwarfs: is HD 130948 BC variable? In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 521-524 (2009)
- Gennaro, M., P. G. P. Moroni and S. Degl'Innocenti: Galactic DY/DZ from the analysis of solar neighborhood main sequence stars. In: *Probing Stellar Populations Out to the Distant Universe*, (Eds.) Giobbi, G., A. Tornambe, G. Raimondo, M. Limongi, L. A. Antonelli, N. Menci, E. Brocato. AIP Conference Proceedings 1111, AIP, Springer, 237-238 (2009)
- Goldman, B., J. Pitann, M. R. Z. Osorio, C. A. L. Bailer-Jones, V. S. Béjar, J. A. Caballero and T. Henning: Polarization of ultra-cool dwarfs. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 525-528 (2009)
- Goto, M.: How the inner disk communicates to the outer disk. In: *Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity*, (Eds.) Usuda, T., M. Tamura, M. Ishii. AIP Conference Proceedings 1158, AIP, 77-82 (2009)

- Goto, M.: Inner rim of a molecular disk resolved in infrared CO lines. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 381-384 (2009)
- Gouliermis, D. A.: The sub-solar initial mass function in the Large Magellanic Cloud. In: *The Magellanic System: Stars, Gas, and Galaxies*, (Eds.) van Loon, J. T., J. M. Oliveira. IAU Symp. 256, Cambridge Univ. Press, 250-255 (2009)
- Grady, C. A., G. Schneider, M. L. Sitko, G. M. Williger, K. Hamaguchi, S. D. Brittain, K. Ablordeppey, D. Apai, L. Beerman, W. J. Carpenter, K. A. Collins, M. Fukagawa, H. B. Hammel, T. Henning, D. Hines, R. Kimes, D. K. Lynch, R. Pearson, R. W. Russell, F. Ménard, M. Silverstone, P. Smith, M. Troutman, D. Wilner and B. Woodgate: The disk and environment of a young Altair analog: SAO 206462. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 385-388 (2009)
- G  del, M., S. L. Skinner, S. Cabrit, J. Eislöffel, C. Dougados, R. Gredel and K. R. Briggs: X-ray emission from young stellar jets. In: *Protostellar Jets in Context*, (Eds.) Tsinganos, K., T. Ray, M. Stute. Astrophysics and Space Science Proceedings Series, Springer, 347-352 (2009)
- Gutler, C., J. Blum, A. Zsom, C. W. Ormel and C. P. Dullemond: The first phase of protoplanetary dust growth: The bouncing barrier. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73, A482-A482 (2009)
- Hamilton, C. M., C. M. Johns-Krull, R. Mundt, W. Herbst and J. N. Winn: Probing the size of a magnetosphere of a young solar-like star. In: *Cosmic Magnetic Fields: From Planets, to Stars and Galaxies*, (Eds.) Strassmeier, K. G., A. G. Kosovichev, J. E. Beckman. IAU Symp. 259, Cambridge Univ. Press 413-414 (2009)
- Hippler, S., W. Brandner, T. Henning, B. R. Brandl, J. Blommaert, A. Glasse, L. Jolissaint, H. U. K  ufl, S. Kendrew, R. Lenzen, F. Molster, E. Pantin, R. Siebenmorgen, R. Stuick and L. Venema: Characterization of exoplanets and protoplanetary disks with the proposed E-ELT Instrument METIS. In: *Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity*, (Eds.) Usuda, T., M. Tamura, M. Ishii. AIP Conference Series 1158, AIP, 333-336 (2009)
- Hormuth, F., W. Brandner, M. Janson, S. Hippler and T. Henning: The AstraLux large M dwarf survey. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 935-938 (2009)
- Hormuth, F., J. Young, R. S. McMillan and B. G. Marsden: Comet C/2009 B2 (LINEAR). *International Astronomical Union Circular* 9016, 1 (2009)
- Huisken, F., C. Jäger, H. Mutschke and T. Henning: Gas-phase condensation of nanometer- and subnanometer-sized carbon grains and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Diamond and Related Materials* 18, 392-395 (2009)
- Huisken, F., G. Rouillé, M. Arold, A. Staicu and T. Henning: Electronic spectroscopy of biological molecules in supersonic jets: The amino acid tryptophan. In: *Rarified Gas Dynamic*, (Ed.) Abe, T. AIP Conference Proceedings 1084, AIP, 539-544 (2009)
- Jaffe, W., D. Raban, K. Meisenheimer, K. Tristram, C. Leinert and H. Röttgering: MIDI sees active galactic nuclei. In: *Science with the VLT in the ELT Era*, (Ed.) Moorwood, A. F. M. Astrophysics and Space Science Proceedings, Springer, 89-94 (2009)
- Janson, M.: 4-micron direct imaging searches for planets around ϵ Eri and ϵ Ind. In: *Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity*, (Eds.) Usuda, T., M. Tamura, M. Ishii. AIP Conference Series 1158, AIP, 223-226 (2009)
- Joergens, V.: Where lies the peak of the brown dwarf binary separation distribution? In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 840-843 (2009)
- Joshi, N., A. Reiners and B. Goldman: Chromospheric activity in late-type stars. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 668-671 (2009)
- Kandori, R., M. Tamura, J. Morino, M. Ishii, R. Suzuki, J. Hashimoto, N. Kusakabe, N. Narita, B. Sato, T. Yamada, K. Enya, M. Goto, J. Carson, C. Thalmann, M. McElwain, A. Moro-Martin, J. Knapp and E. L. Turner: Selection of nearby star targets for the SUBARU Strategic Exploration of Exoplanets and Disks. In: *Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity*, (Eds.) Usuda, T., M. Tamura, M. Ishii. AIP Conference Proceedings 1158, AIP, 251-252 (2009)
- Kittmann, F., F. Briegel, J. Berwein and W. Gaessler: IDL-based AO control software for laboratory tests. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVIII* (Eds.) Bohlender, D. A., D. Durand, P. Dowler. ASP Conf. Ser 411, ASP, 326-329 (2009)
- Klein, R., H. Linz, J. Forbrich, L. Looney and T. Henning: MIPS photometry and spectroscopy of protoclusters. In: *The evolving ISM in the Milky Way and nearby galaxies*, (Eds.) Sheth, K., A. Noriega-Crespo, J. Ingalls, R. Paladini. 33 (2009 online)
- Krause, O., F. M  ller and S. Scheithauer: Wheel Mechanisms of the Mid-Infrared Instrument aboard the James Webb Space Telescope Performance of the flight models. In: *Proceedings of the 13th European Space Mechanisms and Tribology Symposium*, (Ed.) Lacoste, H. ESA SP-670, ESA Communication Production Office, n.n. (2009)
- Kuiper, R., M. Flock and H. Klahr: Radiative magneto-hydrodynamics in massive star formation and accretion disks. In: *Cosmic Magnetic Fields: From Planets, to Stars and Galaxies*, (Eds.) Strassmeier, K. G., A. G. Kosovichev, J. E. Beckman. IAU Symp. 259, Cambridge Univ. Press, 103-104 (2009)
- Kürster, M., M. Zechmeister and M. Endl: The M dwarf planet search program with the VLT+UVES. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 457-460 (2009)

- Labadie, L., T. M. Herbst, S. Egner, M. Brix and M. Kürster: Which synergies between LBT/LINC-NIRVANA and future ELTs? In: *Science with the VLT in the ELT Era*, (Ed.) Moorwood, A. Astrophysics and Space Science Proceedings, Springer, 273-277 (2009)
- Leroy, A. K., A. D. Bolatto, E. Rosolowsky, S. Stanimirovic, N. Mizuno, C. Bot, F. Israel, F. Walter and L. Blitz: The state of molecular gas in the Small Magellanic Cloud. In: *The Magellanic System: Stars, Gas, and Galaxies*, (Eds.) van Loon, J. T., J. M. Oliveira. IAU Symp. 256, Cambridge Univ. Press, 154-159 (2009)
- Lopez, B., S. Lagarde, S. Wolf, W. Jaffe, G. Weigelt, P. Antonelli, P. Abraham, J. C. Augereau, U. Beckman, J. Behrend, N. Berruyer, Y. Bresson, O. Chesneau, J. M. Clausse, C. Connot, W. C. Danchi, M. Delbo, K. Demyk, A. Domiciano, M. Dugué, A. Glazenberg, U. Graser, H. Hanenburg, T. Henning, M. Heininger, K. H. Hofmann, Y. Hugues, S. Jankov, S. Kraus, W. Laun, C. Leinert, H. Linz, A. Matter, P. Mathias, K. Meisenheimer, J. L. Menut, F. Millour, L. Mosoni, U. Neumann, A. Niedzielski, E. Nussbaum, R. Petrov, T. Ratzka, S. Robbe-Dubois, A. Roussel, D. Schertl, F. X. Schmider, B. Stecklum, E. Thiebaut, F. Vakili, K. Wagner, L. B. F. M. Waters, O. Absil, J. Hron, N. Nardetto, J. Olofsson, B. Valat, M. Vannier, B. Goldman, S. Hönig and W. D. Cotton: Matisse. In: *Science with the VLT in the ELT Era*, (Ed.) Moorwood, A. Astrophysics and Space Science Proceedings, Springer Netherlands, 353-357 (2009)
- Meisenheimer, K.: VLTI and beyond: the next steps in AGN research with interferometers. In: *Science with the VLT in the ELT Era*, (Ed.) Moorwood, A. Astrophysics and Space Science Proceedings, Springer, 507-512 (2009)
- Meyer, E. and M. Kürster: Deriving the true mass of a brown dwarf companion by AO aided astrometry. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 549-552 (2009)
- Minniti, D., P. Lucas, A. V. Ahumada, M. Zoccali, M. Catelan, L. Morelli, C. Tappert, G. Pignata, I. Toledo, M. T. Ruiz, G. Carraro, S. Casassus, L. Bronfman, R. H. Barbá, R. Gamen, W. Gieren, D. Geisler, G. Pietrzynski, R. E. Mennickent, R. Kurtev, J. Borissova, F. Mirabel, V. D. Ivanov, I. Saviane, L. Vanzi, L. Monaco, M. Rejkuba, M. Messineo, L. Bedin, A. Stephens, B. Barbuy, E. Bica, J. J. Clariá, J. Emerson, J. Drew, M. López-Corredora, E. Martin, B. Goldman, T. Gianinni, J. Eisloffel, P. Groot, J. Fabregat, N. Hambly, A. Longmore, N. Walton, R. de Grijs, M. Hoare, A. Schroeder, T. Naylor, M. Barlow, A. Zijlstra, G. White, A. Gosling, K. McGowan, A. Adamson, R. Bandyopadhyay, M. Thompson, M. Cropper, J. Lucey, E. Kerins, S. Hodgkin and D. Pinfield: VISTA Milky Way Public Survey. *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica. Serie de Conferencias* 35, 263-264 (2009)
- Monaco, P., F. Fontanot, B. Lo Faro, G. De Lucia, E. Vanzella, R. Somerville, S. Cristiani, L. Silva and P. Santini: Modeling multi-wavelength properties of high redshift galaxies. In: *Probing Stellar Populations Out to the Distant Universe*, (Eds.) Giobbi, G., A. Tornambe, G. Raimondo, M. Limongi, L. A. Antonelli, N. Menci, E. Brocato. AIP Conference Proceedings 1111, Springer, 48-51 (2009)
- Mouillet, D., J. L. Beuzit, M. Feldt, K. Dohlen, P. Puget, F. Wildi, A. Boccaletti, T. Henning, C. Moutou, H. M. Schmid, M. Turatto, S. Udry, F. Vakili, R. Waters, A. Baruffolo, J. Charton, R. Claudi, T. Fusco, R. Gratton, N. Hubin, M. Kasper, M. Langlois, J. Pragt, R. Roelfsema and M. Saisse: SPHERE: a 'Planet Finder' Instrument for the VLT. In: *Science with the VLT in the ELT Era*, (Ed.) Moorwood, A. Astrophysics and Space Science Proceedings, Springer Netherlands, 337-341 (2009)
- Niemczura, E., F. Rodler and A. Müller: Atmospheric parameters and chemical composition of β Cephei stars in the open cluster NGC 3293. In: *Proceedings of the 38th LIAC/HELAS-ESTA/BAG Evolution and Pulsation of Massive Stars on the Main Sequence and Close to it*, (Eds.) Noels, A., C. Aerts, J. Montalbán, A. Miglio, M. Briquet. *Communications in Asteroseismology* 158, OAW, 146-150 (2009)
- Osorio, M. R. Z., V. J. S. Béjar, B. Goldman, R. Rebolo, G. Bihain and H. Bouy: Search for wide, ultracool companions of nearby T dwarfs. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. American Institute of Physics Conference Series 1094, AIP, Springer, 576-579 (2009)
- Pannella, M., C. L. Carilli, E. Daddi, H. J. Mc Cracken, F. Owen, A. Renzini, E. Schinnerer and V. Smolcic: Star formation and dust obscuration at ~ 2 . In: *Probing Stellar Populations Out to the Distant Universe*, (Eds.) Giobbi, G., A. Tornambe, G. Raimondo, M. Limongi, L. A. Antonelli, N. Menci, E. Brocato. AIP Conference Proceedings 1111, AIP, Springer, 203-206 (2009)
- Ratzka, T., C. Leinert, R. van Boekel and A. A. Schegerer: Mid-infrared interferometric observations of young circumstellar discs. In: *Science with the VLT in the ELT Era*, (Ed.) Moorwood, A. F. M. Astrophysics and Space Science Proceedings, Springer, 101 (2009)
- Re Fiorentin, P., C. A. Bailer-Jones, T. C. Beers, T. Zwitter, Y. S. Lee and X. Xue: Toward constraints on galaxy formation scenarios: Stellar properties from Galactic surveys. In: *The Galaxy Disk in Cosmological Context*, (Eds.) Andersen, J., J. Bland-Hawthorn, B. Nordström. IAU Symp. 254, Cambridge Univ. Press, 101-108 (2009)
- Rodríguez-Ledesma, M. V., R. Mundt, J. Eisloffel and W. Herbst: Rotational studies of very low mass stars and brown dwarfs in the Orion Nebula Cluster. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 118-123 (2009)
- Rogers, B., I. Ferreras, A. Pasquali and O. Lahav: PCA and the stellar populations of elliptical galaxies. In: *Probing Stellar Populations Out to the Distant Universe*, (Eds.) Giobbi, G., A. Tornambe, G. Raimondo, M. Limongi, L. A. Antonelli, N. Menci, E. Brocato. AIP Conference Proceedings 1111, AIP, Springer, 187-190 (2009)

- Sabbi, E., A. Nota, J. S. Gallagher, M. Tosi, L. R. Carlson, M. Sirianni, M. Meixner, L. J. Smith, M. S. Oey, R. Walterbos, A. Pasquali and L. Angeretti: Star formation in the Small Magellanic Cloud: the youngest star clusters. *Astrophysics and Space Science* 324, 101-107 (2009)
- Sandstrom, K., A. Bolatto, S. Stanimirovic, J. D. Smith, J. D. Simon and A. Leroy: S⁴MC observations of dust in the Small Magellanic Cloud Supernova remnant 1E 0102.2-7219. In: *The Evolving ISM in the Milky Way and Nearby Galaxies*, (Eds.) Sheth, K., A. Noriega-Crespo, J. Ingalls, R. Paladini. 58 (2009 online)
- Sandstrom, K. M., A. D. Bolatto, S. Stanimirovic, J. D. T. Smith, J. T. van Loon and A. K. Leroy: The SPITZER spectroscopic survey of the Small Magellanic Cloud: polycyclic aromatic hydrocarbon emission from SMC star-forming regions. In: *The Magellanic System: Stars, Gas, and Galaxies*, (Eds.) van Loon, J. T., J. M. Oliveira. IAU Symp. 256, Cambridge Univ. Press, 160-165 (2009)
- Schreiber, J., E. Wieprecht, J. de Jong, M. Wetzstein, J. Jacobson, R. Huygen, P. Appleton, J. Bouwman, A. Contursi, D. Fadda, C. Jean, U. Klaas, P. Royer and B. Vandenbussche: The HERSCHEL/PACS Spectrometer Pipeline. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVIII*, (Eds.) Bohlender, D. A., D. Durand, P. Dowler. ASP Conf. Ser. 411, ASP, 478-481 (2009)
- Shi, Y., P. Ogle, G. H. Rieke, R. Antonucci, D. C. Hines, P. S. Smith, F. J. Low, J. Bouwman and C. Willmer: Aromatic features in AGNs: star-forming infrared luminosity function of AGN host galaxies. In: *The Starburst-AGN Connection*, (Eds.) Wang, W., Z. Yang, Z. Luo, Z. Chen. ASP Conf. Ser. 408, ASP, 209-213 (2009)
- Sicilia-Aguilar, A., T. Henning, A. Juhász, J. Bouwman, L. Hartmann and D. Watson: Evolution and Dispersal of Protoplanetary Disks. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 23-28 (2009)
- Smolčić, V., G. Zamorani, E. Schinnerer, V.-C. The and C. Cosmos: A radio view of the sky: the cosmic history of star-forming and AGN galaxies. In: *The Starburst-AGN Connection*, (Eds.) Wang, W., Z. Yang, Z. Luo, Z. Chen. ASP Conf. Ser. 408, ASP, 116-120 (2009)
- Stecklum, B., A. Caratti O Garatti, C. Davis, H. Linz, T. Stanke and H. Zinnecker: Verification of candidate protostellar outflows in GLIMPSE. In: *Protostellar Jets in Context*, (Eds.) Tsinganos, K., T. Ray, M. Stute. *Astrophysics and Space Science Proceedings Series*, Springer, 619-621 (2009)
- Steinacker, J.: Radiative transfer modeling of complex dusty structures. In: *Interstellar Dust from Astronomical Observations to Fundamental Studies*, (Eds.) Boulanger, F., C. Joblin, A. Jones, S. Madden. EAS Publications Series 35, EDP Sciences, 289-307 (2009)
- Stolte, A., A. Ghez, M. Morris, J. Lu, W. Brandner and K. Matthews: The orbital motion of the Arches cluster: clues on cluster formation near the Galactic Center. *Astrophysics and Space Science* 324, 137-140 (2009)
- Stumpf, M. B., W. Brandner, R. Köhler, H. Bouy and T. Henning: High-resolution AO monitoring of Kelu-1 AB. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 561-564 (2009)
- Swain, M., D. Deming, C. Grillmair, M. Marley, J. Fortney, Y. Yung, C. Griffith, G. Orton, P. Deroo, G. Tinetti, G. Vasisht, T. Henning and J. Bouwman: Exoplanet Molecular Spectroscopy. In: *Astro2010: The Astronomy and Astrophysics Decadal Survey*, Science White Papers 291, (2009 online)
- Swain, M. R., D. Deming, G. Vasisht, T. Henning, J. Bouwman and R. Akeson: THESIS – the terrestrial and habitable-zone exoplanet spectroscopy infrared spacecraft. In: *Astro2010: The Astronomy and Astrophysics Decadal Survey*, Technology Development Papers 61, (2009 online)
- Thalmann, C., M. Goto, J. Carson, M. Feldt, T. Henning, Y. Itoh, M. Janson, R. Kandori, G. R. Knapp, S. Mayama, M. McElwain, A. Moro-Martín, R. Suzuki, M. Tamura, E. L. Turner, T. Usuda and J. Wisniewski: SPOTS: search for planets of two stars-a direct imaging survey for exoplanets in binary systems. In: *Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity*, (Eds.) Usuda, T., M. Tamura, M. Ishii. AIP Conference Proceedings 1158, AIP, 271-272 (2009)
- Trieloff, M., J. Blum and H. Klahr: Overcoming the Accretion Barrier in Protoplanetary Discs by Conditions Prevailing at Chondrule Formation. *Meteoritics and Planetary Science Supplement* 72, 5215 pdf (2009)
- Trowitzsch, J., A. Pavlov and W. Gässler: LINC-NIRVANA observation preparation software: design and perspective. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVIII*, (Eds.) Bohlender, D. A., D. Durand, P. Dowler. ASP Conf. Ser. 411, ASP, 518-522 (2009)
- Tsalmantza, P., M. Kontizas, B. Rocca-Volmerange, C. A. L. Bailer-Jones, E. Kontizas, I. Bellas-Velidis, R. Korakitis, E. Livanou, A. Dapergolas, A. Vallenari and M. Fioc: A library of galaxy spectra for GAIA. In: *Probing Stellar Populations Out to the Distant Universe*, (Eds.) Giobbi, G., A. Tornambe, G. Raimondo, M. Limongi, L. A. Antonelli, N. Menci, E. Brocato. AIP Conference Proceedings 1111, AIP, Springer, 79-82 (2009)
- Wieprecht, E., J. Schreiber, J. de Jong, J. Jacobson, C. Liu, B. Morien, M. Wetzstein, B. Ali, D. Frayer, D. Lutz, K. Okumura, P. Popesso and M. Sauvage: The HERSCHEL/PACS photometer pipeline. In: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVIII*, (Eds.) Bohlender, D. A., D. Durand, P. Dowler. ASP Conf. Ser. 411, ASP, 531-535 (2009)
- Wildi, F., J.-L. Beuzit, M. Feldt, D. Mouillet, K. Dohlen, P. Puget, A. Baruffolo, J. Charton, P. Baudoz, A. Boccaletti, L. Abe, R. Claudi, P. Feautrier, T. Fusco, R. Gratton, N. Hubin, M. Kasper, M. Langlois, R. Lenzen, A. Pavlov, C. Petit, J. Pragt, P. Rabou, R. Roelfsema, M. Saisse, H. M. Schmid, E. Stadler, C. Moutou, M. Turatto, S. Udry, R. Waters, T. Henning, A.-M. Lagrange and F. Vakili:

- SPHERE: the VLT planet imager in the post FDR phase. In: *Techniques and Instrumentation for Detection of Exoplanets IV*, (Ed.) Shaklan, S. B. SPIE 7440, SPIE, 74400P-74400P-11 (2009)
- Wildi, F., D. Mouillet, J.-L. Beuzit, M. Feldt, K. Dohlen, T. Fusco, C. Petit, S. Desidera, R. Gratton, H.-M. Schmid, M. Langlois, A. Vigan, J. Charton, R. Claudi, R. Roelfsema, A. Baruffolo and P. Puget: Calibrating SPHERE, the exo-planet imager for the VLT. In: *Techniques and Instrumentation for Detection of Exoplanets IV*, (Ed.) Shaklan, S. B. SPIE 7440, SPIE, 74400Q-74400Q-11 (2009)
- Woitke, P., B. Dent, W.-F. Thi, B. Sibthorpe, K. Rice, J. Williams, A. Sicilia-Aguilar, J. Brown, I. Kamp, I. Pascucci, R. Alexander and A. Roberge: Gas evolution in protoplanetary disks. In: *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun*, (Ed.) Stempels, E. AIP Conference Proceedings 1094, AIP, Springer, 225-233 (2009)
- Wolf, C., A. Aragón-Salamanca, M. Balogh, M. Barden, E. F. Bell, M. E. Gray, C. Y. Peng, D. Bacon, F. D. Barazza, A. Böhm, J. A. R. Caldwell, A. Gallazzi, B. Häussler, C. Heymans, K. Jahnke, S. Jogee, E. van Kampen, K. Lane, D. H. McIntosh, K. Meisenheimer, C. Papovich, S. F. Sánchez, A. Taylor, L. Wisotzki and X. Zheng: Optically-passive spirals: the missing link in gradual star formation suppression upon cluster infall. In: *The Starburst-AGN Connection*, (Eds.) Wang, W., Z. Yang, Z. Luo, Z. Chen. ASP Conf. Ser. 408, ASP, 248-252 (2009)
- Wolf, S., B. Lopez, W. Jaffe, G. Weigelt, J. C. Augereau, N. Berruyer, O. Chesneau, W. C. Danchi, M. Delbo, K. Demyk, A. Domiciano, T. Henning, K. H. Hofmann, S. Kraus, C. Leinert, H. Linz, P. Mathias, K. Meisenheimer, J. L. Menut, F. Millour, L. Mosoni, A. Niedzielski, R. Petrov, T. Ratzka, B. Stecklum, E. Thiebaud, F. Vakili, L. B. F. M. Waters, O. Absil, J. Hron, S. Lagarde, A. Matter, N. Nardetto, J. Olofsson, B. Valat and M. Vannier: MATISSE science cases. In: *Science with the VLT in the ELT Era*, (Ed.) Moorwood, A. Astrophysics and Space Science Proceedings, Springer Netherlands, 359-360 (2009)
- Dissertationen**
- Brauer, F.: Dust particle growth in protoplanetary disks. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- Cacciato, M.: Galaxy-dark matter connection: from astrophysics to cosmology. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- Geißler, K.: The environment of near-by stars. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- Hennemann, M.: Multiwavelength observations of massive star-forming regions selected in the far-infrared. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- Kuiper, R.: Modeling the formation of massive stars. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- More, S.: Galaxy-dark matter connection: insights from satellite kinematics. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- Nicol, M.-H.: Investigation of the stellar population in galaxies since $z = 2$ by NIR photometry. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- Rodón, J. A.: The fragmentation of massive star-forming regions. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- Rodríguez-Ledesma, M. V.: Rotation studies of young very low mass stars and brown dwarfs. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- Vasyunin, A.: Chemistry in the ISM and disks on the verge of planet formation. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- Diplomarbeiten**
- Conrad, C.: Transit search for extrasolar planets around M dwarfs in stripe 82 of the Sloan Digital Sky Survey. Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2009
- Keilbach, T.: Entwicklung eines Amplifierboards zur Ansteuerung von Schrittmotoren im geschlossenen Regelkreis (Closed Loop). Mannheim, 2009
- Lendl, M.: Search for additional bodies with the transit timing method. Universität Wien, 2009
- Pfannschmidt, T.: Entwicklung eines auf grafischer Eingabe basierenden Editors zum Optimieren und Analysieren von Ansteuerungssignalen für CCD- und Infrarot Detektorarrays. Mannheim, 2009
- Raettig, N.: Particle accretion onto planetary embryos. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 2009
- Populärwissenschaftliche Schriften**
- Beuther, H. and T. Henning: Schwere Geburt Physik Journal 8,3, 22-23 (2009)
- Hippler, S., C. Bergfors, W. Brandner, S. Daemgen, T. Henning, F. Hormuth, A. Huber, M. Janson, B. Rochau, R.-R. Rohloff and K. Wagner: The AstraLux Sur Lucky Imaging Instrument at the NTT. The Messenger 137, 14-17 (2009)
- Klahr, H. and T. Henning: Aus Staub geboren. Planetenentstehung. Physik in unserer Zeit 40, 20-27 (2009)
- Klahr, H. and T. Henning: Aufregende neue Planetenwelten. Sterne und Weltraum 48,6, 32-41 (2009)
- Kurk, J., A. Cimatti, E. Daddi, M. Mignoli, M. Bolzonella, L. Pozzetti, P. Cassata, C. Halliday, G. Zamorani, S. Berta, M. Brusa, M. Dickinson, A. Franceschini, G. Rodighiero, P. Rosati and A. Renzini: A VLT Large Programme to study galaxies at $z \sim 2$: GMASS – the Galaxy Mass Assembly Ultra-deep Spectroscopic Survey. The Messenger 135, 40-44 (2009)
- Kürster, M., M. Zechmeister, M. Endl and E. Meyer: The UVES M dwarf planet search programme. The Messenger 136, 39-43 (2009)
- Launhardt, R. and T. Henning: Vom Dunkel zum Licht. Sternentstehung. Physik in unserer Zeit 40, 12-18 (2009)

- Neumayer, N. and K. Meisenheimer: Ins Herz von Centaurus
A. *Sterne und Weltraum* 48,8, 42-51 (2009)
- Pössel, M.: Die etwas andere Ursuppe. *Sterne und Weltraum*
48,6, 25-27 (2009)
- Pössel, M.: Sternentstehung mit höchster Effizienz. *Sterne*
und *Weltraum* 48,3, 20-22 (2009)



Die Max-Planck-Gesellschaft

Die Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften wurde im Jahre 1948 als gemeinnützige Forschungsorganisation in der Rechtsform eines eingetragenen Vereins gegründet und betreibt in ihren derzeit 88 Instituten und sonstigen Einrichtungen erkenntnisorientierte und anwendungs offene Grundlagenforschung. Bei einem Jahresetat von rund 1,6 Milliarden Euro im Jahr 2009 beschäftigt sie rund 13 000 Mitarbeiter, von denen etwa 5000 Wissenschaftler sind. Zusätzlich forschen im Jahresverlauf rund 6600 Nachwuchs- und Gastwissenschaftler an den Einrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft.

Das Ziel der Max-Planck-Gesellschaft ist die Förderung von Spitzenforschung im internationalen Vergleich. Dazu werden die Forschungseinrichtungen angemessen ausgestattet und herausragend qualifizierten Forschern anvertraut. Diese genießen bei ihrer Arbeit ein hohes Maß an wissenschaftlicher Autonomie.

Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V.
Referat für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Hofgartenstr. 8
80539 München

Tel.: 089/2108-1275 oder -1277
Fax: 089/2108-1207
Internet: www.mpg.de



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT