

MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Jahresbericht Annual Report 2005

Max-Planck-Institut für
extraterrestrische Physik
Garching





JAHRESBERICHT 2005 / ANNUAL REPORT 2005

MPE REPORT 290

Max-Planck-Institut
für extraterrestrische Physik

Impressum

Inhaltliche Verantwortung:

R. Genzel

Redaktion und Layout:

W. Brinkmann, R. Lange und J. Zanker-Smith

Druck:

MPE-Druckerei (R. Hauner)

Textbeiträge und Bildmaterial:

B. Aschenbach, R. Bender, H. Böhringer, T. Boller, U. Briel, W. Brinkmann, W. Bunk, V. Burwitz, W. Collmar, R. Davies, K. Dennerl, R. Diehl, F. Eisenhauer, M. Förster, M. Freyberg, R. Genzel, J. Greiner, G. Hasinger, F. Haberl, B. Klecker, S. Komossa, M. Lehnert, D. Lutz, C. Maraston, G.E. Mornfill, T. Müller, T. Ott, G. Paschmann, W. Pietsch, D. Porquet, P. Predehl, M. Rubin-Zuzic, R. Saglia, M. Scholer, P. Schuecker, A. Strong, L. Strüder, L. Tacconi, M. Thoma, H. Thomas, R. Treumann, J. Trümper und andere

Sonstige Unterstützung:

1. Auflage Mai 2006 (1200)

B. Frankenhuizen, R. Mayr-Ihbe, B. Mory, C. Post, R. Sigl, H. Steinle

INHALTSVERZEICHNIS / TABLE OF CONTENTS

	Seite/Page
Vorwort / Preface	5
1 Aufgaben und Arbeitsweise des Instituts / Research Areas and Institute Structure	7
2 Wissenschaftliche Ergebnisse / Scientific Results	11
2.1 Physik des Sonnensystems / Solar System Physics	11
2.2 Sternzyklen und das interstellare Medium / Stellar Evolution and the Interstellar Medium	22
2.3 Galaxien und AGN / Galaxies and AGN	35
2.4 Großräumige Struktur und Kosmologie / Large-Scale Structure and Cosmology	49
2.5 Komplexe Plasmen / Complex Plasmas	70
3 Experimentelle Entwicklung und Projekte / Experimental Development and Projects	81
3.1 Physik des erdnahen Weltraums / Space Physics of the Near-Earth Environment.....	81
3.2 IR/Submillimeter Astronomie / IR/Submillimeter Astronomy.....	84
3.3 Hochenergie-Astrophysik / High Energy Astrophysics.....	93
3.4 Komplexe Plasmen / Complex Plasmas	107
3.5 Technologietransfer / Know-how Transfer	113
3.6 Allgemeine Bereiche / General Services.....	119
4 Veröffentlichungen / Publications	123
4.1 Referierte Veröffentlichungen / Refereed Publications	123
4.2 Referierte Proceedings / Refereed Proceedings.....	135
4.3 Instrumentelle Veröffentlichungen / Instrumental Publications	137
4.4 Nicht-referierte Veröffentlichungen / Non-refereed Publications.....	138
4.5 Bücher / Books	146
4.6 Poster / Posters.....	146
4.7 Vorträge / Talks	148
4.8 Dissertationen / PhD Theses.....	161
4.9 Diplomarbeiten / Diploma Theses	161
5 Lehre, Ausbildung und Öffentlichkeitsarbeit / Teaching, Training and Public Outreach	163
5.1 Lehrveranstaltungen / Teaching.....	163
5.2 Seminare und Workshops / Seminars and Workshops	164
5.3 The International Max Planck Research School on Astrophysics at the Ludwig-Maximilians University of Munich / IMPRS.....	164
5.4 Öffentlichkeitsarbeit / Public Outreach	166
5.5 Das Institutsleben / Social Events	168
6 Personal, Projekte, Kollaborationen / Personnel, Projects, Collaborations	169
6.1 Personal / Personnel	169
6.2 Wissenschaftliche Kollaborationen / Scientific Collaborations.....	174
6.3 Multinationale Zusammenarbeit / Multinational Collaborations.....	178
6.4 Zusammenarbeit mit Firmen / Industrial Collaborations	180
6.5 Aktivitäten im Wissenstransfer / Activities in Transfer of Know-how.....	181
6.6 Statistik / Statistics	183

VORWORT / PREFACE

Der vorliegende Jahresbericht des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik (MPE) gibt eine Übersicht über die laufenden Forschungsprojekte des Instituts, die im Jahr 2005 geleistete Arbeit und über unsere Pläne für die Zukunft.

Das MPE arbeitet seit seiner Gründung im Jahre 1963 an vorderster Front in der Weltraumforschung. Unser Ziel ist es, wesentliche Beiträge zur Erforschung des Kosmos und zur physikalischen Grundlagenforschung zu erbringen. Dabei haben sich die Forschungsschwerpunkte in den letzten 40 Jahren verschoben, von der Ionosphärenphysik, Magnetosphärenphysik und Kosmischen Strahlung hin zu Astronomie und komplexen (kolloidalen) Plasmen. Das MPE hat immer einen „integrierten“ Forschungsansatz verfolgt, vom Experiment bis zur Theorie. Das erfordert die Entwicklung und den Einsatz leistungsfähiger Teleskope und Messgeräte, die Anwendung modernster Computertechnologie bei der Datenverarbeitung, die Gewinnung neuer Erkenntnisse durch die Interpretation der gewonnenen Daten und durch beobachtungsnahe theoretische Arbeiten.

Ein weiterer Aspekt unserer Arbeit ist der Technologie- und Wissenstransfer in andere Bereiche der Grundlagenforschung und in industrielle Anwendungen. Unsere Erfolge in der Vergangenheit sind die Grundlage für Planungen, die sich weit in die Zukunft erstrecken.

Besondere Ereignisse des Jahres 2005 waren – in chronologischer Reihenfolge:

- Januar: Gründung der Forschungsgruppe „Experimentelle Komplexe Plasmen“ am MPE als Nachfolge von CIPS.
- Europäische Abnahme von OmegaCam im Juni.
- Start des japanischen Röntgensatelliten „Suzaku“ am 10 Juli.
- Erfolgreicher Test des PACS-Qualifikationsmodells im Satelliten-Kryostaten im September.
- Installation des PARSEC Laser Guide Star am VLT.
- 12. Oktober: „First Light“ des Large Binocular Telescope (LBT).
- Abschließende Übergabe des letzten „Glast Burst Monitor“-Detektors.

This annual report of the Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik (MPE) provides information about the current research projects of the institute, its activities in 2005 and about our plans for the future.

The MPE has been involved in front-line space research since its foundation in 1963. Our goal is to make significant contributions to the exploration of the universe and to basic research in physics. Our main research areas have seen significant shifts in the last 40 years, from ionospheric physics, magnetospheric physics, cosmic ray research to astronomy and complex (colloidal) plasma research. In carrying out our research we have always followed an “integrated” strategy comprising all the steps from experiment to theory. This involves the development and use of efficient telescopes and instruments, the application of modern computer technology for the data processing and of course the search for new insights and the gain of new knowledge by interpretation of the data and associated theoretical work.

Another aspect of our work is the transfer of technology and know-how into other areas of fundamental research and into industrial applications. Our past successes are the basis for plans that extend far into the future.

Milestones for the year 2005 were – in chronological order:

- January: Establishment of a Research Group “Experimental Complex Plasmas” at MPE as successor of CIPS.
- European Acceptance of OmegaCam in June.
- Launch of the Japanese X-Ray Satellite “Suzaku” on July 10.
- Successful test of the PACS-“Qualification model” in the spacecraft cryostat in September.
- The PARSEC Laser Guide Star is installed at the VLT.
- 12. October: First Light of the Large Binocular Telescope (LBT).
- Final delivery of the last “Glast-Burst Monitor”-detector.

- Der „Tag der offenen Tür“ am MPE am 22. Oktober mit mehr als 1500 begeisterten Besuchern und mehr als 400 Teilnehmern am Kinderprogramm.
- 12. Dezember: Das „PK-3 Plus“ Plasma Experiment wird mit einer Progress Rakete von Baikonur aus zur ISS gebracht.
- The “Open Day” at MPE on October 22 attracts more than 1500 enthusiastic visitors and more than 400 children participated in the “children’s program”.
- December 12: The “PK-3 Plus” plasma experiment is launched with a Progress rocket from Baikonur to the international Space Station (ISS).

Wir danken allen Kolleginnen und Kollegen, allen Freunden und den uns verbundenen Firmen und Organisationen für die gute Zusammenarbeit und die fortwährende Unterstützung.

We thank all colleagues, friends, our industry partners, organisations and sponsors for the excellent cooperation and continuous support.

Professor Reinhard Genzel
Geschäftsführender Direktor / Managing Director

A photograph of a modern architectural structure, likely a conservatory or a large glass building. The building has a complex steel frame and is covered in glass panels. It is surrounded by lush greenery, including several trees and bushes. A paved path leads towards the building from the bottom left. The sky is clear and blue.

1 Das Institut The Institute

Aufgaben und Arbeitsweise des Instituts / Research Areas and Institute Structure

Das Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik (MPE) befasst sich mit Themen der Astrophysik und Plasmaphysik, die sich fünf großen Bereichen zuordnen lassen:

- Physik des Sonnensystems
- Lebenszyklen der Sterne und Interstellares Medium
- Galaxien und Galaxienkerne
- Großräumige Strukturen und Kosmologie
- Physik komplexer Plasmen.

Methodisch lassen sich die Forschungsaktivitäten des MPE in mehrere Bereiche einteilen. Der historisch gesehen erste Bereich beschäftigt sich mit Teilchen und elektromagnetischen Feldern, sowie ihren Wechselwirkungen im erdnahen Raum, d.h. in der Ionosphäre, Magnetosphäre und im Sonnenwind. In den astrophysikalischen Forschungsbereichen wird die Strahlung entfernter Objekte mit Teleskopen in den Millimeter/Sub-millimeter-, Infrarot-, Optischen-, Röntgen- und Gammaspektralbereichen gemessen. Der hierbei überdeckte Teil des elektromagnetischen Spektrums umfasst mehr als zwölf Dekaden. Die untersuchten Objekte reichen von Kometen bis zu den fernsten Quasaren, von Neutronensternen bis zu Galaxienhaufen, den größten Formationen im Kosmos, wobei ein Schwerpunkt der Arbeiten gruppenübergreifend auf dem Gebiet der massiven schwarzen Löcher, Galaxien und Galaxienhaufen liegt. Viele unserer Experimente werden notwendigerweise oberhalb der dichten, absorbierenden Erdatmosphäre mit Raketen, Satelliten und Raumsonden durchgeführt. Im Infrarot- und sichtbaren Wellenlängenbereich setzen wir auch Instrumente an erdgelennten oder flugzeuggetragenen Teleskopen ein. Ergänzt werden unsere Untersuchungen durch Experimente im Labor.

Ein wichtiger Aspekt ist die gruppenübergreifende Interpretation der Beobachtungen und Messungen. Die direkte Wechselwirkung von Beobachtern, Experimentatoren und Theoretikern im Hause verstärkt die Zusammenarbeit und führt oft im direkten Wechselspiel von Hypothesen und neuen Beobachtungen zu einer frühen Erkennung viel versprechender neuer Forschungsrichtungen.

Die im Institut im Anschluss an die Entdeckung neuer Plasmazustände (Plasmakristall) als Laboraktivität entstandene Forschungsrichtung „Komplexe Plasmen“ führt weiterhin Experimente in der Schwerelosigkeit durch. Nach der erfolgreichen operationellen Phase von „PKE-Nefedov“, in Kooperation mit dem russischen Akademieinstitut „IHED“ auf der internationalen Raumstation ISS

durchgeführt, wird jetzt das Nachfolgeinstrument „PK-3 Plus“ in Betrieb genommen.

Struktur und Ausstattung des Instituts dienen dem Ziel, mit im Hause entwickelten Instrumenten experimentelle Astrophysik und Plasmaphysik an vorderster Front zu betreiben. Deshalb werden Detektoren, Spektrometer und Kameras, aber auch Teleskope und komplett integrierte Nutzlasten gebaut (wie im Fall von ROSAT, dem Plasma-Kristall-Experiment, eROSITA und PACS). Aus diesem Grunde sind unsere Ingenieurs- und Werkstattbereiche und ihre enge Ankopplung an die wissenschaftlichen Aktivitäten von besonderer Bedeutung. Das Institut ist zu einer naturgemäß sehr datenintensiven Forschungsstätte geworden. Ein gruppenübergreifender Datenverarbeitungsausschuss führt die Computerhardware- und Software-Koordination durch.

Weitere technologisch bedeutende Bereiche des Instituts sind eine große Röntgentestanlage (PANTER) in Neuried bei München und das zusammen mit dem Max-Planck-Institut für Physik betriebene Halbleiter-Labor auf dem Siemensforschungsgebäude in München-Neuperlach.

Die wissenschaftliche Arbeit findet in vier großen Arbeitsbereichen statt, die von je einem der Direktoren betreut werden: (1) Optische und Interpretative Astronomie, (2) Infrarot- und Submillimeter/Millimeter-Astronomie, (3) Röntgen- und Gamma-Astronomie und (4) Theorie und komplexe Plasmen. Eine kleine Gruppe beschäftigt sich mit der in-situ Weltraum-Plasmaphysik. Innerhalb dieser Bereiche leiten Wissenschaftler weitgehend eigenverantwortlich die Planung und Durchführung der etwa vierzig einzelnen Experimente und wissenschaftlichen Projekte. Dementsprechend ist der Institutshaushalt auch auf diese Projekt-Gruppen und auf die zentralen Service-Bereiche aufgeteilt. Die Verwaltung und Haustechnik des MPE betreuen neben unserem Institut auch das benachbarte Max-Planck-Institut für Astrophysik.

Wissenstransfer der Forschungsergebnisse aus der Forschung in die industrielle Anwendung ist besonders aktiv, in der Theorie, (Analyse komplexer Systeme in der Medizin, den Ingenieurwissenschaften und dem Pharmabereich) sowie aus dem Halbleiterlabor (Röntgendetektoren).

Die Realisierung der Mehrzahl der Projekte ist nicht ohne eine enge Wechselwirkung mit der Industrie durchführbar. Unsere Erfolge beim Bau von Experimenten zeugen von der effektiven Zusammenarbeit mit leistungsstarken Firmen, im allgemeinen aus der Raumfahrt- bzw. Elektronikindustrie. Die anspruchsvollen technologischen Anforde-

rungen unserer Experimente führen oftmals auch zum Technologietransfer in die Industrie. Zusätzlich zur Grundfinanzierung durch die Max-Planck-Gesellschaft wird unsere Arbeit in erheblichem Maße getragen von der Projektfinanzierung staatlicher Organe, wie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), der ESA, ESO und der Europäischen Gemeinschaft, sowie teilweise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der Humboldt Gesellschaft und der Dr. Johannes Heidenhain-Stiftung.

Da unsere Experimente gewöhnlich mit sehr hohem technischem und finanziellem Aufwand verbunden sind, können sie meistens nur in enger Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten und Universitäten des In- und Auslandes in gemeinsamen Projekten realisiert werden. Hier muss die intensive und konstruktive Wechselwirkung mit ESA und NASA, aber auch den entsprechenden Institutionen anderer Länder erwähnt werden, insbesondere Russland im Zusammenhang mit unseren Forschungen auf der Internationalen Raumstation.

Neben der Forschung nimmt unser Institut auch universitäre Ausbildungsaufgaben wahr. MPE-Wissenschaftler sind als Hochschullehrer an mehreren Universitäten tätig und betreuen zahlreiche Diplom- und Doktorarbeiten, hauptsächlich aus beiden Münchner Universitäten. Darüber hinaus veranstalten wir spezielle Seminare und Symposien zu unseren und angrenzenden Forschungsgebieten, häufig in Zusammenarbeit mit den Universitäten. Die „International Max-Planck Research School on Astrophysics“ an der Ludwig-Maximilians-Universität München brachte eine wesentliche Intensivierung der Doktorandenausbildung im Raum Garching/München. Nach erfolgreicher Evaluierung wurde sie auf sechs weitere Jahre fortgeschrieben.

Research at the Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik (MPE) addresses topics of astrophysics and plasma physics, which can be divided into five key areas:

- Physics of the Solar System
- Life cycle of stars and interstellar medium
- Galaxies and galactic nuclei
- Large-scale structure and cosmology
- Physics of complex plasmas.

From a technological point of view, research at the MPE can be divided into a number of key areas. The historically first area concerns particles and electromagnetic fields, in particular their mutual interactions in near-Earth space, that is in the ionosphere, magnetosphere and the solar wind, by means of in-situ measurements. The astrophysical research focuses on millimetre/submillimetre-,

infrared-, optical-, X-ray-, and gamma-ray measurements of the radiation from distant objects in the Universe. These wavelength bands span more than twelve decades of the electromagnetic spectrum. The astrophysical objects studied by us range from comets to the most distant quasars, from the tiny neutron stars to clusters of galaxies as the largest physical formations in the universe where the main focus of our work lies on the study of massive black holes, galaxies and clusters of galaxies. Many of our experiments require telescopes and detectors launched into space by rockets, satellites, and space probes in order to “escape” from the atmospheric absorption which prevents such measurements from the ground. In the infrared and optical bands we also use ground-based or aircraft-borne telescopes. Our investigations are complemented by laboratory experiments.

All groups also conduct analytical, numerical and observation-related interpretational research and address topics that cover all experimental research areas. The direct interaction of theoreticians, observers and experimenters provides an important synergetic boost for our research. The mutual interaction also stimulates new directions of research.

Following the discovery of new plasma states (plasma crystals) as a laboratory activity a new research field “Complex Plasmas” has been initiated at MPE. For some of these activities microgravity is very important. After the successful completion of the operational phase of the plasma crystal experiment “PKE-Nefedov”, a cooperation project with the Russian academy institute IHED on the international space station ISS, the follow up instrument “PK-3 Plus” went into operation.

The evolution of organisational structures within our institute has always been “science driven”, with the goal of carrying out state-of-the-art experimental astrophysics and plasma physics research with advanced, in-house developed instrumentation. This includes detectors, spectrometers, and cameras, as well as telescopes and complete payloads (e.g. for ROSAT, the “Plasma-Kristall” experiment, eROSITA, and PACS). For this purpose our technical and engineering branches play a key role, working in close liaison with individual research groups. Over the years, the institute's emphasis has naturally shifted towards research based on analysis of large amounts of primary data. For coordination of computer hardware and software activities a data-analysis committee has been established with representatives from all branches.

Other key facilities of the institute are the X-ray test facility (PANTER) located in Neuried near München and a semiconductor laboratory as a collaborative enterprise between MPE and the Max-

Planck-Institut für Physik in München on the Siemens campus in München-Neuperlach.

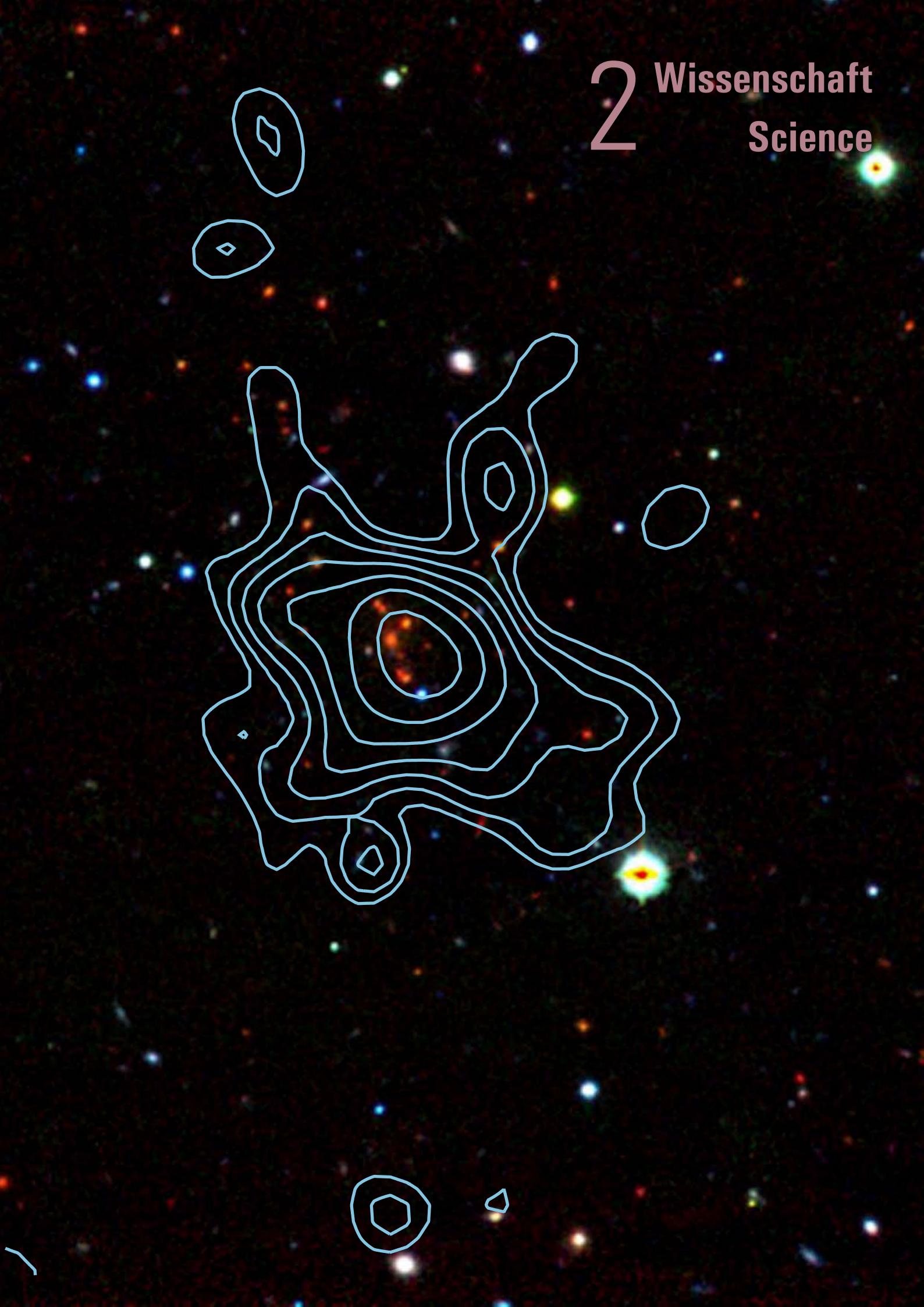
The scientific activities are organised into four major research fields, each of which is supervised by one of the directors: (1) Optical and Interpretative Astronomy, (2) infrared- and sub-millimetre/millimetre astronomy, (3) X-ray and gamma-ray astronomy, and (4) theory and complex plasmas. A small group carries out research in space plasma physics. Within these fields, different scientists supervise individual experiments and research projects. Currently there are about forty independent project teams. Accordingly, the institute's budget is divided amongst these project teams, as well as the service groups, leading to a significant independence of action and a broad sharing of financial and management responsibility. An administration and technical services team supports our institute as well as the neighbouring Max-Planck-Institut für Astrophysik

Know-how transfer from our research into applications is particularly important in two research areas at MPE. The theory division transfers know-how in the area of "analysis of complex systems" into applications in medicine, engineering and pharmacology. The semiconductor laboratory produces X-ray detectors that are applied in other research institutes and in industry.

The implementation of most experimental projects cannot be envisaged without close cooperation with industry. Our success record in experimental astrophysics and space research demonstrates the efficiency of such cooperations, primarily with space industry and electronics companies.

The challenging technological requirements of our experiments also often lead to technology transfer to industry. In addition to the institutional support by the Max-Planck-Gesellschaft, our research is supported by government institutions such as the Federal Ministry for Education and Research (BMBF) and DLR, international organisations such as ESA and ESO as well as the European Community, with additional financial contributions from the German Science Foundation (DFG), the Humboldt Society and the Dr. Johannes Heidenhain-Foundation.

Apart from scientific research, our institute is actively engaged in university education: MPE researchers teach at several universities and supervise student research (Diploma, Ph.D.), mainly at both Munich universities. In addition, seminars, workshops and conferences are held by the institute in our own and adjacent research fields, often in cooperation with the universities. The "International Max-Planck Research School on Astrophysics" at the Ludwig-Maximilians-Universität München resulted in a substantial build up of the doctoral programs in the Garching/München area. After a successful evaluation this year the school will continue for another six years.



2.1 Physik des Sonnensystems / Solar System Physics

Das Sonnensystem umfasst Sonne, Planeten, deren Atmosphären und Plasmaumgebungen, die kleinen Körper, z.B. Kometen, interstellaren Staub, interstellare Teilchen von außerhalb der Heliosphäre und die kosmische Strahlung. Am MPE werden vor allem plasma-physikalische Phänomene an der Sonne, in der Erdmagnetosphäre und in ihren Grenzschichten, sowie im interplanetaren Raum und bei Planeten untersucht.

In der Magnetosphärenphysik sind wir mit Cluster nach fünf Jahren erfolgreichem Betrieb in einer neuen Ära von Multi-Satellitenmissionen. Im Berichtsjahr standen insbesondere Untersuchungen von an der Bugstoßwelle der Erde beschleunigten Ionen, die Konvektion in der polaren Magnetosphäre und die Kopplung zwischen solarem Wind, Magnetosphäre und Ionosphäre im Vordergrund. Energetische Ionen solaren Ursprungs werden mit unseren Instrumenten auf SOHO und ACE gemessen. Dabei liefert die Analyse der Ionenladung wichtige Hinweise über den Ursprung der Teilchen und die Beschleunigungsregion an der Sonne und im interplanetaren Raum.

Neben der Plasmaphysik berichten wir noch über neue Messungen von Röntgenstrahlung mit XMM-Newton, die interessante Information über die

Wechselwirkung des solaren Windes mit der Marsatmosphäre liefern.

The solar system is comprised of the Sun, the planets, their atmospheres and plasma environs, the small bodies, e.g. comets, down to dust particles, interstellar matter intruding from outside, and the cosmic radiation. At MPE we mainly investigate the plasma physical phenomena in the solar atmosphere, in the Earth's magnetosphere and its' boundaries, in interplanetary space and at other planets.

With Cluster we are after five years of successful operation in a new age of multi-spacecraft missions in magnetospheric physics. In 2005 we studied, in particular, the ion foreshock region of the Earth's bow shock, convection in the polar magnetosphere, and solar wind – magnetosphere – ionosphere coupling processes. Energetic ions of solar origin are measured with our experiments onboard SOHO and ACE. The analysis of ionic charge states provides important information on the particles' sources and on the location of the acceleration region at the sun or in interplanetary space.

Besides plasma physics we report new results on X-ray measurements with XMM-Newton that provided new insight into the interaction of the solar wind with the atmosphere of Mars.

2.1.1 Erdmagnetosphäre / Earth's Magnetosphere

„Ion Beams“ und diffuse Ionen an der Bugstoßwelle der Erde

Mit Cluster werden erstmals gleichzeitige Messungen energetischer Ionen mit mehreren Satelliten vor der Bugstoßwelle der Erde möglich. Mit früheren Messungen konnte gezeigt werden, dass es im Gebiet vor der Bugstoßwelle („Ionen-Foreshock Region“, Abb. 2-1) zwei Teilchen-Populationen gibt: Ionen Beams an der quasi-senkrechten Bugstoßwelle und diffuse Ionen an der quasi-parallelen Bugstoßwelle. An der Grenze zum Ionen-Foreshock werden Ionen beobachtet (Ion Beams), die entlang des Magnetfeldes entgegen der Richtung des Sonnenwindes strömen. Die diffusen Ionen werden dagegen weit entfernt von dieser Grenze, im Bereich der quasi-parallelen Bugstoßwelle beobachtet. Dabei gibt es einen engen Zusammenhang zwischen dem Auftreten diffuser Ionen und magnetohydrodynamischer Wellen an der quasi-parallelen Bugstoßwelle: die Wellen werden von den strömenden Ionen angeregt und die Ionen werden von den Wellen gestreut. Durch gleichzeitige Messung der Ionendichte mit zwei Satelliten in verschiedenen Abständen von der Bugstoßwelle wurden für zwei typische Ereignisse die Dichtegradienten energetischer Ionen als Funktion des Ab-

stands und der Energie ermittelt. Im Energiebereich \sim 10-32 keV nimmt der Gradient und damit auch die Dichte exponentiell mit dem Abstand ab, wobei die Längenskala linear von der Energie und von der Geschwindigkeit des solaren Windes abhängt. Diese Längenskala bestimmt auch die mittlerer freie Weglänge für Streuung, λ , und die Beschleunigungszeitskala, τ_{acc} der Ionen. In den zwei untersuchten Ereignissen ergab sich für 30 keV Ionen $\lambda \sim 2.4 R_E$ und $\tau_{acc} \sim 120$ s. Dies zeigt, dass der Ionentransport in der Ionen Foreshock Region diffusiv ist und die Ionen sehr effizient an der Bugstoßwelle beschleunigt werden.

Die 3D Plasma Sensoren an Bord der Cluster Satelliten ermöglichen auch eine detaillierte Untersuchung der Geschwindigkeitsverteilungsfunktionen in den verschiedenen Gebieten des Ionen Foreshocks. Unterschiede beim Übergang in verschiedene Gebiete sind gewöhnlich auf Rotationen des interplanetaren Magnetfeldes zurückzuführen.

Abbildung 2-2 (oberes Panel) zeigt die Geschwindigkeitsverteilungen von Ionen, gemessen mit dem Cluster Ionen Spektrometer (CIS) auf Cluster 1 (SC1), während eines langen Ereignisses am 18. Februar 2003. Das untere Panel zeigt die Stärke des Magnetfeldes und den Winkel α zwischen

Magnetfeld und X_{GSE}-Achse, die mit dem Flux Gate Magnetometer (FGM) auf Cluster gemessen wurden. Um 11:20 UT ist $\alpha \sim 15^\circ$ und SC1 ist tief in der Foreshock-Region. Die Geschwindigkeitsverteilung der Ionen zeigt eine breite Ringstruktur (Abb. 2-2 oben links), die durch Streuung der Ionen an selbst erzeugten, niederfrequenten, breitbandigen Wellen hervorgerufen wird. Die Wellen sind auch im unteren Panel an den starken Fluktuationen des Magnetfeldes zu Zeiten von diffusen Ionen erkennbar. Nach einer starken Änderung der Richtung des Magnetfeldes um $\sim 11:45$ auf $\alpha \sim 30^\circ$ ist der Satellit mit der quasi-senkrechten Bugstoßwelle verbunden. Dies ist in der um 12:20 gemessenen Ionen Geschwindigkeitsverteilung deutlich zu sehen (Abb. 2-2, oben-mittel), die einen Ionenbeam entlang des Magnetfeldes entgegen der Richtung des Sonnenwindes zeigt. Nach Transformation in das Referenzsystems des Plasmas ergibt sich für den Ionenbeam eine Geschwindigkeit von 1300 km/s, d.h. die doppelte Geschwindigkeit des Sonnenwindes von 650 km/s. Dies zeigt, dass der Ionenbeam aus an der Bugstoßwelle reflektierten Ionen des solaren Windes besteht.

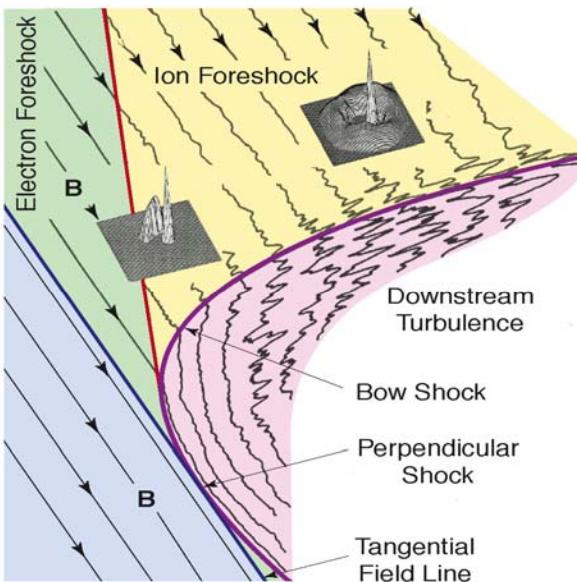


Abb. 2-1: Schematische Ansicht der Foreshock Region der Erde mit typischen Geschwindigkeitsverteilungen von Ion Beams, diffusen Ionen und Ionen des Sonnenwindes. Der solare Wind strömt von links nach rechts.

Fig. 2-1: Schematic view of the terrestrial foreshock region with ion velocity distributions typical for ion beams, diffuse ions, and solar wind ions. The solar wind flow is from left to right.

Später, tiefer in der Foreshock-Region, wird eine andere Geschwindigkeitsverteilung beobachtet: wir sehen die Überlagerung einer diffusen Ionenverteilung mit den Resten eines Ionenbeams, wobei Ionen des Beams mit großen feldparallelen Geschwindigkeiten bereits entwichen sind, und nur

Ionen mit großem Winkel zum Magnetfeld Zugang zu SC1 haben.

Großräumige Konvektion in der Magnetosphäre der Erde

Ein großer Teil des Impuls- und Energietransfers vom solaren Wind in die Magnetosphäre der Erde erfolgt durch magnetische Rekonnexion. Eine direkte Konsequenz dieses Prozesses ist die großräumige Zirkulation von Plasma und magnetischem Fluss. Dies ist schematisch in Abb. 2-3(a) dargestellt. Wenn das interplanetare Magnetfeld (IMF) eine südwärts gerichtete Komponente hat, kann Rekonnexion im sub-solaren Gebiet der Magnetosphäre stattfinden. Die verbundenen magnetischen Feldlinien und mit ihnen das Plasma, werden in Richtung Schweif der Erdmagnetosphäre konvektiert, da ein Ende der Magnetfeldlinie im solaren Wind verankert bleibt. Später können sich diese Feldlinien im Schweif noch einmal verbinden und zurück zur Frontseite der Magnetosphäre und zur Magnetopause transportiert werden, wo dieser Zyklus eine weiteres mal ablaufen kann. Die Zahlen (1) bis (9) in Abb. 2-3 markieren die gleiche Feldlinie zu verschiedenen Zeiten in diesem Zyklus.

Diese Zirkulation des Magnetfeldes bei südlich gerichtetem IMF sollte, wenn sie entlang des Magnetfeldes in die Polarregion projiziert wird, ein zwei-Zellen Konvektionsmuster zur Folge haben, wie es in Abb. 2-3(b) schematisch dargestellt ist.

Die Konvektion der Magnetfeldlinien und des Plasmas kann mit die Polarregion durchquerenden Satelliten gemessen werden. Die Cluster Mission ist besonders für diese Messungen geeignet, da sie mit dem am MPE entwickelten Elektron Drift Instrument (EDI) eine wesentlich genauere Messung der Driftgeschwindigkeit ermöglicht, auch in Gebieten geringer Dichte, als es mit anderen Instrumenten möglich ist.

Abbildung 2-4 zeigt eine Statistik des Konvektionsmusters, das mit EDI über eine Periode von mehr als vier Jahren gewonnen wurde. Jede einzelne EDI Messung der Geschwindigkeit wurde dabei zunächst auf stabile IMF Bedingungen getestet, und dann entlang des Magnetfeldes in die nördliche bzw. südliche Polkappe projiziert. Das Ergebnis bestätigt das erwartete Konvektionsmuster für südlich gerichtetes IMF (und auch für IMF Orientierungen in der Ekliptik). Für nordwärts gerichtetes IMF (nicht gezeigt) ergab sich dagegen kein klares Muster. Bei nordwärts gerichtetem IMF wird Rekonnexion an der Frontseite der Magnetosphäre nicht erwartet, so dass auch die Kopplung zwischen IMF und Erdmagnetfeld als wesentlich schwächer erwartet wird.

Ein wichtiger Aspekt dieser Arbeit ist auch die Bestimmung der Parameter des solaren Windes (IMF) an der Magnetopause aus den Messungen

mit Experimenten auf dem NASA Satelliten ACE (Advanced Composition Explorer) am Librationspunkt L1, der ~1.5 Millionen km von der Erde in Richtung Sonne entfernt ist. Die Verzögerung infolge dieses großen Abstandes wurde nicht nur aus dem Abstand und der Sonnenwindgeschwindigkeit ermittelt, sondern es wurde auch die Richtung des Magnetfeldes berücksichtigt, da sich ACE im allgemeinen nicht auf einer Stromlinie befindet, die direkt mit der Magnetopause verbunden ist. Um die Zeitverzögerung zuverlässiger zu bestimmen wurde deshalb ein Verfahren implementiert, das auch die Richtung und Variation des IMF berücksichtigt. Wir haben auch ein Stabilitätskriterium eingeführt, um Zeitperioden von der Analyse auszuschließen, in denen die magnetosphärische Konvektion noch nicht auf Änderungen des IMF reagieren konnte.

stürme auslöst. Auf der Tagseite spielt die Cusp Region, durch die das Sonnenwindplasma direkten Zugang zur Magnetosphäre und Ionosphäre hat, eine Schlüsselrolle bei den Sonnenwind – Magnetosphäre – Ionosphäre Kopplungsprozessen.

Die Cusp ist ein sehr dynamisches Gebiet. Mehrere Untersuchungen zeigten ihre Bewegung infolge von Änderungen des IMF und des dynamischen Drucks des Sonnenwindes. Eine Reihe von Studien benutzten die Fußpunkte der Cusp-Magnetfeldlinien in der Ionosphäre, entweder durch Bodenbeobachtungen, durch Satelliten in erdnaher Umlaufbahn, oder durch in-situ Messungen mit Satelliten in der Magnetosphäre, wie z.B. mit den Cluster Satelliten. Trotz zahlreicher Berichte, dass das IMF unmittelbar die Dynamik der Cusp Region bestimmt, haben einige Berichte auch gezeigt, dass die Cusp verzögert auf Änderungen des IMF

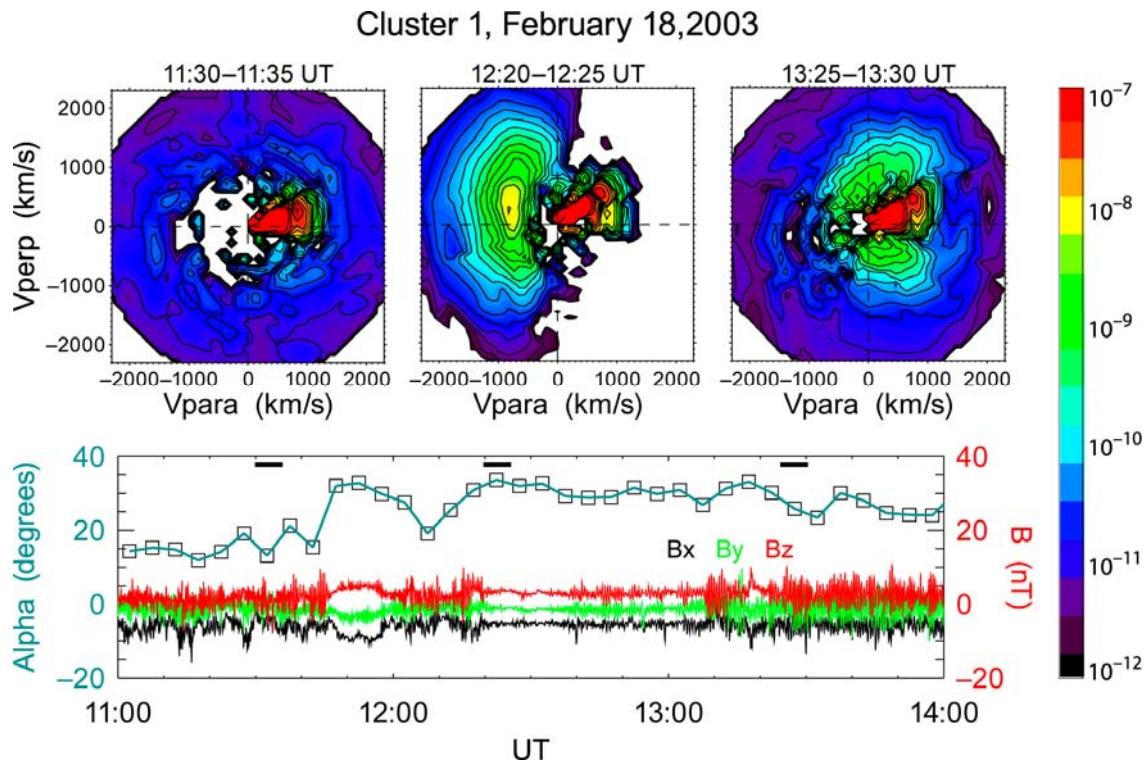


Abb. 2-2: Oberes Panel: Geschwindigkeitsverteilung der Protonen; unteres Panel: Magnetenfeldstärke B und Winkel α zwischen Magnetenfeldvektor und der X_{GSE} – Achse.

Fig. 2-2: Top panel: Proton distribution function in velocity space; bottom panel: magnitude of the magnetic field B and angle α between the magnetic field vector and the X_{GSE} – axis.

Reaktion der Cusp in mittleren Höhen auf schnelle Änderungen des IMF

Die Reaktion der Magnetosphäre auf Änderungen des IMF wurde seit dem Beginn des Weltraumzeitalters diskutiert. Es wird angenommen, dass die Magnetosphäre auf der Tagseite sehr schnell auf Änderungen der Parameter des Sonnenwindes reagiert, während der Schweif der Magnetosphäre (Nachtseite) mit einiger Verzögerung reagiert. In beiden Fällen ist magnetische Rekonnexion wesentlich, die an der Tagseite die dynamischen Vorgängen steuert und auf der Nachtseite Sub-

reagiert. Andere Studien zeigen, dass die Lage der Cusp besser mit dem AE Index (auroral electrojet) korreliert, als mit der z-Komponente (B_z) des IMF. Diese Autoren gehen noch einen Schritt weiter und postulieren, dass die Cusp Dynamik im wesentlichen durch die Substurm Aktivität, und damit durch die Dynamik im Schweif auf der Nachtseite bestimmt wird.

Eines der wesentlichen Ziele der Cluster multi-Satelliten Mission ist das Studium der Cusp. Wir haben ein Ereignis untersucht, das den Einfluss des interplanetaren Magnetfeldes auf die Lage der

Cusp zweifelsfrei belegt. Abb. 2-5 zeigt mit ACE und CIS/CODIF auf Cluster 4 (SC4) am 12.8.2003 gewonnene Daten. Die drei Panels zeigen (von oben nach unten): (1) das IMF, gemessen im Sonnenwind mit ACE am Librationspunkt L1, (2) die Protonendichte, gemessen mit CIS/CODIF, und (3) das Energie-Zeit Spektrogramm von Protonen, ebenfalls mit CIS/CODIF gemessen. Die vier

bewegt sich die Cusp infolge einer Rotation des Magnetfeldes in südliche Richtung in Richtung Äquator. Dies zeigt, dass die Cusp sehr schnell auf Rotation des IMF reagiert und dass die drei nordwärts Rotationen des IMF eine polwärtige Verlagerung der Cusp verursachen. Die Komponente der Cusp Geschwindigkeit in Breite in einer Höhe von $5 R_E$ beträgt ~ 30 km/s.

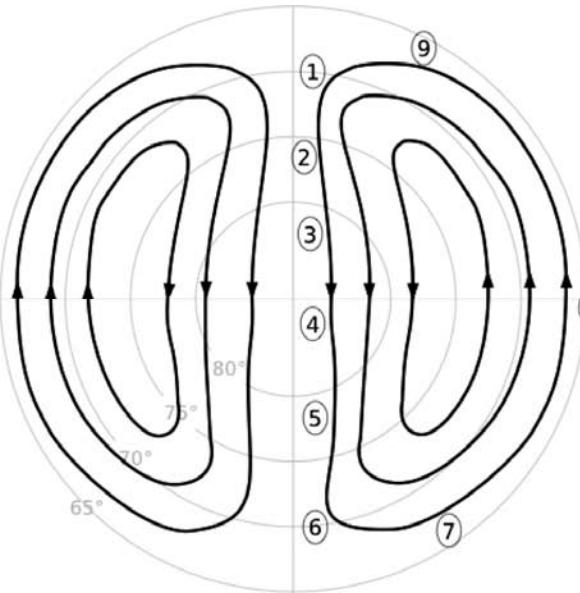
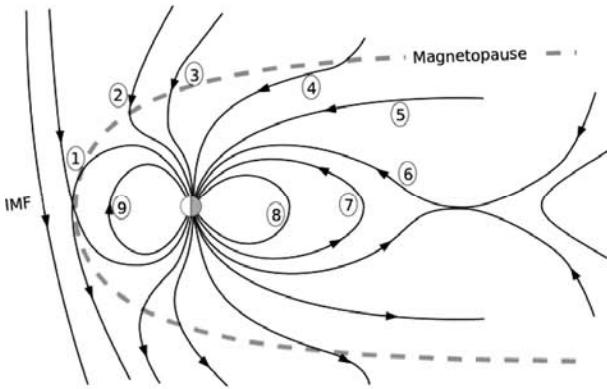


Abb. 2-3: (a) Schematische Darstellung des Transports einer Feldlinie des Erdmagnetfeldes nach Rekonnexion mit einer interplanetaren Feldlinie. (b) Das Konvektionsmuster aus zwei Zellen. Die Zahlen (1) bis (9) markieren eine Feldlinie zu verschiedenen Zeiten.

Fig. 2-3: (a) Schematic view of the transport of a terrestrial field line that has reconnected with an interplanetary magnetic field line. (b) Two-cell convection pattern. The numbers (1) to (9) label the field lines at different times.

Cluster Satelliten flogen polwärts in der Reihenfolge SC1, SC3, SC2 und SC4 (SC1 als erster, SC4 als letzter). Sie durchquerten nacheinander die Cusp in mittleren Höhen zwischen 3:45-3:50 UT. Kurz nach dem Durchqueren der Cusp Region wurden mit den beiden letzten Satelliten drei Strukturen polwärts der Cusp beobachtet, die in den aufeinander folgenden Satelliten Durchgängen zunächst auftauchten und dann wuchsen. In diesen Strukturen werden hohe Flüsse von Ionen und Elektronen niedriger Energie beobachtet. Abb. 2-6 zeigt diese drei Strukturen und die auf den vier Satelliten gemessene Elektronendichte und Magnetfeldstärke. Es ist offensichtlich, dass sich die Strukturen polwärts bewegen und die Satelliten überholen, da die Strukturen mit dem letzten Satelliten (SC4, cyan) zuerst und mit SC2 (grün) kurz danach beobachtet werden. Dies trifft für alle drei Strukturen zu. Außerdem werden die Strukturen mit SC4 auch zuletzt gesehen. Dies deutet darauf hin, dass es sich tatsächlich um eine hin-und-her Bewegung der Cusp infolge einer Rotation des IMF handelt. Die Cusp bewegt sich zunächst polwärts, infolge einer Rotation des IMF von südwärts auf nordwärts, und infolge der Verlagerung der Rekonnexion Region in höhere Breiten. Danach

Es bleibt die Frage, warum frühere Arbeiten zu dem Schluss kamen, dass das IMF nicht die Lage der Cusp in magnetischer Breite bestimmt. Die Tatsache, dass die Lage der Cusp besser mit dem AE Index korreliert als mit IMF B_z ist sicher ein Zeichen dafür, dass der AE Index den Zustand der Magnetosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt besser beschreibt als IMF B_z . In der Tat beinhaltet der AE Index zu einem gewissen Grade die Vorgeschichte des Zustands der Magnetosphäre, IMF B_z jedoch nicht. So liefert die Substurm Aktivität wahrscheinlich über den AE Index zusätzliche Information für eine bessere Beschreibung der Magnetosphäre, und daher für eine genauere Lokalisierung der Lage der Cusp. Es ist jedoch wohl nicht richtig, dass die Substurm Aktivität einen direkteren Einfluss auf die Dynamik der Cusp hat als IMF B_z . Wir haben gezeigt, dass die Cusp nahezu sofort auf Rotationen des IMF reagiert und ein noch direkter Einfluss auf die Cusp Dynamik ist schwer vorstellbar.

Beams and diffuse ions at the Earth's Foreshock

Cluster provides for the first time simultaneous measurements of energetic ions in the foreshock

region of Earth's bow shock with several spacecraft. It has been shown in the past that there are two ion populations in the foreshock region: ion beams at the quasi-perpendicular and diffuse ions at the quasi-parallel bow shock. Behind the ion foreshock boundary, field-aligned back-streaming ions are observed. The diffuse ions are observed deep in the ion foreshock region, close to the quasi-parallel bow shock (Fig. 2-1). There is a close correlation between the occurrence of diffusive ions and magnetohydrodynamic waves at the quasi-parallel bow shock: the waves are excited by the ion streaming and the ions are pitch angle scattered by the waves. With simultaneous measurements of the densities of energetic ions as a function of distance from the bow shock we determined for two typical upstream ion events the spatial density gradients as a function of particle energy at the quasi-parallel bow shock. At energies of $\sim 10\text{-}32$ keV the gradient and therefore also the density decreases exponentially with distance, with an e-folding distance depending linearly on energy and solar wind speed. The e-folding distance is directly related to the scattering mean free path, λ , and to the acceleration time scales, t_{acc} , of the ions. In the two cases studied so far we obtain at 30 keV values of $\lambda \sim 2.4$ RE and $t_{\text{acc}} \sim 120$ s. This demonstrates that ion transport in the upstream region is diffusive and ion acceleration at the bow shock is very efficient.

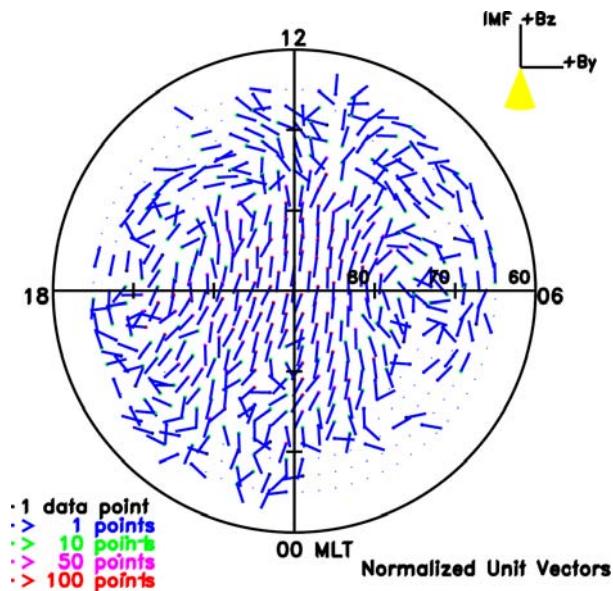


Abb. 2-4: Messung der magnetosphärischen Konvektion mit EDI, projiziert entlang der Magnetfeldlinien auf ein Höhe von 400 km in der Polkappe.

Fig. 2-4: Convection measurement with EDI, mapped along the magnetic field to the polar cap at 400 km altitude.

The 3D plasma sensors onboard Cluster provide also a detailed measurement of the ion distribution functions in the different regions of Earth's foreshock. Transitions between different regions as

seen by a spacecraft are usually due to rotations of the interplanetary magnetic field.

Figure 2-2 (upper panel) shows ion distributions as observed with the Cluster Ion Spectrometry experiment on Cluster 1 (SC1) during a long-lasting upstream event on February 18, 2003. The lower panel shows the total magnetic field and the angle α between the magnetic field vector and the X_{GSE} -axis obtained with the Flux Gate Magnetometer experiment onboard Cluster. At 11:20 UT $\alpha \sim 15^\circ$ and SC1 is deep in the foreshock region. The ions show a broad ring-like distribution (Fig. 2-2 upper-left), produced by pitch angle scattering of ions by self-excited large amplitude, low frequency waves. The presence of waves is evident in the lower panel, showing large fluctuations of the magnetic field when diffuse ions are observed. Following a large change in the orientation of the magnetic field to $\alpha \sim 30^\circ$ at 11:45, ion beams from the quasi-perpendicular bow shock have now access to the spacecraft. This is evident in the ion distribution at 12:20 (Fig. 2-2, upper-middle) that clearly shows an ion beam propagating in the upstream direction along the magnetic field. When transformed into the plasma frame of reference, the velocity of this beam is 1300 km/s, i.e. twice the solar wind velocity of ~ 650 km/s as measured in the upstream region at the same time. This demonstrates that the ion beam consists of reflected solar wind ions.

At later times, deeper in the foreshock region, the ion distribution is different again: we see a superposition of a diffuse ion distribution with remnants of a beam, where beam particles with large parallel velocity are lost upstream and only scattered beam particles with large pitch angles do have access to SC1.

Large-scale Convection in Earth's Magnetosphere

A major part of the transfer of momentum and energy from the solar wind to the Earth's magnetosphere takes place through magnetic reconnection. A direct consequence of this process is a large scale circulation of plasma and magnetic flux. This is schematically illustrated in Fig. 2-3 (a). When the interplanetary magnetic field (IMF) has a southward component reconnection with the Earth's magnetic field can occur in the subsolar region of the magnetosphere. The reconnected magnetic field lines and the associated plasma are then swept tailward because one end of the reconnected field lines remains embedded in the solar wind flow. Eventually the field lines reconnect again in the magnetotail and are transported back to the frontside magnetosphere, and eventually to the magnetopause, where the process can start over again.

Projected along the magnetic field lines into the Earth's polar cap, the circulation of the magnetic

field lines during southward IMF should produce a two-cell pattern as schematically illustrated in Fig. 2-3 (b). The numbers (1) to (9) label the field lines at different times.

The convection of magnetic field lines and the plasma attached to them can be measured by spacecraft traversing the polar cap. The Cluster mission is particularly suited for this purpose because it carries the electron drift instrument, EDI, developed under the responsibility of MPE that provides accurate measurements of the convection velocity, even in a low-density environment.

Figure 2-4 shows the statistical convection pattern obtained from EDI measurements for a time period of more than 4 years. Each EDI velocity measurement is first checked for stable IMF conditions, and thereafter mapped along the magnetic field lines into the northern or southern polar cap. The results confirm the expected convection patterns for southward pointing IMF (and also for IMF orientations in the ecliptic plane). For northward IMF (not shown), no clear pattern emerges. Under northward IMF conditions, magnetic reconnection is not expected to occur on the front-side magnetopause, and thus the coupling between the IMF and the geomagnetic field is expected to be less effective.

An important aspect of this work is the determination of the solar wind conditions at Earth's magnetopause from measurements by a monitor (NASA's ACE spacecraft) positioned near the L1 libration point 1.5 Million km upstream of the Earth. The propagation time of the IMF observed at ACE and its arrival near Earth is not simply determined by the distance and the solar wind velocity, but is dependent on the orientation of the IMF variations because the monitoring spacecraft is not located on a solar wind stream line that connects it with the magnetopause. In order to better determine the time delay, we have implemented a more reliable method to infer the orientation of the solar wind variations. We have also introduced an IMF stability measure in order to exclude times when the magnetospheric convection had not enough time to respond to changes of solar wind and IMF conditions.

Response of the mid-altitude Cusp to rapid Rotations of the IMF

The response of the magnetosphere to changes in the interplanetary magnetic field (IMF) has been debated since the beginning of space physics. It is thought that the dayside magnetosphere reacts very promptly to solar wind changes while the tail magnetosphere (night-side) reacts with some delay. In both cases, the process of magnetic reconnection is involved by ruling the dayside dynamics and by triggering substorms in the night-side. In the dayside, the cusp region, through which the solar wind plasma has a direct access to the mag-

netosphere and the ionosphere, plays a key role in solar-wind-magnetosphere-ionosphere coupling.

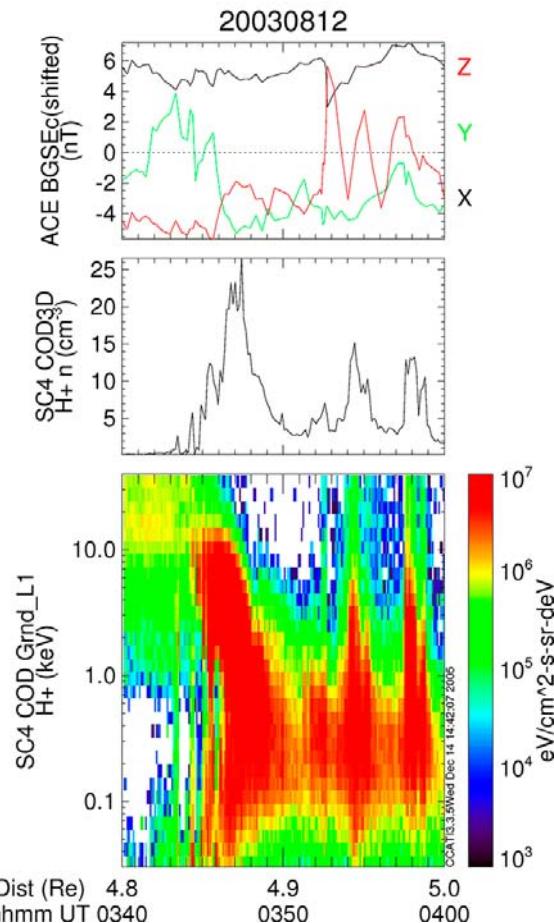


Abb. 2-5: Von oben nach unten: die drei Komponenten des interplanetaren Magnetfeldes (GSE Koordinaten), gemessen auf ACE, Protonendichte und Energie-Zeit Spektrogramm, gemessen auf Cluster, am 12. August 2003.

Fig. 2-5: From top to bottom: the three GSE-components of the interplanetary magnetic field recorded by ACE, proton density, and energy-time proton spectrogram both recorded by Cluster on August 12, 2003.

The cusp is a very dynamic region. Many studies report its motion in relation to the interplanetary magnetic field and the solar wind dynamic pressure. This was extensively done by observing its ionospheric footprint either from the ground or by low-altitude satellites, and by observing it *in situ* with magnetospheric probes like the Cluster fleet. Despite numerous reports on the IMF directly driving the cusp dynamics, some have shown that the dynamics are governed by a retarded IMF. Other studies indicate that the cusp location correlates better with the auroral electrojet (AE) index than with the Z-component of the IMF (B_Z) and their authors go even further claiming that the cusp dynamics are primarily ruled by substorm activity (i.e. night-side dynamics).

One of the main goals of the Cluster multi-spacecraft mission is precisely the study of the

polar cusp. We have found and studied an event that leaves no ambiguity on the direct role of the interplanetary magnetic field on the cusp location. Fig. 2-5 displays ACE and CIS/CODIF data from spacecraft 4 (SC4) on 12 August 2003. The 3 panels show (from top to bottom): (1) the IMF recorded by the ACE monitor at the liberation point L1 in the solar wind, (2) the proton density measured by CIS/CODIF, and (3) the energy-time spectrogram of the protons also measured by CIS/CODIF. The

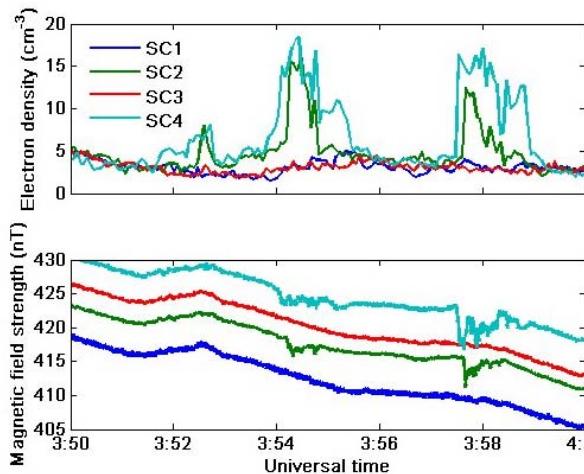


Abb. 2-6: Die drei Lageänderungen der Cups, wie sie in der Elektronendichte (oben) und in der Magnetfeldstärke (unten) sichtbar werden.

Fig. 2-6: Close-up of the three cusp displacements in the electron density (top) and in the magnetic field strength (bottom) measured onboard the four Cluster spacecraft.

four Cluster spacecraft were flying pole-ward in the order SC1, 3, 2, and 4 (SC1 leading, SC4 trailing). They crossed the mid-altitude cusp one after the other at 3:45-3:50 UT. Shortly after the cusp crossing, the two trailing satellites observed three structures pole-ward of the cusp that appeared and grew in successive satellite passes. In these structures, high fluxes of low-energy ions and electrons are observed. Fig. 2-6 shows a close-up of the three structures and displays the electron density and magnetic field strength at all four Cluster

spacecraft. It is clear that the structures move pole-ward and overtake the spacecraft as the trailing satellite (SC4, in cyan) observes the structures first and SC2 (in green) a little later. This is true for all three structures. Then, it appears that SC4 is also the last satellite to observe the structures. We found that what initially looked like growing structures in the successive passes of SC2 and SC4 are actually a back-and-forth displacement of the cusp region over the spacecraft due to IMF rotations. The cusp moves pole-ward, when the IMF is turning from southward to northward; the cusp moves also pole-ward as the reconnection site at the magnetopause moves to high latitudes. Then, the cusp moves back equator-ward when the IMF turns back southward. This shows that the cusp reacts extremely fast to rotations of the IMF and that each of the three northward turnings of the IMF is accompanied by a pole-ward displacement of the cusp. The latitudinal component of the cusp velocity at $\sim 5R_E$ altitude is estimated to be of the order of 30 km/s.

Why did some authors reach the conclusion that the IMF is not the direct driver of the cusp latitudinal location? The fact that the cusp location correlates better with the AE index than IMF B_z is surely a proof that the AE index describes the state of the magnetosphere at a given time in a better way than does IMF B_z . Indeed, it is true that the value of IMF B_z does not account for the history of the state of the magnetosphere; the AE index does to some extent. So, the substorm activity probably adds information, through the AE index, for a better description of the magnetosphere, and therefore, for a more accurate description of the cusp location. However, it is perhaps not correct to claim that the substorm activity has a more direct impact on the cusp dynamics than B_z . We have seen that the cusp reacts almost immediately to changes in the IMF and it is hard to imagine a more direct driver of the cusp dynamics.

[BLAGAU, FÖRSTER, GEORGESCU, HAALAND, KIS, KLECKER, MARGHITU, PASCHMANN, PITOUT, SCHOLER, TREUMANN, VAITH]

2.1.2 Sonne und Heliosphäre / Sun and Heliosphere

Ionenladung energetischer Teilchen in grauduellen und impulsiven solaren Ereignissen

Die Ionenladung, sowie Energiespektren und Element- und Isotopenhäufigkeiten solarer energetischer Teilchen (SEP) liefern entscheidende Informationen über ihren Ursprung und über Beschleunigungs- und Transportprozesse an der Sonne und im interplanetaren Raum. Teilchen hoher Energie von der Sonne wurden erstmals 1946 gemessen und es bestand damals kein Zweifel, dass ihr Ur-

sprung eng mit solaren Flares zusammen hing. Später wurde klar, dass auch Beschleunigung an interplanetaren Schockwellen ein effizienter Mechanismus zur Teilchenbeschleunigung sein kann. In den frühen 70er Jahren wurde eine neue Art von Teilchenereignissen entdeckt, die gegenüber den solaren Häufigkeiten eine starke Anreicherung von ^3He zeigten, mit $^3\text{He}/^4\text{He} \geq 1$, wobei dieses Verhältnis in der Korona oder im Sonnenwind $\sim 5 \times 10^{-4}$ beträgt. In diesen Ereignissen wurden später auch eine Anreicherung von schweren Ionen bis zu einem Faktor ~ 10 (für Fe) gefunden, sowie wesent-

lich höhere mittlere Ionenladungen schwerer Ionen. Während in Ereignissen mit hohen Teilchenflüssen, die in der Regel mit interplanetaren Schocks korreliert sind, für Eisen eine, mit koronalen Temperaturen von $1\text{-}2 \times 10^6$ K kompatible, mittlere Ionenladung von $Q_{Fe} \sim 10\text{-}14$ beobachtet wurde, war dieser Wert für ^3He -reiche Ereignisse $Q_{Fe} \sim 20$. Wegen dieses großen Unterschieds wurde die Ionenladung als einer von mehreren Parametern zur Klassifizierung dieser Ereignisse in *impulsive* und *graduelle* SEP Ereignisse verwendet. Dabei sind die *impulsiven* Ereignisse mit solaren Flares korreliert, und die hohen Ladungszustände schwerer Ionen wurden als ein Folge der hohen Temperatur von $\sim 10^7$ K im Flaregebiet interpretiert. Die *graduellen* Ereignisse waren dagegen mit interplanetaren oder koronalen Schocks korreliert, die von koronalen Massenauswürfen angetrieben werden und Element- und Ionenhäufigkeiten ähnlich denen des Sonnenwindes zeigen.

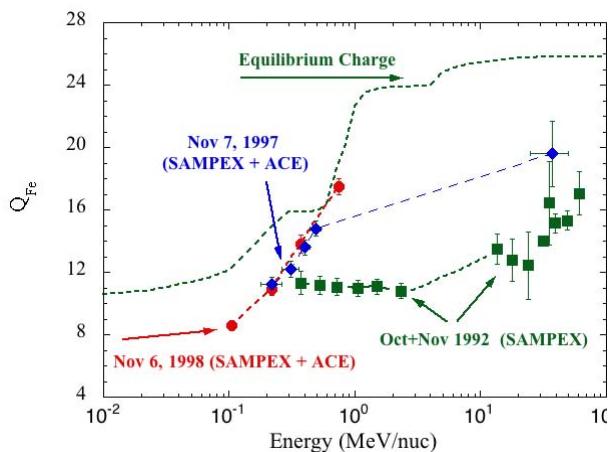


Abb. 2-7: Variation der mittleren Ionenladung von Eisenionen in den SEP Ereignissen vom Okt/Nov 1992 und Nov 1997.

Fig. 2-7: Variation of the mean ionic charge of Fe in the Oct/Nov 1992 and Nov 1997 SEP events.

Graduelle Ereignisse: Neue Messungen der Ionenhäufigkeiten mit Experimenten auf den Satelliten SAMPEX, SOHO und ACE, die erstmals den großen Energiebereich vom Sonnenwind (~ 1 keV/amu) bis zu ~ 70 MeV/amu abdecken, zeigen, dass die mittlere Ionenladung stark mit der Energie variiert. Abb. 2-7 zeigt als Beispiel die mittlere Ionenladung von Eisen im Energiebereich $\sim 0.1\text{-}70$ MeV/amu. Bei suprathermischen Energien bis zu ~ 0.20 MeV/amu ist die mittlere Ionenladung von Eisen meist kompatibel mit typischen Ladungszuständen im Sonnenwind ($Q_{Fe} \sim 10$). Bei höheren Energien von $\sim 0.2\text{-}1$ MeV/amu ist Q_{Fe} sehr variabel. Dabei ist Q_{Fe} entweder konstant oder steigt mit Energie um mehrere Ladungszustände an. Bei höheren Energien ist Q_{Fe} oft wesentlich größer, mit $Q_{Fe} \sim 20$ bei Energien > 10 MeV/amu (Abb. 2-7).

Impulsive Ereignisse: Mit der neuen Generation von Instrumenten mit wesentlich verbesserter Auf-

lösung und Empfindlichkeit an Bord von SOHO und ACE wurde erstmals die Bestimmung der Ionenladung in mehreren *impulsiven* Ereignissen im Energiebereich $\sim 0.05\text{-}1$ MeV/amu möglich. Diese Messungen zeigten einen systematischen Anstieg der Ionenladung von $Q_{Fe} \sim 12$ bei Energien < 100 keV/amu auf $Q_{Fe} \sim 16\text{-}20$ bei 350-550 keV/amu. Dies erklärt die hohen Ladungszustände, wie sie früher bei ~ 1 MeV/amu beobachtet wurden, da sie offenbar der Hochenergie-Teil einer energieabhängigen Ladungsverteilung waren.

Ein starker Anstieg der Ionenladung für Energien unter 1 MeV/amu kann nur durch zusätzliche Ionisation der Ionen durch Protonen und Elektronen in der dichten Umgebung der unteren Korona verursacht werden. Modellrechnungen der letzten ~ 5 Jahre, die Beschleunigung, Coulomb Verluste, sowie eine Änderung der Ionenladung durch Ionisations- und Rekombinationsprozesse berücksichtigen, zeigten, dass die beobachtete Abhängigkeit der mittleren Ladung von Energie reproduziert werden kann, wenn der Energieverlust der Ionen im interplanetaren Raum während der Ausbreitung der Ionen von der Quelle an der Sonne bis zur Beobachtung nahe der Erde berücksichtigt wird. So können die Bestimmung der Ionenladung, der Energiespektren und der Ausbreitungscharakteristika genutzt werden, um Temperatur, Dichte, sowie Zeitskalen für die Beschleunigung in der Quellregion abzuleiten. Als Beispiel zeigt Abb. 2-8 die mittlere Ladung von Eisen in dem impulsiven Ereignis vom 20. Juli 1999. Die Messungen ergaben in diesem Fall eine mittlere freie Weglänge für Streuung im interplanetaren Raum von $\lambda = 0.3$ AE, $T = 1.58 \times 10^6$ K, und $\tau_{acc} N \sim 10^{11}$ s cm $^{-3}$. Für typische Beschleunigungszeiten $\tau_{acc} \sim 1\text{-}100$ s entspricht dies koronalen Dichten von $N > 10^9$ cm $^{-3}$, d.h. Höhen $< 2 R_S$ in der Korona der Sonne.

Ionic Charge Composition in gradual and impulsive Solar Energetic Particle Events

The ionic charge composition, energy spectra, elemental, and isotopic abundances of solar energetic particles (SEP) carry fundamental information on the source region and the acceleration and propagation processes. High-energy particles originating at the Sun were first reported in 1946 and there was little doubt that these particles were closely related to solar flares. Later it became clear that acceleration at interplanetary (IP) shocks is also an efficient mechanism for particle acceleration. In the early 70s a new type of event was discovered that showed enhanced ^3He abundances with $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratios ≥ 1 , while the corresponding ratio in the solar corona and solar wind is 5×10^{-4} . Such events were later found to exhibit enhancements of heavy ions by about an order of magnitude relative to coronal abundances, and significantly higher charge states of heavy ions. Whereas in large, IP shock related events, the mean ionic charge of heavy ions was

compatible with coronal temperatures of $1-2 \cdot 10^6$ K ($Q_{Fe} \sim 10-14$), in ^3He -rich events a mean charge of iron of $Q_{Fe} \sim 20$ was observed. Because of this large difference the ionic charge was used as one of several defining parameters for the classification of SEPs as *impulsive* and *gradual*, following a classification of flares based on the length of soft X-ray emission. In this scenario *impulsive* SEP events were related to flares, and the large ionic charge of heavy ions was interpreted as being due to high temperatures of $\sim 10^7$ K at the flare site. The *gradual* SEP events were related to coronal mass ejection driven coronal and interplanetary shocks with elemental abundances and ionic charge states similar to those in the solar wind.

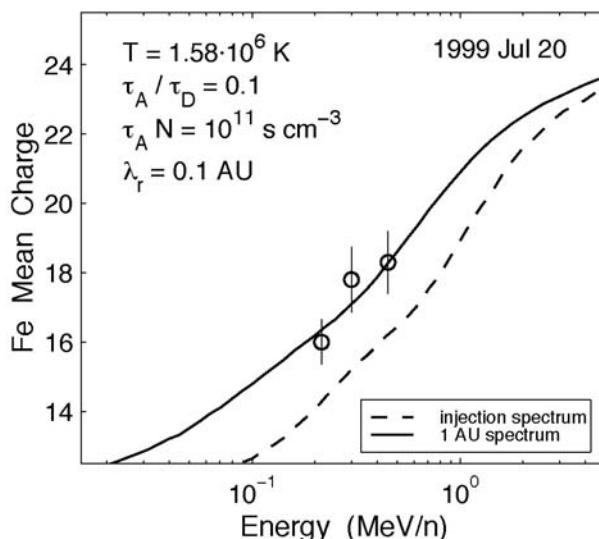


Abb. 2-8: Mittlere Ladung der Eisenionen im SEP Ereignis vom 20. Juli 1999, sowie die Modellrechnung ohne (gestrichelte Linie) und mit (durchgezogene Linie) Berücksichtigung der interplanetaren Ausbreitung.

Fig. 2-8: Mean ionic charge of iron in the July 20, 1999 SEP event and model calculations without (dashed line) and including (solid line) interplanetary propagation.

Gradual Events: New measurements of the mean ionic charge in large IP shock related events with advanced instrumentation onboard SAMPEX, SOHO and ACE, covering the energy range from solar wind to ~ 70 MeV/nuc, showed that the mean ionic charge as a function of energy is very variable. Fig. 2-7 shows as an example the mean ionic

charge of iron in two large events as observed with SAMPEX and ACE. At suprathermal energies of ~ 250 keV/nuc the mean ionic charge of Fe ($Q_{Fe} \sim 10$) is mostly compatible with typical solar wind charge states. At somewhat higher energies (0.2-0.6 MeV/nuc) the mean ionic charge shows large event-to-event variability. It is either constant or increases with energy, in some cases by several charge units. At higher energies, however, the mean ionic charge is often observed to be significantly larger than at low energies, with $Q_{Fe} \sim 20$ at energies greater than 10 MeV/nuc.

Impulsive Events: The new generation of instruments with much improved resolution and sensitivity onboard SOHO and ACE provided for the first time ionic charge measurements for a large number of individual impulsive events over an extended energy range of 0.05-1 MeV/nuc. These measurements showed a systematic increase of Q_{Fe} from $Q_{Fe} \sim 12$ at energies < 100 keV/nuc to $Q_{Fe} \sim 16-20$ at 350-550 keV/nuc, with. This shows that the high charge states of Fe as previously observed at 1 MeV/nuc were the high energy tail of an energy dependent ionic charge distribution of heavy ions in impulsive events.

A large increase of the mean ionic charge of heavy ions below ~ 1 MeV/nuc can only be explained in terms of impact ionization by protons and electrons in a dense environment in the low corona. Models including the effect of acceleration, Coulomb energy loss, charge changing processes such as impact ionization and recombination with ambient electrons have been investigated over the last ~ 5 years. It has been demonstrated that these models are able to reproduce the observed ionic charge dependence on energy in impulsive events, if the effect of energy loss during propagation between the Sun and 1 AE is taken into account. Thus, the determination of ionic charge states, energy spectra and propagation characteristics can be used to infer temperature, density, and acceleration time scales in the acceleration region. An example is shown in Fig. 2-8. The ionic charge measurements in this impulsive event can be reproduced with an interplanetary scattering mean free path $\lambda \sim 0.1$ AE, $T_e = 1.58 \cdot 10^6$ K, and $\tau_A N \sim 10^{11} \text{ s cm}^{-3}$. For typical acceleration time scales of $\tau_A \sim 1-100$ s, this corresponds to coronal densities $> 10^9 \text{ cm}^{-3}$, i.e. coronal altitudes less than 2 RS.

[KLECKER, SCHOLER, TREUMANN]

2.1.3 Planeten, Kometen und Asteroiden / Planeten, Kometen and Asteroids

Hochauflöste abbildende Röntgenspektroskopie der oberen Atmosphäre und Exosphäre vom Mars

Im Jahr 2001 hatten wir mit dem Satelliten Chandra Röntgenstrahlung vom Mars entdeckt und gezeigt, dass sie im wesentlichen durch Fluores-

zenzstreuung solarer Röntgenstrahlung in der oberen Marsatmosphäre entsteht. Daneben hatten wir Hinweise auf eine zweite, völlig andere Quelle von Röntgenstrahlung gefunden, die ihre Ursache in einem Ladungsaustausch zwischen hochionisierten schweren Atomen im Sonnenwind und dem

Neutralgas in der Mars-Exosphäre haben könnte. Im November 2003 hatten wir Mars erstmals mit dem Röntgensatelliten XMM-Newton beobachtet. Die aus den EPIC-Daten erhaltenen Ergebnisse bestätigen die Existenz beider Strahlungskomponenten und deren Interpretation.

Auf dem Röntgensatelliten XMM-Newton befinden sich neben den drei EPIC Instrumenten auch zwei Reflektionsgitterspektrographen (RGS: Reflection Grating Spectrometer), die zeitgleich betrieben werden. Die damit gewonnenen Daten haben wir mittlerweile eingehend untersucht. Obwohl Mars eine sehr schwache Röntgenquelle ist, stellte sich heraus, dass die Empfindlichkeit des RGS ausreicht, um damit erstmals eine hochauflöste abbildende Röntgenspektroskopie der oberen Atmosphäre und Exosphäre von Mars durchführen zu können.

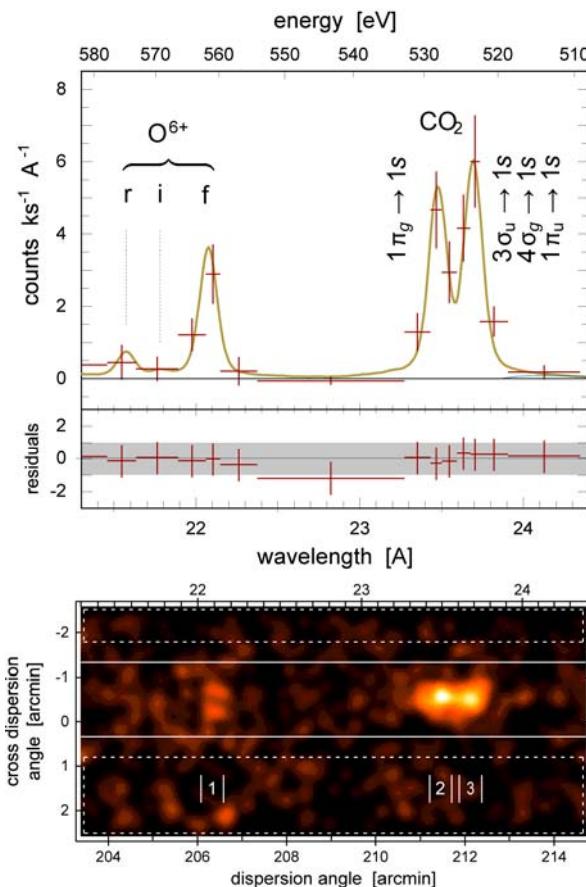


Abb. 2-9: a) Ausschnitt aus dem RGS-Mars-spektrum. b) Zugehöriges RGS-Bild im gleichen Maßstab wie bei (a).

Fig. 2-9: a) Section of the RGS Mars spectrum. b) Corresponding RGS image in the same scale as in (a).

Abbildung 2-9(a) zeigt links das Emissionslinien-Triplett (r,i,f) von sechsfach ionisiertem Sauerstoff (O^{6+}). Die Tatsache, dass die Spin-verbotene Linie (f) dominiert, ist der direkte Beweis dafür, dass diese Emission durch Ladungsaustausch zustande kommt. Rechts befindet sich die Fluoreszenzlinie

von neutralem Sauerstoff. Es ist deutlich zu sehen, dass diese Linie aus zwei Komponenten besteht. Die rechte Komponente kommt dadurch zustande, dass sich in der Marsatmosphäre die Sauerstoffatome in Kohlendioxyd-Molekülen befinden, wodurch zusätzliche Übergänge möglich sind. Abb. 2-9(b) zeigt die zugehörigen RGS-Bilder im gleichen Maßstab wie bei (a). Die beiden CO_2 -Bilder rechts (2,3) entsprechen der scheinbaren Größe von Mars bei der vorhandenen räumlichen Auflösung. Das Bild der Spin-verbotenen Ladungsaustauschlinie (1) dagegen zeigt kein Signal am Ort des Planeten, sondern zwei Emissionsgebiete senkrecht zur Dispersionsrichtung. Dies bedeutet, dass die Fluoreszenzstrahlung, wie erwartet, aus der oberen Marsatmosphäre kommt, während die Emission von O^{6+} etwa 3000 km über den beiden Marspolen entsteht. Daraus lässt sich folgern, dass hoch über den Polen die Wechselwirkung zwischen siebenfach ionisierten Sauerstoffatomen im Sonnenwind und dem Neutralgas der Mars-Exosphäre besonders intensiv ist.

Da es sich bei RGS um spaltlose Spektrographen handelt, entsteht in jeder Spektrallinie ein Bild des beobachteten Objekts. Aufgrund der hohen Dispersion von RGS und der geringen räumlichen Ausdehnung von Mars kam es zu keinen nennenswerten Überlagerungen der einzelnen Bilder, so dass wir die räumliche Struktur der Röntgenemission in einzelnen Spektrallinien direkt untersuchen konnten. Besonders interessant ist der in Abb. 2-9 gezeigte Spektralbereich, der die Fluoreszenzstrahlung von neutralem Sauerstoff (im CO_2 Molekül) sowie die Emission von sechsfach ionisiertem Sauerstoff (O^{6+}) enthält. Die spektralen Bilder zeigen, dass die Fluoreszenzstrahlung, wie erwartet, aus der oberen Marsatmosphäre kommt, während die Emission von O^{6+} etwa 3000 km über den beiden Marspolen entsteht. Das beobachtete Intensitätsverhältnis der Emissionslinien im O^{6+} Multiplett bestätigt, dass diese Emission durch Ladungsaustausch zustande kommt. Daraus lässt sich folgern, dass hoch über den Marspolen die Wechselwirkung zwischen siebenfach ionisierten Sauerstoffatomen im Sonnenwind und dem Neutralgas der Mars-Exosphäre besonders intensiv ist.

High resolution imaging X-ray Spectroscopy of the upper Atmosphere and Exosphere of Mars

In 2001 we had discovered X-ray radiation from Mars with the Chandra satellite. We could show that this radiation is mainly caused by fluorescent scattering of solar X-rays in the upper Martian atmosphere. In addition to that, we had found indications of a second, completely different source of X-ray emission, which might result from charge exchange interactions between highly ionized heavy atoms in the solar wind and the neutral gas in the Martian exosphere. In November 2003 we had

observed Mars for the first time with the X-ray satellite XMM-Newton. The results obtained with EPIC confirm the existence of both emission components and their interpretation.

In addition to the three EPIC instruments, XMM-Newton carries two Reflection Grating Spectrometers (RGS), which are operated simultaneously. The data obtained with these instruments have now been analyzed in detail. Although Mars is a very faint X-ray source, it turned out that the sensitivity of RGS is sufficient for performing, for the first time ever, high resolution imaging X-ray spectroscopy of the upper Martian atmosphere and exosphere.

Figure 2-9(a) shows at left the emission line triplet (r,i,f) of sixfold ionized oxygen (O^{6+}). The fact that the spin forbidden line (f) dominates is the direct proof that this emission results from charge exchange interactions. At right we see the fluorescence line of neutral oxygen, which is clearly resolved into two components. The right component results from the fact that in the Martian atmosphere the oxygen atoms are embedded in carbon dioxide molecules, which gives rise to additional transitions.

Fig. 2-9(b) shows the corresponding RGS images in the same scale as in (a). The two CO_2 images at right (2,3) agree with the apparent size of Mars at the given spatial resolution. The image of the spin forbidden charge exchange line (1), however, exhibits no signal at the position of the planet, but shows instead two emission regions displaced perpendicularly to the dispersion direction.

This implies that the fluorescence radiation comes from the upper Martian atmosphere, as expected, while the O^{6+} emission originates about 3000 km above both poles of Mars. We can thus conclude that the interaction between sevenfold ionized oxygen atoms in the solar wind and the neutral gas in the Martian exosphere is particularly intense high above the poles.

As a slitless spectrometer, RGS produces in each spectral line an image of the observed object. Due to the high dispersion of RGS and the small spatial extent of Mars, there was essentially no overlap between the individual images. This enabled us to study the spatial structure of the X-ray emission in individual spectral lines in a straightforward way. The region shown in Fig. 2-9 is particularly interesting, because it contains fluorescence radiation of neutral oxygen (embedded in CO_2 molecules) as well as emission of sixfold ionized oxygen (O^{6+}). The spectral images show that the fluorescence radiation comes from the upper Martian atmosphere, as expected, while the emission of O^{6+} originates about 3000 km above both poles of Mars. The observed intensity ratio of the emission lines in the O^{6+} multiplet proves that this emission results from charge exchange processes. This implies that the interaction between sevenfold ionized oxygen atoms in the solar wind and the neutral gas in the Martian exosphere is particularly intense high above the poles of Mars.

[DENNERL]

2.2 Sternentwicklung und das Interstellare Medium / Stellar Evolution and the Interstellar Medium

Sterne, Gruppen von Sternen und ganze galaktische Stern-Populationen stehen in andauernden Entwicklungsprozessen und in dynamischer Wechselwirkung mit dem interstellaren Medium, in das sie eingebettet sind. Wir beobachten diese dynamischen Vorgänge und Zustandsformen der Sterne und Gaswolken in vielen Spektral-Bereichen, um ein möglichst vollständiges Verständnis dieser astrophysikalischen Prozesse zu entwickeln. Am MPE sind wir vorwiegend an den extremen Entwicklungsstadien der Sterne interessiert, d.h. den Bedingungen und Vorgängen der Stern-Bildung und den Endstadien und Überresten von Sternen.

Das Vor- und Frühstadium von Sternen ist gekennzeichnet durch dichte interstellare Gaswolken, aus denen durch Kollaps und Akkretion junge Sterne entstehen. Infrarot- und sub-mm Strahlung ist am besten geeignet, tief in diese Sternentstehungsregionen hineinzublicken und die sich bildenden Objekte zu studieren. Unser Institut ist wesentlich an solchen Beobachtungsprogrammen beteiligt und sucht nach jungen Sternen und Planeten mit Teleskopen der 8-10m-Kategorie unter Zuhilfenahme der Technik adaptiver Optik. Wir merken an, dass Sternbildung auch angesprochen wird in kosmologischen Studien (Farbklassifikation von Galaxien), und als Energiequelle aktiver Galaxienkerne (Kap. 2.3 und 2.4).

Die Endstadien von Sternen, besonders von massereichen Sternen, die ihren nuklearen Brennstoff schnell verbraucht haben, sind begleitet von gewaltigen Explosionen wie Supernovae und Novae und der Bildung von kompakten Sternformen wie weißen Zwergsternen, Neutronensternen oder schwarzen Löchern. Diese kompakten Objekte werden vor allem im Röntgen- und Gammastrahlenspektrum sichtbar, wenn sie in Binärsystemen Masse von einem normalen Begleitstern abziehen können. Die durch dieses Überströmen auf den kompakten Stern freigesetzte Energie führt zur extremen Aufheizung des Materiestroms, und auch zu Teilchenbeschleunigung in Jets. Ähnliche Vorgänge bei sich neu aus Sternen bildenden schwarzen Löchern haben vermutlich eine Verbindung zu Gammastrahlen-Bursts. Stark magnetisierte rotierende Neutronensterne werden auch als Pulsare beobachtet.

Am MPE vermessen wir im Röntgen- und Gammastrahlenspektrum die mit kompakten Sternen verbundenen Emissionsprozesse. Die an Einzelobjekten gewonnenen Erkenntnisse können dann auch auf ganze Sternpopulationen und ferne Galaxien angewandt werden, wenn einzelne Objekte nicht mehr aufgelöst werden können. Strahlung aus dem interstellaren Medium von stellaren Energieeinträgen oder radioaktivem Zerfall ist eher

diffus und besitzt hohe Energien (Röntgen- und Gammastrahlung). Unser Institut ist maßgeblich bei den Missionen XMM-Newton und INTEGRAL beteiligt, um heißes Plasma, Radioaktivität, und kosmische Strahlung über ihre jeweiligen Emissionsprozesse zu kartographieren.

Das interstellare Medium selbst (Abb. 2-10) ist sowohl für den Beginn als auch für das Ende eines Sternlebens bedeutsam. Im Laufe und vor allem am Ende einer Sternentwicklung kommt es zum Ausstoß von Energie und Gasmassen in das interstellare Medium durch Sternwinde und Supernova-explosionen; neues und schon vorhandenes interstellares Gas wird von Sternexplosionen durchmischt und für den Materiekreislauf aufbereitet. Bisher noch unverstandene Phasenübergänge und Mischungsprozesse führen zur Bildung von neuen Sternen, die das durch stellare Nukleosynthese der Vorgängergeneration angereicherte Gas in die jungen Sterne einbauen.

Das Verständnis des Materie-Kreislaufs über kosmische Entwicklungszeiträume ist wesentliches Ziel der Zusammenarbeit verschiedenster Disziplinen der Astrophysik. Die räumlichen Skalen reichen von der Lokalen Blase (Sonnenumgebung) bis zu einer gesamten Galaxie; die Skala intergalaktischen Gases wird dabei nicht hier, sondern in unserem Kapitel über Kosmologie angesprochen. Beobachtbare Eigenschaften der kosmischen Strahlung können unser Verständnis des interstellaren Mediums auch auf den großen Skalen verifizieren.

Im vorliegenden Kapitel konzentrieren wir uns auf MPE-Studien des letzten Jahres zu kompakten Sternpopulationen und Pulsaren sowie zu Rückkopplungen zwischen Sternen und ihrer Umgebung.

The fate and evolution of stars, individually, as groups, or as entire populations is intimately related to their interactions with their surrounding interstellar medium. We observe such interactions and stars in various evolutionary phases through a variety of astronomical windows of the entire electromagnetic spectrum, in order to develop a most complete picture of the astrophysical processes involved. At MPE, we are mainly interested in extreme phases of stellar evolution, i.e., the conditions of star formation, and the late stages and remnants of stellar evolution.

Stars are born from the dense parts of interstellar gas clouds through gravitational collapse and accretion. Infrared and sub-mm studies are capable of probing deep into those star formation environments to study the protostellar objects and young stars. Our institute takes on key roles in observa-

tional programs using 8-10m class telescopes and adaptive-optics technology to search for young stars and planets. We note that star formation also is addressed in Chapters 2.3 and 2.4 of this report, under the headings of cosmological studies (color classifications of galaxies) and active galaxies (as a key energy source).

Stellar evolution ends in violent events such as novae and supernovae, in particular of massive

Release of gravitational energy upon the infall onto the compact star heats up the impact region and its surroundings, and also may lead to acceleration of plasma in jet outflows. Similar processes may occur when stellar-mass black holes are formed, and thus they may be related to the phenomenon of gamma-ray bursts. Individual strongly magnetized rotating neutron stars can be observed also through high-energy emission as pulsars.

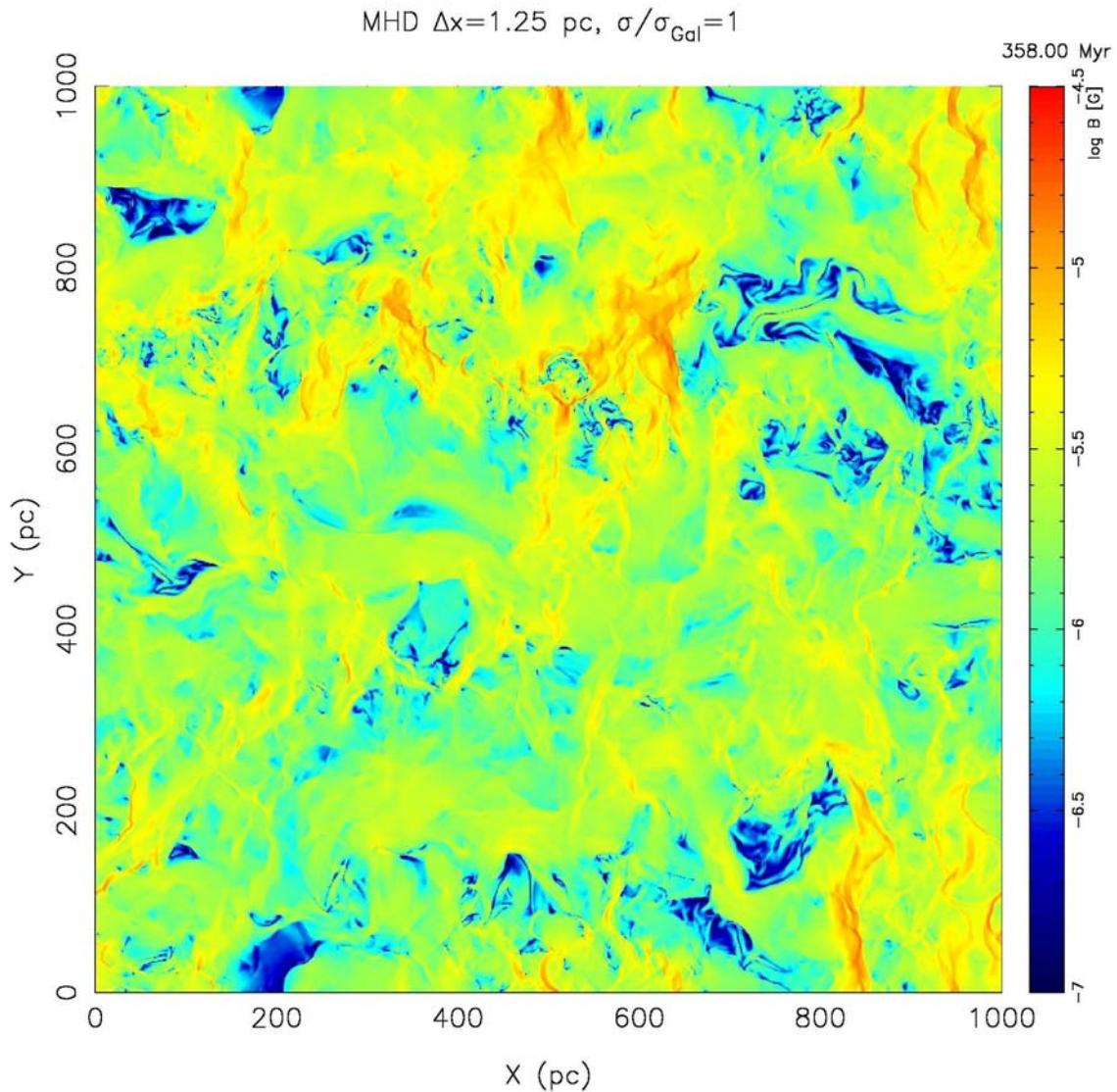


Abb. 2-10: Simulationsrechnungen der dynamischen Entwicklung des interstellaren Mediums infolge von Supernova-Explosionen als ein Teil unserer Studien zum Verständnis der Prozesse, die den Kreislauf der Materie beschreiben. Dargestellt ist, farbkodiert, die Stärke des interstellaren Magnetfeldes, wie es durch die Gasströmungen erzeugt wird.

Fig. 2-10: Simulations of the dynamical evolution of the interstellar medium as driven by supernova explosions. They are part of the studies to enlighten the processes that feed back gas ejected from stellar explosions into birth sites of new stars of a next generation. Shown is, colour-coded this strength of the interstellar magnetic field, generated by the gas flow.

stars which rapidly consume their fuel for nuclear burning. This leads to the production of compact stars, such as white dwarfs, neutron stars, and stellar-mass black holes. Such compact stars are observable through high-energy emission, as they accrete mass from a binary companion star.

At MPE, we study emission from compact stars mainly at X- and γ -ray energies. Lessons from specific objects can then be transferred to populations of sources or entire galaxies, in particular when those objects cannot be resolved. Emission from the interstellar medium, which is caused by

stellar energy injections or cosmic-ray interactions, generally is of diffuse nature at X-ray or γ -ray energies. Our institute participates in key roles in the XMM-Newton and INTEGRAL projects, where hot plasma, radioactivity, and cosmic ray processes are studied through their specific emission processes.

The interstellar medium (Fig. 2-10) plays a key role in the formation of stars, but also for late stellar phases. During and, more importantly, towards the end of stellar evolution, ejection of stellar material through winds and supernovae provides turbulent energy for mixing ambient and fresh gas, which is recycled into stars. Phase transitions, which lead to formation of stars, are still poorly understood, but through these the newly produced elements

from stellar explosions are incorporated into next-generation stars.

The understanding of this cycle of matter over cosmic time scales requires cross-disciplinary collaborations in astrophysics. Spatial scales extend from the local bubble around the Sun through galaxies as a whole; the scale of intergalactic gas is addressed in the “cosmology” chapter of this report. Observable phenomena of cosmic rays have the potential to verify our understanding of the recycling of matter even on largest scales.

The present chapter of this MPE Annual Report focuses on studies performed at MPE within the past year in the areas of compact stars and their feedback processes with the interstellar medium.

2.2.1 Quellen in unserer Galaxie / Sources in our Galaxy

Gammastrahlung von Sternen und/oder interstellarem Gas – Neue Einblicke mit INTEGRAL/SPI

Strahlung hoher Energien im Röntgen- und Gamma-Bereich kann von einer Vielzahl kompakter Objekte, und von Prozessen im interstellaren Medium erzeugt werden. Unsere Galaxis ist als Quelle solcher Hochenergie-Emission bekannt, wie sie uns typisch als leuchtendes Band entlang der inneren Regionen der Milchstraßenebene erscheint. Zum detaillierten astrophysikalischen Verständnis ist allerdings die Zuordnung der Emission notwendig, sei es zu zahlreichen schwach leuchtenden und einzeln vielleicht nicht erkennbaren Einzelobjekten oder zu diffusen Prozessen des interstellaren Mediums.

Kontinuumsemission diffusen interstellaren Ursprungs erwarten wir in diesem Energiebereich aufgrund der Prozesse von Positronen-Anihilation und inverser Compton-Emission oder Bremsstrahlung von Elektronen der kosmischen Strahlung oder von hadronischen Wechselwirkungen kosmischer Strahlung (π^0 -Zerfall). Theorien zum Ursprung nichtthermischer Gamma-Emission beschreiben eine Elektronen-Beschleunigung entweder über Supernovae oder turbulentes interstellares Medium, oder in-situ aus suprathermalen Elektronen, zusammen mit Bremsstrahlung der dann hochenergetischen Elektronen. Alternativ könnte für die diffuse Emission eine Population von Punktquellen verantwortlich sein, die einzeln zu leuchtschwach für eine Erkennbarkeit sind – dann wäre die Emission nicht eigentlich diffuser Natur.

Die Unterscheidung derartig unterschiedlicher Quellen diffus erscheinender Emission aus der inneren Galaxie ist nicht einmal im Röntgenbereich mit seiner besseren Empfindlichkeit und Bildauflösung (XMM und Chandra) möglich. Hochauflösen-

de Chandra-Bilder (2-10 keV) wurden als Nachweis einer wahrhaftig-diffusen Quellnatur gedeutet; ähnlich wurde aus XMM-Newton Messungen geschlossen dass 80% der Röntgenemission des galaktischen Bandes diffuser Natur sind, während nur 9% aus galaktischen Punktquellen stammen sollen (der Rest wäre extragalaktischer Natur). Allerdings sehen wir nur „die Spitze des Eisbergs“ der kompakten Quellen: Von den hellsten und naheliegendsten abgesehen sind die meisten der Quellen einzeln nicht erkennbar, machen also die Annahme von Modellvorstellungen über ihre räumliche Verteilung und Intensität nötig. Unsere Kollegen des Nachbarinstituts (MPA) kamen vor kurzem zu dem Schluss dass diese gesamte 2-10 keV Emission von einer Vielzahl einzeln schwacher Quellen verursacht wird, und setzen sich damit in Widerspruch zu der obigen, auch jüngst noch vehement verteidigten Ansicht.

Im harten Röntgenbereich (10-100 keV) ist die diffuse Emission wegen der Dominanz einzelner heller Quellen schwer erkennbar. Tatsächlich ist INTEGRAL das erste Instrument, mit dem die Komponenten separierbar werden, da erst damit hinreichende Abbildungsqualität verbunden mit der nötigen spektralen Auflösung und einem großen Gesichtsfeld bereitstehen; zudem ergänzen sich die INTEGRAL-Instrumente indem das hochauflösende IBIS Teleskop die helleren Quellen bei niedrigen Energien zunächst lokalisiert, wo sie bekanntermaßen auch signifikant zur Emission beitragen. Bei höheren Energien fallen die Spektren der meisten Quellen in ihrer Intensität steil ab bis zur Bedeutungslosigkeit.

Wir haben im Energiebereich 18-1000 keV die INTEGRAL-Durchmusterung der inneren Galaxie mit SPI Abbildungsmethoden analysiert, um die Komponenten von Quellen und diffusen Prozessen zu studieren. Dabei nutzen wir einen auf IBIS-Analyse basierten Katalog der Quell-Kandidaten, und er-

zeugen Spektren für diese sowie für eine Vielfalt möglicher Verteilungsfunktionen diffuser Emission. Daraus erkennen wir eine diffuse Emission in Form eines Potenzgesetz-Spektrums mit Index -1.7, eine Komponente die der Annihilation von Positronen mit Kontinuum und 511 keV Linie zugeordnet wird, und dazu eine weitere Komponente, die ebenfalls ein Potenzgesetz-Spektrum hat und nun mit SPI erstmals erscheint. Im Vergleich zwischen innerer Galaxis und außerhalb liegenden Teilen der galaktischen Ebene zeigt sich, dass die Annihilationskomponente in der Ebene vergleichsweise gering ist, die Potenzgesetz-Komponenten jedoch beide intensiv verbleiben. Dies beweist den unterschiedlichen Ursprung nichtthermischer Emission.

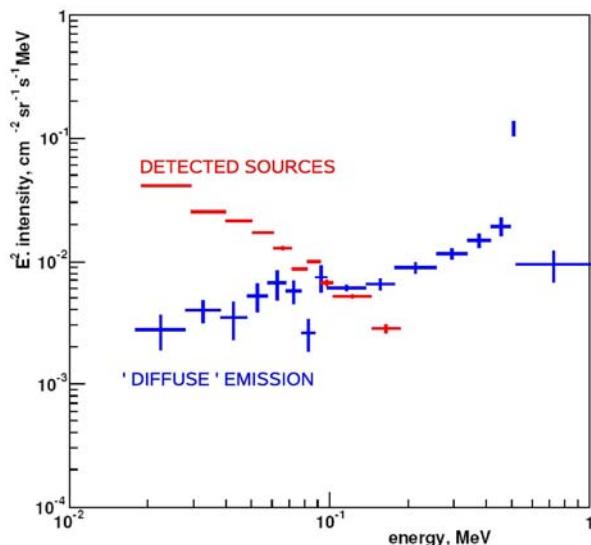


Abb. 2-11: Zerlegung der mit INTEGRAL beobachteten Gammaemission der inneren Galaxie in Beiträge einzelner Quellen und anscheinend diffuse Emission.

Fig. 2-11: INTEGRAL decomposition of inner-galaxy gamma-ray emission into contributions from detected sources and from apparently diffuse emission.

Die erkennbaren Quellen machen etwa 90% der galaktischen Emission zwischen 20 und 60 keV aus, fallen dann spektral steiler ab als die diffuse Emission: ihr Beitrag wird schnell unwesentlich mit höherer Energie. Unsere Messungen illustrieren einen klaren Wechsel von quelldominierter zu diffuser Emission mit der Energie im Bereich der inneren Galaxis bei einer Energie von etwa 100 keV (Abb. 2-11). Im Bereich 20-100 keV ist das Verhältnis quellverursachter zu diffuser Emission etwa 10, in Übereinstimmung mit Abschätzungen von $2 \cdot 10^{39}$ erg s⁻¹ für galaktische Quellen und 10^{38} erg s⁻¹ für diffuse Emission. Das Spektrum der diffusen Komponente ist übereinstimmend zwischen den RXTE, SPI, und COMPTEL Messungen, also bei niedrigerer und höherer Energie. Mit SPI messen wir allerdings eine etwas niedrigere diffuse Intensität als von OSSE berichtet, was wir

der vollständigeren Zuordnung des Quellenbeitrags durch unsere bessere Abbildung zurechnen.

Das mit RXTE erhaltene Spektrum liegt sicher oberhalb der Extrapolation des mit SPI gemessenen Potenzgesetz-Spektrums; daher fällt das Emissionsspektrum der Quellen vermutlich steiler aus als unser Potenzgesetz beschreibt, oder aber im Bereich der RXTE Messungen wird eine andere Quellkomponente sichtbar. Diese Emission mit Potenzgesetz-Spektrum ist schwer als diffuser Prozess vorstellbar: inverse Compton-Emission kann für maximal 10% der Intensität verantwortlich sein. Daher erscheint uns eine Population kompakter Quellen wahrscheinlicher Ursprung. Neutronsterne mit Gamma-Emission (Pulsare, AXPs) sind plausible Kandidaten. Eine Breitband-Darstellung des Spektrums galaktischer Emission von 10 keV bis 100 GeV (Abb. 2-12), verdeutlicht diese Interpretation, mit unterschiedlichen Beiträgen von Quellen und diffuser Emission.

Diffuse Emission von Radioaktivität in unserer Galaxis

Gammastrahlung radioaktiver Isotope beweist unmittelbar den Prozess der Elemententstehung im Universum, und kann von hinreichend nahe liegenden Quellen mit Gammastrahlen-Teleskopen gemessen werden. Obwohl nur wenige Isotope hinreichend intensive Gamma-Emission bewirken, ergänzen die entsprechenden Gammastrahl-Messungen die anderweitigen, meist weniger direkten Messmethoden kosmischer Nukleosynthese. Dazu gehören die langlebige Radioaktivität der ^{26}Al und ^{60}Fe Isotope, sowie Gammaemission aus der Annihilation von Positronen beim Zusammentreffen mit deren Antiteilchen, den Elektronen.

^{26}Al Gammastrahlung war 1978 im interstellaren Medium entdeckt worden; zusammen mit der Gammaemission der kurzebigen Ni und Co Isotope der SN1987A stellen diese den einzigen direkten Beweis dafür dar, dass stellare Elemententstehung im gegenwärtigen Universum neue Atomkerne erzeugt. Mit ihrer Zerfallszeit von Millionen von Jahren spiegeln diese Isotope zudem die Vorgänge wider, die derartig neu erzeugtes Material in den Kreislauf der Materie und damit in nachfolgende Sternengenerationen einbringt – die mit Endstadien von Sternentwicklung ansonsten verbundenen virulenten Strahlungsphänomene vergehen dagegen vergleichsweise sehr kurzfristig.

Mit dem Gamma-Spektrometer auf INTEGRAL lassen sich die Energiewerte dieser radioaktiven Gammalinen mit bisher unerreichter Präzision messen. Nach nunmehr 3 Missionenjahren ist das kumulierte Signal von ^{26}Al (Abb. 2-13) hinreichend deutlich, um ortsauflösende Spektroskopie in den Zentralregionen unserer Galaxie durchzuführen. Daraus zeigte sich, dass dem ^{26}Al Signal die Natur der galaktischen Rotation aufgeprägt ist, die

die Linienposition in charakteristischer Weise variiert lässt (Abb. 2-14). Daraus ist ersichtlich dass die beobachtete ^{26}Al Emission aus galaxienweit verteilten Quellregionen stammt (und nicht aus besonders ^{26}Al -angereicherten Regionen im Vordergrund – die Cygnus-Region wurde als ein derartiger prominenter Sonderfall diskutiert).

Milchstraße mit ähnlichen Galaxien basieren, in denen man allerdings die Population massereicher Sterne leichter als in unserer Galaxis vermessen kann. Darüber hinaus widerlegt unsere neue Messung der ^{26}Al Linie mit einer sehr geringen Linienbreite ein früheres Resultat, das hohe interstellare Gasgeschwindigkeiten in der Umgebung masse-

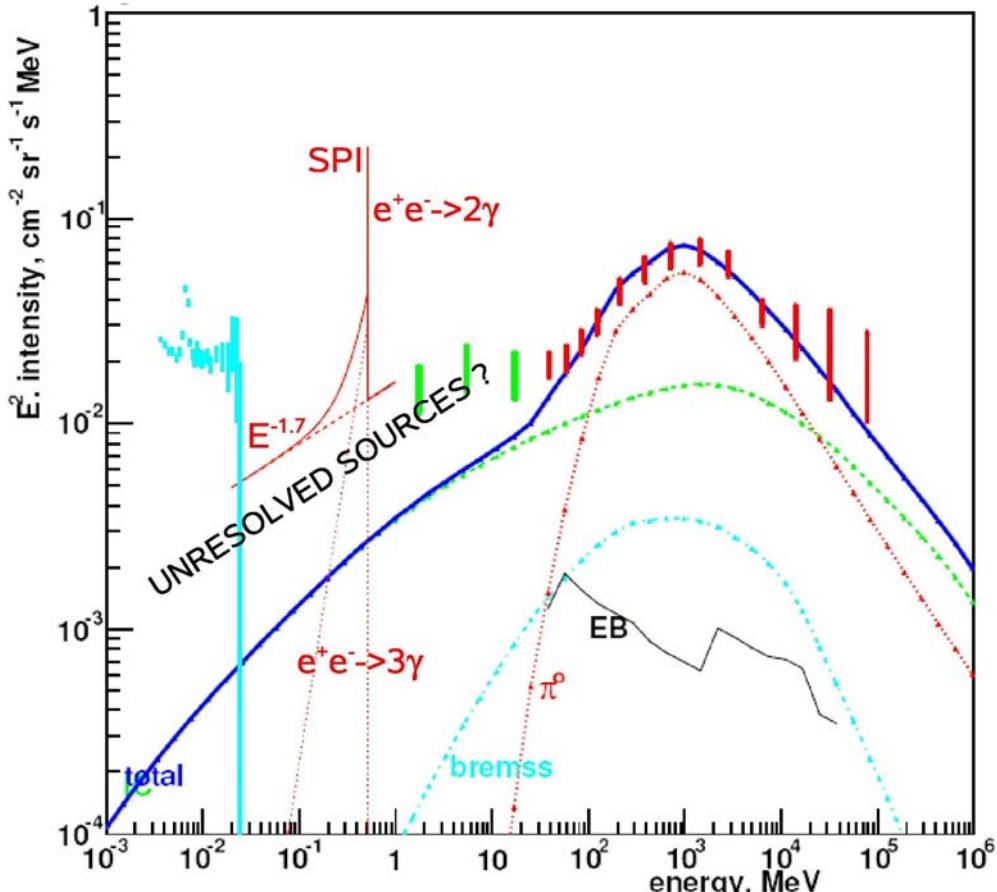


Abb. 2-12: Das Energiespektrum der inneren Galaxie im Bereich von 2 keV bis 100 GeV im Vergleich mit den Voraussagen unseres GALPROP Modells des Transports kosmischer Strahlung. Gezeigt sind: RXTE (cyan), SPI (rote Linie), IBIS (magenta), COMPTEL (grün), EGRET (rot); Beiträge von inverser Compton-Emission (grün gestrichelt), π^0 -Zerfall (rot punktiert), Bremsstrahlung (blau strichpunktiert), extragalaktischer Hintergrund (schwarz), und die Gesamtintensität (dunkelblau).

Fig. 2.12: The broad-band spectrum of the inner Galaxy from 2 keV to 100 GeV is compared with predictions using our galactic Cosmic-Ray Propagation model. Data from RXTE (cyan), SPI (red lines), IBIS (magenta), COMPTEL (green), and EGRET (red bars) are shown. Dashed/green curve: inverse Compton, dotted/red: π^0 -decay, dashed-dot/light blue: bremsstrahlung, EB: extragalactic background, dark blue: total model.

Am MPE war mit COMPTEL Daten eine Karte der ^{26}Al Emission entlang der galaktischen Ebene erstellt worden, aus der geschlossen worden war, dass der ^{26}Al Ursprung dominant in massereichen Sternen liegt, und nicht in Novae oder weniger massereichen AGB Sternen. Deshalb nutzten wir diese neue Messung der galaktischen Helligkeit in ^{26}Al Emission, um die Menge der dahinter stehenden massereichen Sterne abzuschätzen. Wir bestimmen daraus Rate für Supernovae des Gravitationskollaps-Typs von etwa 1 pro 50 Jahre – diese Zahl stimmt überein mit anderen Abschätzungen, die meist auf dem Vergleich unserer

reicher Sterne gefordert hatte: INTEGRAL begrenzt diese Geschwindigkeiten auf $\sim 100\text{-}150 \text{ km s}^{-1}$, einen Bereich, der für ein von den heftigen Sternwinden massereicher Sterne und ihrer Supernovae turbulentes interstellares Medium plausibel erscheint, angesichts der die Messung prägenden Zeitskala von Millionen Jahren.

Gammastrahlung aus radioaktivem Zerfall von ^{60}Fe ($\tau \sim 2$ Mio Jahre) wurde mit INTEGRAL ebenfalls entdeckt. Deren Intensität beträgt allerdings nur 1/5 derer vom ^{26}Al Zerfall. Dieses geringe Verhältnis ist kaum in Einklang mit den derzeitigen Modellvorstellungen zu massereichen Sternen zu

bringen. Daher überprüft man derzeit die Sternaufbau- und Entwicklungs-Aspekte der Modelle, sowie die Kernreaktionen, die im Umfeld der Nukleosynthese von ^{60}Fe wichtig sind, bevor man ernsthaft alternative Quellen von ^{60}Fe oder ^{26}Al in Betracht zieht.

Die Intensitätskarte der Emission von Positronen-Annihilationsstrahlung, die mit INTEGRAL nun sowohl in der 511 keV Gammaline als auch im Kontinuumsspektrum der Annihilation über Positronium erstellt werden konnte, bleibt weiter rätselhaft: Wenn Positronen aus dem Zerfall von Nukleosyntheseprodukten diese Karte dominieren, sollte die Ebene der Galaxie intensiv leuchten (hier befinden sich die Nukleosynthese-Orte). INTEGRAL zeigt allerdings, dass der kugelförmige galaktische Kernbereich das Bild der Annihilationsstrahlung dominiert; also werden Positronen entweder sehr effizient aus ihren Quellregionen in den Halobereich transportiert und gelangen so schließlich an den Ort ihrer Annihilation im dichtenen Zentralbereich, oder eine ganz andere Quelle von Positronen ist wichtiger als die Nukleosynthese. INTEGRAL wird noch etliche Jahre Daten sammeln, damit diese Frage erhellt werden kann indem schließlich auch Annihilation im Bereich der Ebene deutlich wird, und eine Suche nach Positronen-Quellobjekten wie Jets in kompakten Binärsystemen möglich wird.

Gamma-rays from stellar sources and/or the interstellar medium – new insight from INTEGRAL/SPI

Radiation at high X-ray and gamma-ray energies may be emitted from a variety of compact objects, and from the interstellar medium. Our Galaxy has long been known as a source of such high-energy emission, which typically appeared in images as a bright ridge along the inner plane of the Galaxy. For detailed astrophysical interpretations, it is essential to disentangle the origin of this emission, i.e., its attribution to a possibly very large and unresolved population of compact stars, and/or to energetic processes in the interstellar medium.

Continuum emission of diffuse, interstellar nature is expected in the hard X- and γ -ray regime from the physical processes of positron annihilation and of inverse-Compton emission or bremsstrahlung from cosmic-ray electrons and hadronic interactions of cosmic rays (π^0 -decay). Theories for the origin of the nonthermal emission include electrons accelerated in supernovae or ambient interstellar turbulence, in-situ acceleration of suprathermal electrons, and bremsstrahlung from very high energy electrons. Alternatively, the diffuse ridge emission could be attributed to a population of sources too weak to be detected individually, and hence it could be not truly interstellar. Gamma-ray

telescopes in general have inadequate spatial resolution to clarify this issue.

Even in the X-ray band with instruments with much better sensitivity and imaging capabilities (XMM and Chandra) it is not possible to fully unravel the diffuse and source components in the inner Galaxy. High-resolution imaging with Chandra (2-10 keV) has been interpreted as proving the existence of a truly diffuse component; similarly, it has been inferred from XMM-Newton that 80% of the galactic ridge X-ray emission is probably diffuse, and only 9% can be accounted for by galactic sources (the rest being extragalactic sources). But we see only the “tip of the iceberg” of the compact sources: apart from the brightest and nearest ones, the majority of the sources is individually undetectable for us, making it necessary to adopt models for the emission characteristics of presumed source populations. Colleagues from our neighbouring institute (MPA) concluded recently that *all* the 2-10 keV X-ray ridge emission comes from a great number of weak compact sources, in contrast to the above-proposed diffuse-dominated scenario strongly defended even very recently.

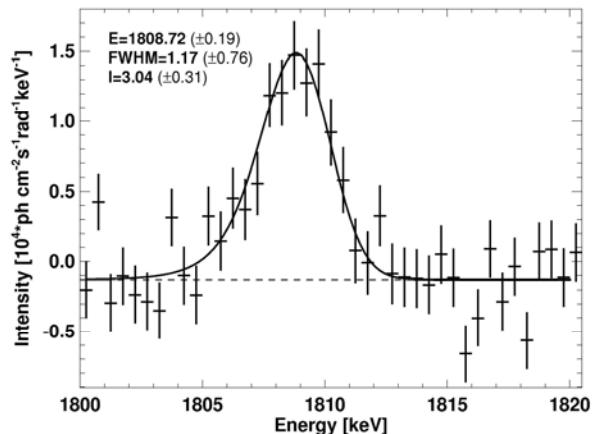


Abb. 2-13: Die ^{26}Al -Linie ist schmal, Verbreiterungseffekte von interstellarer Turbulenz müssen deutlich unterhalb 2.8 keV liegen (dies würde einer Geschwindigkeit von 290 km s^{-1} entsprechen).

Fig. 2-13: The ^{26}Al line is narrow, broadening from interstellar turbulence must be well below 2.8 keV (corresponding to velocities of 290 km s^{-1})

In the harder X-ray range (10-100 keV) emission from bright sources makes detection of the residual diffuse ridge emission a real challenge. In fact INTEGRAL is the first instrument to allow a satisfactory separation of these sources, because of its imaging properties, good spectral resolution, and wide field of view. Further, the complementary nature of the INTEGRAL instruments allows us to exploit the lower energies for detection of the brighter sources through the imager instrument IBIS. At low energies it is known that most of the

catalogued sources are detectable and make a corresponding contribution to the emission. On the other hand, at high energies only a few sources have a hard enough spectrum to be of relevance.

In the energy range 18-1000 keV, survey data from the INTEGRAL satellite have been analyzed, exploiting the imaging properties of SPI to achieve a

of 10^{38} erg s $^{-1}$. The spectrum of diffuse emission is compatible with results from the RXTE and COMPTEL instruments obtained at lower and higher energies, respectively, while SPI obtains a lower diffuse flux than found with the OSSE instrument, due to the more complete accounting for sources by SPI's imaging properties.

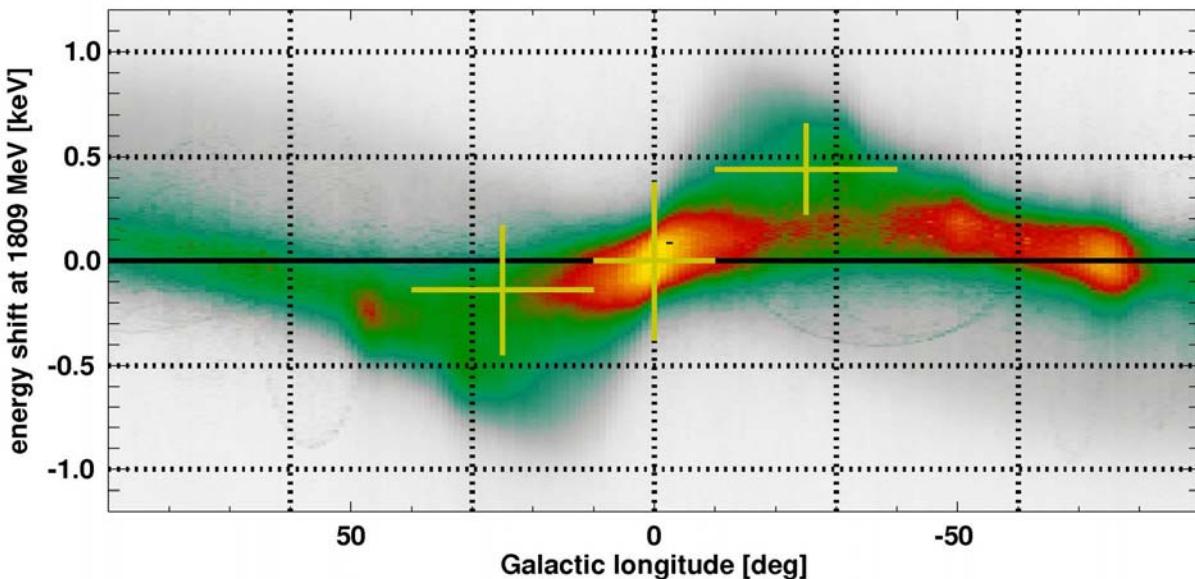


Abb. 2-14: Verschiebungen der Zentralenergie der ^{26}Al Gammalini werden über den Doppler-Effekt durch die Rotation der Quellregionen um das Zentrum der Galaxis verursacht.

Fig. 2-14: Shifts of the centroid of the ^{26}Al gamma-ray line are caused by the Doppler effect from ^{26}Al sources as they participate in galactic rotation in the inner galaxy.

good separation of point sources from the various diffuse components. Using a candidate-source catalogue derived with IBIS and a variety of plausible sky distribution models, we produced spectra resolved in galactic longitude. In these, we can identify spectral components of a diffuse continuum of power law shape with photon index about -1.7, a positron annihilation component with a continuum from positronium and the line at 511 keV, and a second, roughly power law shaped component from point sources detected now with SPI. Comparing the inner Galaxy with the remaining disk region, the positronium component is small for the disk region, while the power-law emission remains high. This proves the different astrophysical sites of the positrons and non-thermal emission. Detectable sources constitute about 90% of the total galactic emission between 20 and 60 keV, but have a steeper spectrum than the diffuse emission: their contribution to the total emission drops rapidly to a small fraction at higher energies. Our measurements illustrate a clear change from source-dominated to diffuse-dominated emission in the inner Galaxy, going from low to high energies (Fig. 2-11). The transition energy is in the vicinity of 100 keV. For 20-100 keV the resolved source/diffuse emission ratio is about 10, which is compatible with estimates of the total source emission in the Galaxy of $2 \cdot 10^{39}$ erg s $^{-1}$ and the total diffuse emission

The RXTE spectrum is certainly above the extrapolation of the SPI power law; this suggests a much steeper source spectrum below 20 keV, or an additional component with a cutoff around this energy. The power law emission is difficult to explain to be of interstellar origin; inverse Compton emission gives at most 10%. A population of compact sources seems to be most likely. Neutron stars emitting gamma-rays (pulsars, AXPs) are plausible candidates. The broadband spectrum of the galactic emission from 10 keV to 100 GeV (Fig. 2-12), illustrates this interpretation with the contributions from sources and diffuse processes.

Diffuse Emission from Radioactivity in our Galaxy

Radioactivity gamma-rays provide direct proof of element formation processes in cosmic sites, and can be observed from sufficiently nearby sources through gamma-ray telescopes. Although only few isotopes shine bright enough, the gamma-ray measurements of these are used to complement other, more indirect, measurements from cosmic nucleosynthesis. Among these are long-lived radioactivities of the ^{26}Al and ^{60}Fe isotopes, and annihilation photons from positrons, created when these meet with their antiparticles (electrons).

^{26}Al gamma-rays had been discovered from interstellar sources in 1978. Besides gamma-rays from short-lived Ni and Co isotopes seen in SN1987A, this constitutes the only direct proof that stellar nucleosynthesis producing new atomic nuclei and elements is an ongoing process in the universe. With their long decay time on the order of million years, these radioactive ejecta can also probe the processes which mix new products of stellar nucleosynthesis into the cycle of matter towards a next generation of stars – the radiative signatures of the violent terminal phases of stellar evolution decay much more rapidly, in comparison.

With INTEGRAL's spectrometer, the gamma-ray energies of these radioactivities can be determined at unprecedented precision. After three mission years, the cumulative ^{26}Al signal (Fig. 2-13) is strong enough to enable space resolved spectroscopy in the bright inner Galaxy. This shows that the rotational pattern from inner-Galaxy sources is imprinted on the ^{26}Al line, shifting its centroid in a characteristic way (Fig. 2-14). This provides direct evidence that ^{26}Al emission arises from sources throughout the Galaxy rather than from peculiarly bright regions which may be in the foreground – the Cygnus region presents a prominent example of this kind. MPE's COMPTEL data analyses provide a map of ^{26}Al emission along the plane of the Galaxy, which supports massive stars as dominating ^{26}Al sources, rather than novae or lower-mass AGB stars. Therefore, we have used this new measurement of the ^{26}Al brightness of the Galaxy to estimate the abundance of its massive star sources. We find that the supernova rate from core collapses is about 1 every 50 years in our Galaxy – this number fits within estimates which are mostly based on comparing our Galaxy with similar galaxies, where the population of massive stars can be

measured more easily than in our own Galaxy. Moreover, the narrowness of the ^{26}Al gamma-ray line, as measured with INTEGRAL, refutes an earlier claim of high velocities in the interstellar medium around massive stars: INTEGRAL constrains velocities to $\sim 100\text{-}150 \text{ km s}^{-1}$, which seems plausible for the ISM phase which is still shaped by the injection of turbulence from massive star winds and supernovae, on a Myr time scale.

The gamma-rays from ^{60}Fe radioactivity ($\tau \sim 2 \text{ Myrs}$) have also been found with INTEGRAL. The intensity level is only 1/5 of that of ^{26}Al gamma-rays. Such a low intensity level is difficult to reconcile with current models of massive star nucleosynthesis. Therefore, structural and evolutionary models of massive stars as well as the nuclear reactions involved in ^{60}Fe production are now being critically reviewed, before sources of ^{60}Fe or ^{26}Al other than massive stars are seriously reconsidered.

Finally, the map of positron annihilation, which INTEGRAL could provide now both in 511 keV line gamma-rays as well as in the positronium continuum gamma-rays, is still puzzling. If positrons from decay of freshly-produced isotopes would dominate, the disk of the Galaxy (here are the sources of nucleosynthesis) should glow in annihilation photons. But INTEGRAL showed that the extended galactic bulge dominates the annihilation emission; hence, either positrons are transported away from their disk sources rather efficiently into the halo, and eventually annihilate in the inner Galaxy, or another source of positrons is much more intense than stellar nucleosynthesis. INTEGRAL will collect several years of data to map both the disk and bulge region and to search for point sources such as jets in compact binaries, to enlighten this puzzle.

[DIEHL, STRONG]

2.2.2 Externe Galaxien / External galaxies

Röntgenquellenpopulation in der Lokalen Gruppe

Die Röntgenstrahlung von Quellen in der Milchstraße ist oft stark absorbiert. Die Empfindlichkeit und Ortsauflösung heutiger Röntgenteleskope reicht aber aus, um solche Quellen in nahen Galaxien zu untersuchen. Daher erlauben Durchmusterungen naher Galaxien, insbesondere von der Andromeda-Galaxie M31 und von M33 mit Entfernungen unter 1 Mpc, wertvolle Einblicke in physikalische Eigenschaften und in die Population von Röntgenquellen.

Wir haben alle XMM-Newton EPIC Instrumente gemeinsam ausgewertet und in einem Feld von 0.8 Quadratgrad, zentriert auf die Sc Galaxie M33 in der Lokalen Gruppe, 408 Quellen entdeckt. Sie wurden anhand ihrer Röntgenfarben und Zeitver-

änderlichkeit sowie optischen und Radio Eigenschaften identifiziert bzw. klassifiziert. Dabei konnten wir extrem weiche Röntgenquellen und thermische Supernova Überreste (SNRs) von Vordergrundsternen in der Milchstraße und anderen Quellen, die kein thermisches Spektrum zeigten, trennen. Diese „harten“ Quellen sind entweder Röntgendoppelsterne (XRBs), Supernova Überreste wie der Krebsnebel oder aktive galaktische Kerne (AGN) im Hintergrund.

Angeregt durch den Erfolg dieser Durchmusterung führten wir eine ähnliche Auswertung auf allen Daten der Andromeda Galaxie M31 im XMM-Newton Archiv durch. M31 befindet sich in ähnlicher Entfernung, wird im Vergleich zu M33 jedoch mit einem größeren Neigungswinkel gesehen. Durch die mäßige Vordergrundsabsorption in unserer Galaxie kann man in M31 – einer nahen

Spiralgalaxie ähnlich der Milchstraße – sowohl die Röntgenquellpopulation wie auch die ausgedehnte Röntgenstrahlung gut untersuchen.

Die tiefe M31 Durchmusterung von XMM-Newton zeichnet sich gegenüber allen anderen großflächigen M31 Durchmusterungen durch ihre Empfindlichkeit ($\sim 10^{35}$ erg/s) und gute räumliche Auflösung aus, und ist selbst im Vergleich zu Chandra Durchmusterungen eine wesentliche Verbesserung. Zum ersten Mal konnten Kurzzeitveränderlichkeit und Spektren von hellen Röntgenquellen in einer Galaxie außerhalb der Milchstraße und der Magellanschen Wolken studiert werden. Wir untersuchten die 856 gefundenen Quellen wie für M33 dargestellt und leiteten Helligkeitsverteilungen ab (Abb. 2-15).

xie wird durch unsere 22 neu entdeckten SNRs und SNR Kandidaten mehr als verdoppelt. Die verbleibenden 567 „harten“ Quellen können wir nicht eindeutig als XRBs, Krebs-Nebel-ähnliche SNR oder AGN klassifizieren und nur Zeitvariabilität oder detaillierte Modellierung ihrer Spektren kann uns weiterhelfen.

Typ I Röntgen-Burst Quellen in M31

Aus der Milchstraße weiß man, dass helle Röntgenquellen in Kugelsternhaufen Röntgendoppelsterne mit massearmen Begleitern sind. Viele dieser XRBs zeigen Typ I Röntgenbursts und sind daher Neutronensternsysteme. Zur Bestimmung der kompakten Objekte in Kugelsternhaufenquellen in M31 haben wir die Daten im XMM-Newton

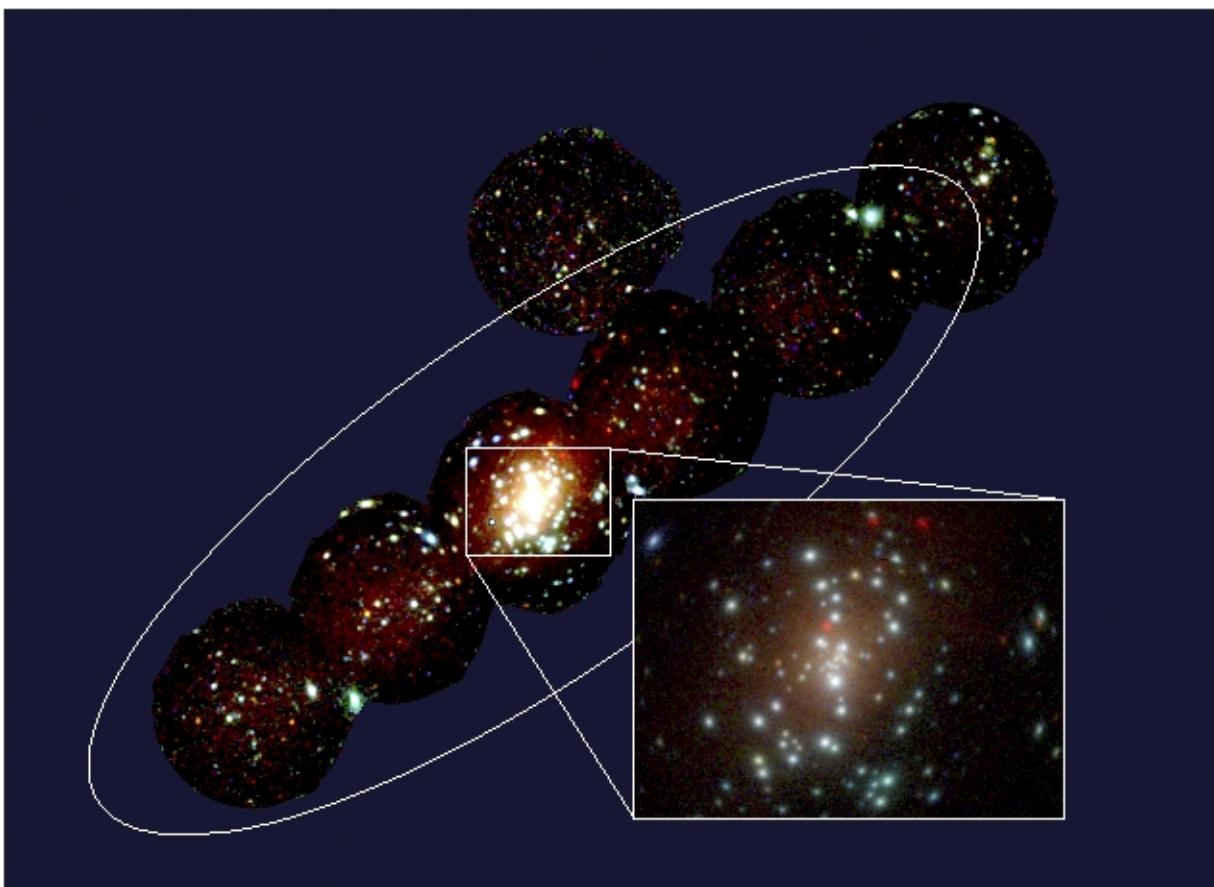


Abb. 2-15: XMM-Newton Röntgenfarbbild von M31 der EPIC pn und MOS Kameras. Die Farben überdecken den Energiebereich 0.2-12 keV. Höhere Energien sind von rot über grün bis blau codiert. Die weiße Ellipse markiert die optische Ausdehnung der Galaxie. Extrem weiche Quellen, Vordergrundsterne und thermische SNRs erscheinen in rot und gelb, XRBs, Krebs-Nebel-ähnliche SNR und AGN in grün, blau und weiß.

Fig. 2-15: XMM-Newton X-ray colour image of M31 combining data of the EPIC pn and MOS cameras. The colours cover the energy range 0.2-12 keV with increasing energy from red over green to blue. The white ellipse marks the optical extent of the galaxy. Super-soft sources, foreground stars and thermal SNRs appear in red and yellow, XRBs, Crab-like SNRs and background objects in green, blue and white.

Unser Quellkatalog von M31 enthält 44 SNRs und SNR Kandidaten, 18 extrem weiche Quellen, 16 XRBs und Kandidaten sowie 37 Quellen in Kugelsternhaufen, d.h. XRBs mit massearmem Begleiter. Die Zahl der der SNR in der Andromeda Galaxie

Archiv nach Röntgenbursts untersucht. Zwei Bursts wurden gleichzeitig in EPIC pn und MOS Detektoren entdeckt sowie einige weitere Kandidaten nur im EPIC pn Detektor (Abb. 2-16). Die Energieverteilung der Burst Photonen und die

Leuchtkraft während des Burst Maximums deuten darauf hin, dass zumindest die stärksten Ereignisse „Typ I Radius Expansions-Bursts“ darstellen. Diese werden als Standard-Lichtquellen angesehen, da sie eine kritische bolometrische Helligkeit von 3.8×10^{38} erg/s erreichen. Normale Typ I Bursts würden härtere Spektren zeigen und wären nicht hell genug, um von XMM-Newton EPIC entdeckt zu werden. Die Bursts identifizieren die Quellen als Neutronenstern XRBs mit massearmem Begleiter in M31. Es sind die ersten Typ I Bursts, die außerhalb der Milchstraße entdeckt wurden. Sie zeigen, dass man durch die große Sammelfläche von XMM-Newton Röntgenbursts dazu benutzen kann, um XRBs in Galaxien der Lokalen Gruppe zu klassifizieren.

Extrem weiche Röntgenquellen in nahen Galaxien

Leuchtkräftige extrem weiche stellare Röntgenquellen wurden zwar erstmals in Beobachtungen des Einstein Observatoriums erkannt, jedoch erst ROSAT Beobachtungen etablierten sie als neue, getrennte Quellklasse, die durch ihr sehr weiches Röntgenspektrum mit Schwarz-Körper-Temperaturen von 10-80 eV und Leuchtkräften von 10^{36} - 10^{38} erg/s charakterisiert ist. Gegenwärtig sind etwa 100 extrem weiche Röntgenquellen bekannt, die meisten in den Magellanschen Wolken und in anderen nahen Galaxien.

Mehrere extrem weiche Quellen wurden als akkretierende enge Doppelsternsysteme mit Bahnperioden von ~1 Tag oder kürzer identifiziert. Man erklärt sie als weiße Zwerge, die Masse von einem massereicheren Hauptreihenbegleitstern akkretieren mit einer Akkretionsrate M_{acc} , die gerade ausreicht für (quasi-)stabiles Kernbrennen auf ihrer Oberfläche. Dies bedeutet, dass die Leuchtkraft fast das Eddington-Limit für ein Objekt mit einer Sonnenmasse erreichen muss. Das stabile Brennen hört unterhalb von $\sim 10^7 M_{\odot}/\text{yr}$ auf. Bei solchen Massenakkretionsraten treten Schalenblitze auf. Das herkömmliche Modell sagt vorher, dass bei Akkretionsraten $M_{\text{acc}} > 4 \cdot 10^7 M_{\odot}/\text{yr}$ sich eine rote-Riesen-Hülle entwickelt, die zeitweilig die Röntgenstrahlung unterdrückt, wohingegen für $M_{\text{acc}} > 10^6 M_{\odot}/\text{yr}$ keine statische Hüllen-Lösung auf dem weißen Zerg existiert und stattdessen überschüssige Masse in einem kräftigen Wind abgestoßen werden sollte. Diese Entwicklung stellt möglicherweise einen Weg dar, um die Massen weißer Zwerge in die Nähe der Chandrasekhar Grenze anwachsen zu lassen.

RX J0513.9-6951 ist eine transiente, extrem weiche Röntgenquelle in der LMC und stellt ein Schlüsselobjekt innerhalb der Klasse der extrem weichen akkretierenden Röntgendoppelsternsysteme dar. Es zeigt alle 140-180 Tage Zustände niedriger optischer Helligkeit, die von Röntgenaus-

brüchen begleitet werden, die 30-50 Tage dauern. Die ziemlich plötzlichen Änderungen des weichen Röntgenfluxes werden erklärt als direkte Antwort eines nahe der kritischen Eddington-Grenze strahlenden weißen Zerges, der, auf leichte Änderungen der Akkretionsrate. Während der weiße Zerg die meiste Zeit von einer großen Hülle umgeben ist, führt eine kleine Abnahme des Massenfluxes zum Kollaps der Hülle. Geht der photosphärische Radius z.B. um einen Faktor 4 zurück, so steigt die effektive Temperatur um einen Faktor 2 und der Schwanz der Wien-Verteilung der EUV/weichen Röntgenstrahlung der Quelle wird im weichen Röntgenbereich sichtbar.

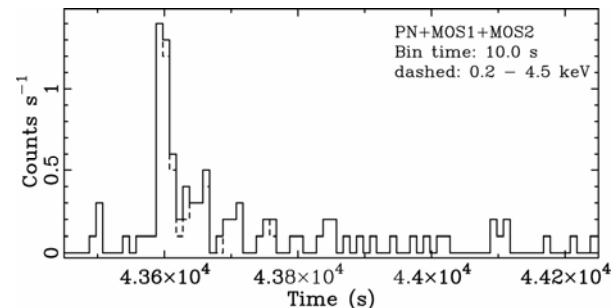


Abb. 2-16: Lichtkurve eines Röntgenausbruchs des Typs I einer Quelle in einem Kugelsternhaufen der Galaxie M31 (kombinierte XMM-Newton EPIC Messdaten).

Fig. 2-16: Light curve of a type-I X-ray burst from a globular-cluster source in M31 (XMM-Newton EPIC combined).

RX J0513.9-6951 muss im Optischen kontinuierlich überwacht werden (wie im SMARTS Konsortium am Cerro Tololo in Chile geschehen), um die Röntgenbeobachtungen anzustoßen (Abb. 2-17, links). Eine erste Chandra LETGS „Target of Opportunity“ Beobachtung mit hoher Energieauflösung am 24. Dezember 2003 zeigte ein komplexes Spektrum mit Absorptions- und Emissionslinien, das als Kombination von Strahlung aus einer stellaren Atmosphäre unter hoher Schwerkraft und koronaler Emission verstanden werden konnte. Früheres Monitoring der Quelle mit dem ROSAT HRI über einen ganzen Röntgenausbruch hatte eine starke Anti-Korrelation zwischen Röntgen und optischem Fluss gezeigt. Deshalb schlugen wir eine entsprechende Beobachtung mit Chandra LETGS vor. Die erhaltenen Spektren bestätigen eindeutig die von ROSAT gefundene Anti-Korrelation und zeigen breite Absorptions- und Emissions-Strukturen, die über den Ausbruch auftauchen, verschwinden bzw. sich verschieben (Abb. 2-17, rechts). Mit XMM-Newton wurden ähnliche Veränderungen in den Spektren der Quelle gefunden. Die detaillierte Modellierung dieser komplexen Spektren wird neue Einblicke in die Akkretionsphysik nahe der Eddington Grenze für diese extrem weichen Quellen ermöglichen

In einer Suche nach Röntgenidentifikationen von optischen Novae in M31 und M33 fanden wir 21 Kandidaten, die meisten davon extrem weiche Quellen. Die gefundenen Quellen mehr als verdreifachen die Zahl bekannter optischer Novae, die extrem weiche Röntgenspektren zeigen. Sechs Quellen wurden nur in Chandra oder ROSAT Detektoren nachgewiesen, die keine Energieauflösung besitzen, und können daher nicht als extrem weich klassifiziert werden. Da viele der XMM-Newton Quellen von mehreren Beobachtungen überdeckt werden, können wir die Röntgen-Lichtkurven optischer Novae bestimmen (Abb. 2-18): Aus dem gut bestimmten Beginn der extrem weichen Phase für zwei Novae kann man die beim Ausbruch abgestoßene Wasserstoffmasse zu $10^{-5} M_{\odot}$ und $10^{-6} M_{\odot}$ bestimmen. Wir können auch ableiten, dass die extrem weiche Röntgen-Phase von mindestens 15% der Novae innerhalb eines Jahres beginnt. Für mindestens eine Nova hielt die extrem weiche Röntgen-Phase länger als 6 Jahre nach dem Ausbruch an. Sechs dieser Quellen erschienen erst 3 bis 9 Jahre nach der optischen Entdeckung des Nova Ausbruchs und können vielleicht als wiederkehrende Novae erklärt werden. Wenn sich dies bestätigt, kann die Entdeckung einer verzögerten extrem weichen Phase als eine neue

Verständnis der Massen der beteiligten weißen Zwerge führen.

X-ray source populations in the local group

Emission from X-ray sources is often heavily absorbed in our Galaxy; current X-ray telescope sensitivities and imaging resolutions, however, are sufficient to measure such emission from sources in nearby galaxies. Therefore, surveys of nearby galaxies, specifically those of M31 (Andromeda) and M33 at distances below 1 Mpc, provide valuable insights into the physical nature and populations of X-ray sources.

Combining data from all XMM-Newton EPIC instruments, we detected 408 sources in a 0.8 square degree field centred on the Local Group Sc galaxy M 33. Identified and classified from X-ray colors and time variability plus optical and radio information, we were able to separate super-soft X-ray sources and thermal supernova remnants (SNRs) from foreground stars in our Galaxy and other sources with non-thermal emission. These hard sources may be either X-ray binaries (XRBs), or Crab-like SNRs in M33, or active galactic nuclei (AGN) in the background.

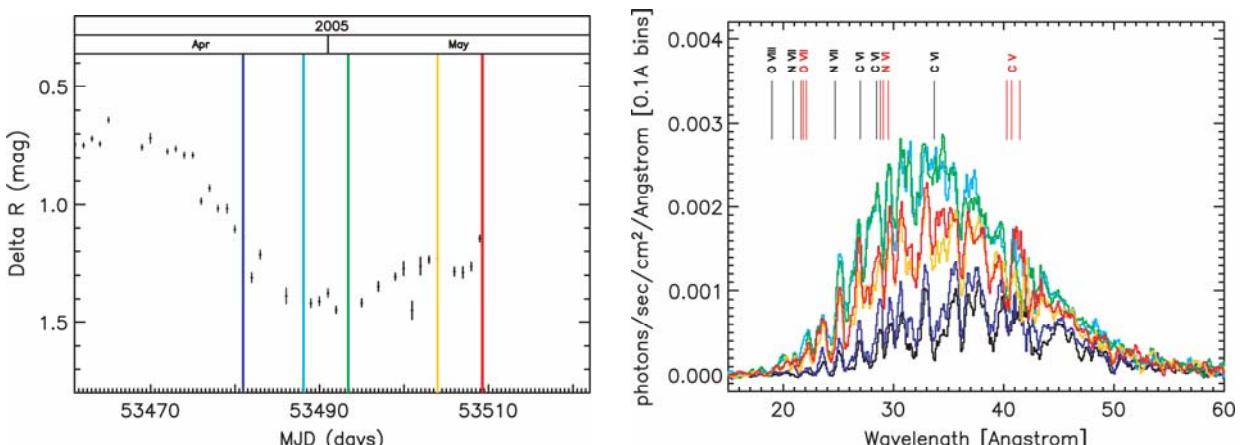


Abb. 2-17: Links: Optische Lichtkurve von RX J0513.9-6951 (R-Band). Farbige Linien markieren die Zeiten der Chandra LETGS Beobachtungen im April/Mai 2005. Rechts: Ebenso farbkodierte Chandra LETGS Spektren und das Referenzspektrum vom Dezember 2003 (schwarz). Positionen wichtiger Linien sind angegeben. Die Antikorrelation von Röntgen- und optischer Helligkeit ist klar zu sehen.

Fig. 2-17.: Left: The optical light curve of RX J0513.9-6951 (R-band). Coloured lines mark the times of the April/May 2005 Chandra LETGS observations. Right: Corresponding spectra, with indicated positions of important lines. The anticorrelation of the X-ray and optical brightness is obvious. The black line shows a reference spectrum from Dec 2003.

Methode benutzt werden, um wiederkehrende Novae zu klassifizieren. Mit dieser Methode konnten wir zeigen, dass 30% der Novae in unserer Stichprobe wiederkehrende Novae sind. Mit Hilfe weiterer optischer und Röntgen-Überwachungsbeobachtungen von M31 können wir die Länge der Plateau-Phase für mehrere Novae gleichzeitig bestimmen: Dies, zusammen mit der Entwicklung der Nova-Temperaturen, sollte zu einem besseren

Inspired by the success of this survey, we performed a similar analysis on all archival XMM-Newton data from M31, the Andromeda galaxy, located at a similar distance but seen under a higher inclination compared to the near face-on view of M33. With its moderate galactic foreground absorption, M31 is well suited to study both X-ray source population and diffuse emission in a nearby spiral galaxy similar to the Milky Way.

XMM-Newton's deep survey of M31 is unique in that it has the greatest depth ($\sim 10^{35}$ erg/s) and best spatial resolution of all existing large area M31 surveys, even a significant improvement compared to the Chandra surveys. It allowed for the first time to study the short-term time variability and spectra

Type I X-ray burst sources in M 31

Within the Milky Way, bright globular-cluster X-ray sources were recognized as low-mass X-ray binary systems, powered by mass overflow onto the compact star from its companion. Many of these XRBs show type I X-ray bursts identifying them as neu-

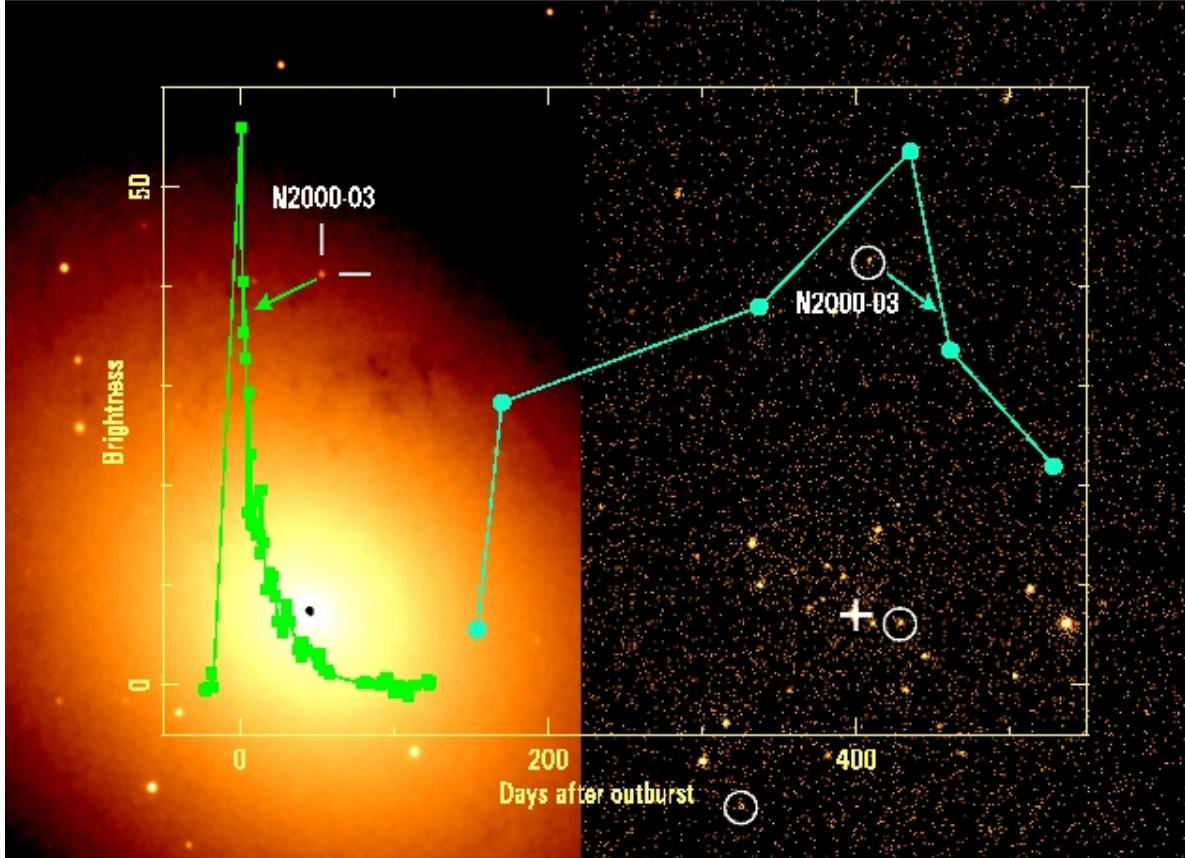


Abb. 2-18: Bilder und Lichtkurvender Nova N2000-03 im Ausbruch. Links: Optisches Bild und Lichtkurve (grün). Rechts: Ungefähr 180 Tage später erschien die Nova als extrem weiche Röntgenquelle (Chandra Bild und kombinierte XMM-Newton/Chandra Lichtkurve (blau)).

Fig. 2-18: Images and light curves of nova N2000-03 in outburst. Left: Optical image and light curve (green); Right: About 180 days later the nova started to appear as super soft source in X-rays (Chandra image and XMM-Newton/Chandra combined light curve (blue)).

of bright X-ray sources in a galaxy outside the Milky Way or the Magellanic Clouds. We analyzed our 856 detected objects to derive source luminosity distributions (Fig. 2-15).

For the sources, identifications were derived from X-ray hardness ratios, time variability, source extent, and catalogue correlations. Our source inventory of M31 lists 44 SNRs and SNR candidates, 18 super soft sources, 16 XRBs and candidates, as well as 37 globular cluster sources, i.e. low-mass XRBs. The 22 newly discovered supernova remnants or SNR candidates more than double the X-ray-detected objects of this type in the Andromeda galaxy. For the remaining 567 "hard" sources, we have no clear criteria to categorize them as XRBs, Crab-like SNR or AGN; only X-ray variability or detailed spectral modelling might reveal their nature.

tron star systems. In order to reveal the nature of the compact object in the globular cluster sources found in M31, we searched XMM-Newton archival data for X-ray bursts. Two bursts were detected simultaneously in the EPIC pn and MOS detectors (Fig. 2-16) and some more candidates in the EPIC pn only. The energy distribution of the burst photons and the intrinsic luminosity during the peak of the bursts indicate that at least the strongest events were radius-expansion type I bursts, which can be considered as standard candles because they reach a critical bolometric luminosity of 3.8×10^{38} erg/s. Standard type I bursts would show harder spectra and would not be bright enough to be detected by XMM-Newton EPIC. The bursts identify the sources as neutron star low-mass XRBs in M31. These are the first type I X-ray bursts detected outside the Milky Way and show

that, with the large collecting area of XMM-Newton, X-ray bursts can be used to classify XRBs in Local Group galaxies.

Super soft X-ray Sources in Nearby Galaxies

Luminous super soft stellar X-ray sources, first recognized by the Einstein observatory, were firmly established as a new and distinct class of objects by ROSAT. They are observationally distinguished by their very soft X-ray spectra with blackbody temperatures from 10 to 80 eV and luminosities of 10^{36} - 10^{38} erg/s. Currently, about 100 super soft sources are known, most of them in the Magellanic Clouds and in other nearby galaxies.

Several super soft sources have been identified as accreting close binaries with orbital periods of \sim 1 day or less. They are interpreted as white dwarfs which accrete matter from a more massive main-sequence secondary at an accretion rate M_{acc} just sufficient to permit (quasi-) stable nuclear burning near their surfaces. This implies that the luminosity must be close to the Eddington limit of a solar mass object. Stable burning stops below \sim 10⁷ M_⊙/yr, giving rise to shell flashes. The conventional model predicts that at an accretion rate $M_{\text{acc}} > 4 \cdot 10^7$ M_⊙/yr, a red-giant envelope develops and X-ray emission is temporarily quenched, while no static envelope solution on the white dwarf exists for accretion rate $M_{\text{acc}} > 10^{-6}$ M_⊙/yr. Instead, excess matter should be expelled by a strong wind, providing a potential channel to grow the white dwarf mass to close to the Chandrasekhar limit.

RX J0513.9-6951, a transient luminous super soft X-ray source in the LMC, is a key object within the class of accreting binary super soft X-ray sources. It undergoes optical low states accompanied by X-ray outbursts which last 30-50 days and repeat about every 140-180 days. The rather sudden changes of the soft X-ray flux have been explained as the direct response of a white dwarf accreting close to the Eddington critical limit to slight changes of the mass-transfer rate. While most of the time the hot white dwarf is enshrouded by a large envelope, a small drop of the mass-flow rate leads to the collapse of the envelope. A decrease of the photospheric radius by e.g. a factor of 4 implies that the effective temperature rises by a factor of 2 and the Wien tail of the EUV/soft X-ray emission of the source becomes detectable in the soft X-ray range.

Longterm monitoring of RX J0513.9-6951 in the optical (done with the SMARTS consortium at Cerro Tololo, Chile) is necessary to trigger the X-ray observations. (Fig. 2-17. left). A first exploratory high spectral resolution Chandra LETGS tar-

get of opportunity X-ray observation of this source, obtained in Dec. 24, 2003, revealed a complex absorption and emission line spectrum which can be understood as a combination of high-gravity stellar atmosphere and coronal emission. Previous monitoring of the source throughout a complete X-ray on/off state cycle with the ROSAT HRI had established the strong anti-correlation between X-ray and optical flux, and led us to obtain a further set of time resolved Chandra observations covering a complete X-ray “on” state. The spectra obtained clearly confirm the anti-correlation found by ROSAT and they also show how the spectra not only change in brightness but also in their appearance with broad absorption and emission features appearing, disappearing and shifting as the spectrum evolves (Fig. 2-17, right). XMM-Newton has found similar variation in the spectra of this source. Detailed modelling of these complex spectra should yield new insights into fascinating accretion physics close to Eddington limit in these super soft sources.

Our search for X-ray counterparts to optical novae, detected in M31 and M33, found 21 candidates, mostly super soft. This sample more than triples the number of known optical novae with super-soft spectra. Selected brighter sources were classified by their XMM-Newton EPIC spectra. Six counterparts are only detected in Chandra or ROSAT detectors with no energy resolution, and therefore can not be classified as super-soft. Since most of the XMM-Newton sources are covered in several observations, we can constrain X-ray light curves of optical novae (Fig. 2-18): from the well-determined start time of the super soft source state in two novae one can estimate the hydrogen mass ejected in the outburst to be 10⁵ M_⊙ and 10⁶ M_⊙, respectively. We infer that the super-soft X-ray phase of at least 15% of the novae starts within a year. At least one of the novae shows a super soft state lasting more than 6 years after the optical outburst. Six of the supersoft sources turned on between 3 and 9 years after the optical discovery of the outburst, and may be interpreted as recurrent novae. If confirmed, the detection of a delayed turn-on of a super-soft phase may be used as a new method to classify novae as recurrent. Using this method our sample yields a ratio of 0.3 between recurrent novae and classical novae. From ongoing optical and X-ray monitoring of M31 we may determine the length of the plateau phase of several novae simultaneously. This, together with the nova temperature development, will give us a handle on the masses of the white dwarfs involved.

[BURWITZ, FREYBERG, GREINER, HABERL, MISANOVIC, PIETSCH, RIFFESER, SALA,]

2.3 Galaxien und AGNs / Galaxies and AGNs

In den letzten Jahren hat sich das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen superschweren schwarzen Löchern und ihren Muttergalaxien zu einer der Hauptforschungsrichtungen am MPE entwickelt. Dieses Jahr legen wir den Schwerpunkt unseres Kapitels auf Galaxien und aktive galaktische Kerne, ein wichtiges Forschungsgebiet in dem wir 2005 mehrere große Entdeckungen gemacht haben.

Der Kern unserer eigenen Milchstraße liefert immer wieder überraschende Beobachtungen. Durch den Einsatz des vor kurzem am VLT in Betrieb genommenen MPE/ESO-Feldspektrografen (SINFONI genannt) konnten MPE-Forscher Absorptionspektren von mehr als 50 jungen Sternen im innersten Parsec der Milchstraße gewinnen. Das Ergebnis ist, dass beinahe alle jungen Sterne in zwei gleich alten, dicken, gegenläufig rotierenden Scheiben zu finden sind. Ein weiteres wichtiges Ergebnis von MPE-Wissenschaftlern war die Entdeckung einer dichten, kompakten Scheibe aus blauen Sternen, die das schwarze Loch im Zentrum der uns nächsten Spiralgalaxie M31 umkreisen. Beobachtungen mit der ACS-Kamera und dem STIS-Spektrografen an Bord des Hubble-Weltraumteleskops erlauben nun, das Wechselspiel zwischen Sternen und dem schwarzen Loch auf Größenskalen zu untersuchen, die fast an die Auflösung im galaktischen Zentrum heranreichen. Mit SINFONI und adaptiver Optik können wir nun das Wachstum von schwarzen Löchern in nahen aktiven galaktischen Kernen untersuchen. Wir sind dabei die Verteilung von jungen Sternen, die die akkretierenden schwarzen Löcher umkreisen, auf Skalen kleiner als 10pc zu vermessen. Sowohl in unserer kosmischen Nachbarschaft als auch bei hohen Rotverschiebungen nutzen MPE-Astronomen Beobachtungen im Licht der K- α Linie von Eisen mit den Röntgensatelliten Chandra und XMM-Newton um die Gebiete unmittelbar um die schwarzen Löcher von aktiven Galaxien zu untersuchen. Die hier gezeigten Ergebnisse zeigen, wie fruchtbar es ist, wichtige wissenschaftliche Themen umfassend zu untersuchen, indem man Beobachtungen über beinahe das gesamte elektromagnetische Spektrum kombiniert. Am MPE werden die extremen Bedingungen um superschwere schwarze Löcher vom Millimeter- bis zum Gamma-Bereich hin erforscht. Der Großteil unserer Forschung verwendet Instrumente, die am MPE ent-

wickelt und gebaut wurden. Ergänzend nehmen wir Daten hinzu, die an externen Einrichtungen gewonnen wurden. Diese Kombination erlaubt es uns, wegweisende astrophysikalische Forschung zu betreiben.

Understanding the interplay between supermassive black holes and their host galaxies has become one of the central research themes here at MPE, and this year we have focussed our chapter on Galaxies and Active Galactic Nuclei on several major breakthroughs in 2005 in this important research area.

Our own Galactic Centre continues to provide numerous surprises. Using the recently commissioned MPE/ESO integral field spectrograph, SINFONI, on the VLT, MPE scientists have measured the absorption spectra of over 50 young stars within the central parsec of the supermassive black hole, Sagittarius A*, and find that nearly all young stars in this region are contained in two coeval, thick rotating disks. Another major result from 2005 was the discovery by MPE scientists of a dense, compact disk of blue stars surrounding the black hole in the centre of our nearest spiral neighbour, M31. Observations from the HST with the ACS camera and the STIS spectrograph mean that we can now study the interplay between the stars and the black hole in this galaxy on size scales nearly similar to those in our own Galaxy. With SINFONI and adaptive optics techniques we can now study black hole growth in nearby active nuclei, and are mapping out the distributions of young stars surrounding the black holes on scales less than 10 pc. In the local universe and at higher redshifts, MPE astronomers are using Iron K- α line observations from Chandra and XMM-Newton to probe the regions immediately surrounding the black holes of active galaxies. The results presented here show the power of investigating important scientific themes in a comprehensive way through observations and analysis of galaxies across nearly the full electromagnetic spectrum. At MPE we are investigating the extreme environments surrounding supermassive black holes from the optical through gamma rays. Much of what we are doing heavily involves instrumentation developed and built in-house, supplemented with data from external facilities to enable us do pioneering astrophysical research.

2.3.1 Sternentstehung in der Nähe des schwarzen Lochs im Zentrum der Milchstraße / Star Formation near the Black Hole at the Centre of the Milky Way

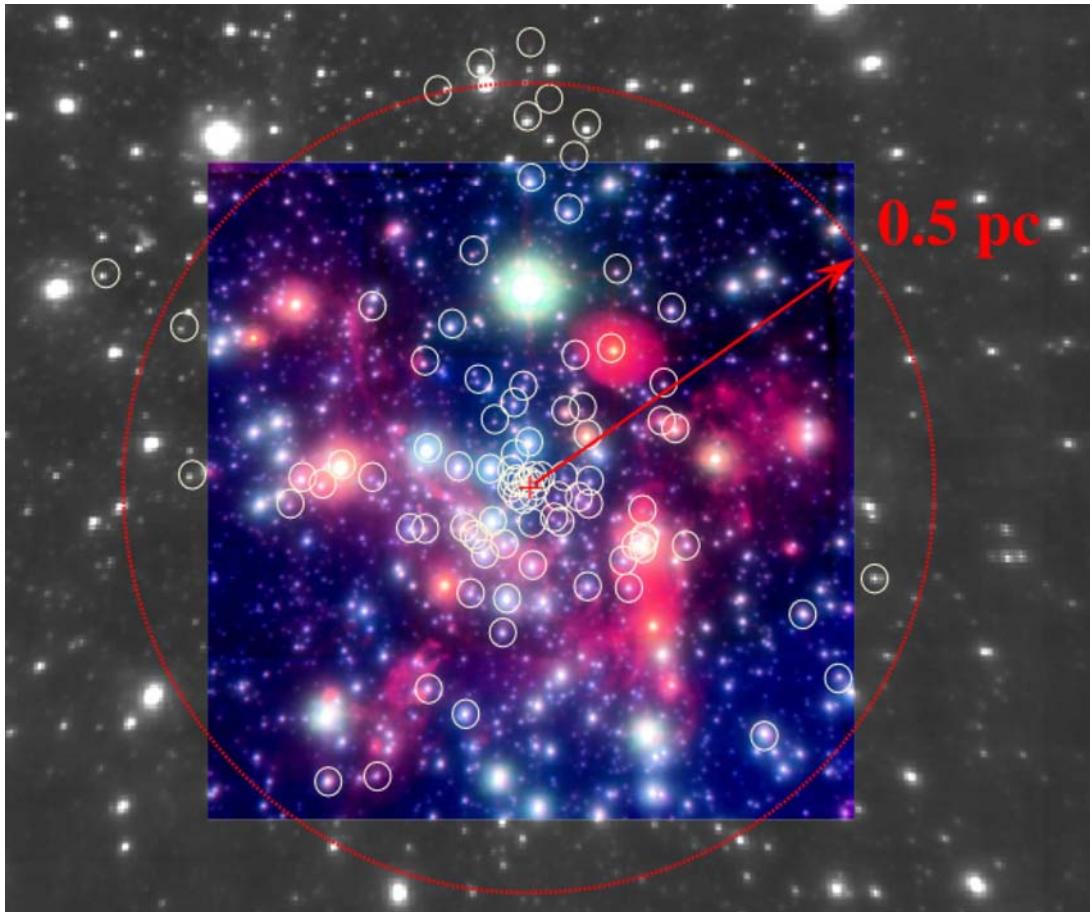


Abb. 2-19: Drei-Farben infrarot Bild (H-, K' und L-Band) des zentralen parsec der Milchstraße (nur L-Band Grauskala für die äußere Region). Mit SPIFFI/SINFONI entdeckten wir einige Dutzend kurzlebige OB-Sterne, womit sich die Zahl bekannter massiver Sterne (kleine Kreise) in der Region auf 90 erhöht. Sie liegen alle innerhalb ca. 0.5 pc (1.6 Lichtjahre) vom supermassiven schwarzen Loch SgrA* (Kreuz).

Fig. 2-19: Three-colour infrared image (H, K', and L bands) of the central parsec of the Milky-Way Galaxy (only L-band gray-scale for the outer region). With SPIFFI/SINFONI we discovered several dozen short-lived OB stars, which brings the number of massive stars (small circles) known in the region to 90. All of them are located within roughly 0.5 pc (1.6 light-years) from the supermassive black hole Sgr A* (cross).

Das galaktische Zentrum (GC) stellt ein einzigartiges Laboratorium für das Studium galaktischer Kerne dar. Aufgrund der Nähe des GC können dort stattfindende Vorgänge mit einer Auflösung und Detailiertheit untersucht werden, die mit keinem anderen Galaxienzentrum erreichbar ist. SgrA*, das supermassive schwarze Loch im Zentrum der Galaxis, besitzt von allen beobachtbaren derartigen Objekten den größten scheinbaren Schwarzschildradius ($\sim 10 \mu\text{as}$). Der GC-Gruppe des MPE gelangen in diesem Jahr mehrere bedeutsame Beobachtungen mit Hilfe des am MPE entwickelten, mit einer adaptiven Optik ausgestatteten abbildenden Spektrometers SINFONI, das am ESO/VLT den regulären Betrieb aufgenommen hat.

Dieses Instrument, das hohe spektrale und räumliche Auflösung miteinander kombiniert, ermöglichte uns die erstmalige Beobachtung von Absorptionslinien in den Spektren von jungen Sternen im GC.

Die hervorragende Qualität der Daten erlaubte die spektroskopische Identifizierung von ~ 40 OB-Überriesen, Riesen und Hauptreihensternen im zentralen Parsec der Milchstraße, zusätzlich zu den bereits bekannten etwa 50 Emissionsliniensternen (Abb. 2-19).

Nahezu alle jetzt etwa 80 bekannten massereichen Sterne im zentralen Parsec ($\sim 24''$, zentrale Bogensekunde ausgenommen, s.u.) befinden sich in einer von zwei dicken Scheiben, von denen die eine mit, die andere gegen den Uhrzeigersinn um das Zentrum rotiert. Diese Sternscheiben weisen scharfe innere Ränder ($R \sim 1''$) und mit R^{-2} skalierende Flächendichten auf. Wir beobachten keinen einzigen OB-Stern außerhalb der innersten 0,5 pc. Es scheint, dass beide Systeme etwa zur selben Zeit, vor 6 ± 2 Mio. Jahren gebildet wurden. Die Mehrzahl der Sterne der im Uhrzeigersinn rotierenden Scheibe bewegt sich

anscheinend auf nahezu kreisförmigen Bahnen, während in der gegenläufigen Scheibe die meisten Sterne exzentrische Bahnen aufweisen. Dieses zweite System enthält die rätselhafte Quelle IRS13E. Ausgehend von der Gestalt ihrer stellaren Flächendichte und ihrer Dynamik schlagen wir vor, dass es sich bei diesem Objekt um einen relativ langlebigen Sternhaufen ($M \geq 400 M_{\odot}$) handelt, der sich in der Scheibe gebildet hat. Seine zentrale Dichte ($> 3 \times 10^8 M_{\odot} pc^{-3}$) ist die bis dato zweithöchste bekannte, nur übertroffen von der Umgebung von SgrA* selbst. Im Falle der Sternscheiben weisen unsere Daten eindeutig in die Richtung von in-situ-Sternentstehung aus dichten Akkretionsscheiben. In diesem Szenario hätte sich der Sternhaufen IRS13E analog den Planeten im Sonnensystem gebildet, wobei das supermassive schwarze Loch SgrA* die Rolle der Sonne übernommen hätte.

Mit Hilfe von SINFONI konnten wir auch zeigen, dass fast alle der S-Sterne, die SgrA* in Abständen von weniger als $\sim 1''$ umlaufen, OB-Sterne sind. Darüber hinaus stehen uns inzwischen Eigenbewegungen über einen Zeitraum von 13 Jahren sowie Radialgeschwindigkeiten für alle diese Sterne über mehrere Epochen hinweg zur Verfügung. Daraus lassen sich eindeutige und annahmenfreie Keplersche Bahnen für jeden dieser Sterne berechnen und daraus die Entfernung zum galaktischen Zentrum ($R_o = 7,62 \pm 0,32$ kpc) sowie die Masse des zentralen Supermassiven schwarzen Lochs ($3,61 \pm 0,32$ Mio. M_{\odot}) mit hoher Genauigkeit bestimmen. Die Bahnen der S-Sterne scheinen zufällig und unabhängig von den bereits erwähnten Sternscheiben angeordnet zu sein.

Des Weiteren gelang uns mit SINFONI die Beobachtung von Flares von SgrA*. Wir konnten mehrere dieser Energieausbrüche aufzeichnen, wobei die besten Beobachtungen in der Nacht vom 17. zum 18. Juni unter sehr guten Bedingungen gelangen: ein heller Flare konnte von uns über einen Zeitraum von 4 Stunden und 20 Minuten verfolgt werden. Diese bisher unübertroffenen Beobachtungen ermöglichen es, Aussagen über den Emissionsmechanismus zu treffen, der für den gelegentlichen plötzlichen Anstieg des von SgrA* ausgehenden Fluxes verantwortlich ist.

Aufgrund früherer Beobachtungen hatten wir vermutet, dass die Farbe der einzelnen Flares eine Funktion ihrer Helligkeit ist, wobei leuchtkräftigere Flares ein „blaueres“ Spektrum zeigen. Unsere hochwertigen Daten bestätigen diese Vermutung, wir konnten diese exakte Korrelation im Verlauf eines einzelnen Flares beobachten. Aus den Daten geht hervor, dass sich die Farbe ebenso schnell ändert wie der Fluss, über einen Bereich von schwach blau bis sehr rot innerhalb von Zeiträumen in der Größenordnung von zehn Minuten (Abb. 2-20). Interessanterweise konnte der Flare

trotz seines sehr roten Spektrums in simultanen Beobachtungen im mittleren Infrarot (MIR) mit dem Instrument VISIR nicht nachgewiesen werden.

Der Emissionsmechanismus von SgrA* im nahen Infrarot (NIR) ist als nichtthermisch bekannt. Aktuelle Modelle führen NIR-Flares auf die vorübergehende Aufheizung und/oder Beschleunigung einer Elektronenpopulation zurück, was zu starker Emission von Synchrotronstrahlung führt. Die helle, blaue Phase des Flares kann auf diese Weise befriedigend erklärt werden, wenn man ein Magnetfeld von etwa 30G, ein kanonischer Wert in gegenwärtigen Akkretionsmodellen, annimmt. Dem gegenüber ist die schwächere, rote Phase weitaus schwieriger zu interpretieren ohne einen Konflikt mit der Tatsache zu provozieren, dass der Flare im MIR nicht beobachtet wurde. Allerdings wird eine Population aufgeheizter Elektronen aufgrund ihrer Synchrotronabstrahlung relativ schnell abkühlen. Unter Berücksichtigung dieser Synchrotronabkühlung gelang uns die Modellierung von Elektronverteilungsfunktionen, die sehr rote Spektra verursachen können, ohne die MIR-Obergrenze zu verletzen. Allerdings ist noch einiges mehr an Arbeit nötig, um den physikalischen Hintergrund dieser Verteilungsfunktionen zu verstehen.

The Galactic Center (GC) is a unique laboratory for studying galactic nuclei. Given its proximity, processes in the GC can be investigated at resolutions and detail that are not accessible in any other galactic nucleus. Sgr A*, the supermassive black hole at the centre of the Milky Way galaxy, is the one with the largest apparent Schwarzschild radius ($\sim 10 \mu\text{as}$). The GC group at MPE has made several breakthroughs this year thanks to the adaptive optics assisted spectro-imager SINFONI reaching production stage on ESO/VLT.

This instrument, combining high spatial and spectral resolution, allowed us for the first time to detect the absorption lines in the spectra of GC early type stars. The excellent data quality enabled us to spectroscopically identify ~ 40 OB supergiants, giants and main sequence stars in the central parsec of the Galaxy, in addition to the ~ 50 emission line stars previously known (Fig. 2-19).

Almost all of the ~ 80 massive stars now known in the central parsec ($\sim 24''$; central arcsecond excluded, see below) reside in one of two somewhat thick rotating disks. These stellar disks have fairly sharp inner edges ($R \sim 1''$) and surface density profiles that scale as R^2 . We do not detect any OB stars outside the central 0.5 pc. It appears that these two systems have been formed at essentially the same time, 6 ± 2 Myr ago. The majority of the stars in the clockwise system appear to be on almost circular orbits, whereas most of those in the “counter-clockwise” disk appear to be on eccentric orbits. This system contains the enigmatic source IRS 13E. Based on its stellar surface density dis-

tribution and dynamics, we propose that this source is a fairly long-lived stellar cluster ($M \geq 400 M_{\odot}$, which has formed in the counter-clockwise disk. Its core density ($> 3 \times 10^8 M_{\odot} pc^{-3}$) is the second highest known to date, surpassed only by the cusp around Sgr A* itself. Our data strongly favour in situ star formation from dense gas accretion disks for the two stellar disks. In that scenario,

and derive the most accurate estimates of the distance to the Galactic Centre ($R_0 = 7.62 \pm 0.32$ kpc) and mass of the central supermassive black hole $3.61 \pm 0.32 \times 10^6 M_{\odot}$. The orbits of the S-stars appear random and unrelated to the two above-mentioned disks at larger radii.

Finally, we have been able to observe flares of

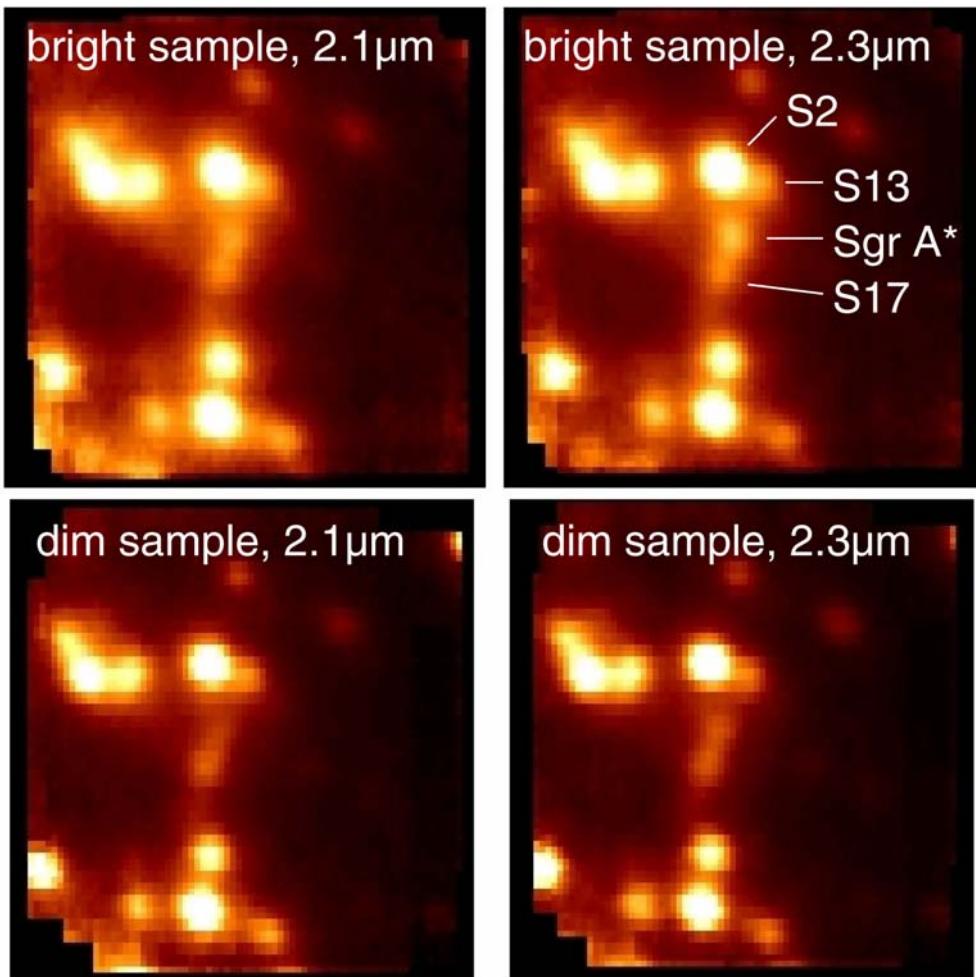


Abb. 2-20: Blick mit SINFONI ins galaktische Zentrum während eines Strahlungsausbruchs von Sgr A. Obere Reihe: Sgr A* in einem hellen Zustand, untere Reihe: in einem schwächeren Zustand. Alle Bilder sind gleich skaliert und in der gleichen Falschfarbdarstellung gezeigt. Sgr A* ist in den langwelligeren Bildern heller als in den kurzwelligen, was bedeutet dass Sgr A* röter als die Sterne im Gesichtsfeld ist. Außerdem ist der Effekt ausgeprägter für die Gruppe, in der Sgr A* schwach geleuchtet hat.*

Fig. 2-20 The Galactic Center as seen with SINFONI during a flare of Sgr A. Top row: bright state of Sgr A*, bottom row: dim state. All four images are scaled the same way and use an identical colour map. Sgr A* is brighter in the longer wavelength maps, indicating that it is redder than the field stars. Furthermore, the effect is more pronounced in the dim sample, meaning that Sgr A* is redder therein than in the bright sample.*

the IRS 13E stellar cluster would have formed in a fashion reminiscent of the formation of planets in the solar system, the supermassive black hole Sgr A* playing the same role as the sun.

With SINFONI we have also demonstrated that almost all of the S-stars orbiting Sgr A* at less than $\sim 1''$ are OB stars. We now have at our disposal 13 years of proper motions as well as several epochs of radial velocities for all these stars. We can compute unambiguous Keplerian orbits for each star,

Sgr A* with SINFONI. We have caught several of these outbursts of energy. We were particularly lucky on June 17/18 when the seeing conditions were excellent: a bright flare occurred and we could follow it for 4 hours and 20 minutes. These unprecedented observations make it possible to provide strong constraints on the emission mechanism causing the sudden increase in flux of Sgr A*. We previously suspected that the colour of individual flares was a function of the flare brightness,

overall “brighter” flares also being “bluer”. Our excellent data confirm this suspicion and for the first time, we were able to observe this exact correlation during a single flare event. Our data show that the colour changes as rapidly as the flux, ranging from slightly blue to very red values on timescales as short as ten minutes (Fig. 2-20). Interestingly, despite the very red spectrum, the flare was not seen in simultaneous mid-infrared (MIR) observations by VISIR.

The emission mechanism of Sgr A* in the near infrared (NIR) is known to be non-thermal. Current models predict NIR flares when an electron population is transiently heated and/or accelerated to higher energies, resulting in significant synchrotron

flux in the NIR. The bright, blue state of the flare is easily explained in this manner, assuming a magnetic field of ~ 30 G – a canonical value in current accretion models. The fainter, red state is harder to explain without violating the fact that the flare was not detected in the MIR. However, the heated electron component will cool relatively quickly due to its synchrotron emission. Taking into account this synchrotron cooling, we were able to create electron distribution functions that produce the very red spectra without violating the MIR upper limit. However, further work needs to be done to physically understand the origin of this distribution function.

[ABUTER, EISENHAUER, GENZEL, GILLESSEN, MARTINS, OTT, PAUMARD, TRIPPE]

2.3.2 Blaue Sterne um das supermassereiche schwarze Loch von M31 / Blue Stars around the Supermassive Black Hole of M31

Eine sehr wichtige astrophysikalische Entdeckung der letzten 10 Jahre war die Erkenntnis, dass wahrscheinlich alle Galaxien mit „Bulges“, d.h. zentralen Sphäroiden, auch zentrale supermassereiche schwarze Löcher (SMSLs) besitzen. Ihre Masse, die mehrere Milliarden Sonnenmassen erreichen kann, beträgt unabhängig von ihrer Größe etwa 0.15% der Masse der „Bulge“-Komponente. Die Entstehung und das Wachstum von SMSLs ist eng mit der Entstehung und Entwicklung ihrer Wirtsgalaxien verknüpft. Die Keime der heute beobachteten gigantischen SMSLs wurden möglicherweise bereits wenige Millionen Jahre nach dem Urknall gebildet. Sie haben sich vielleicht direkt aus kollabierenden, primordialen Gas oder in den finalen Explosionen der ersten, sehr massereichen Sterne gebildet und diese primordialen schwarzen Löcher wuchsen zusammen mit den sie beherbergenden Galaxien. SMSLs akkretieren wahrscheinlich einen Teil des interstellaren Gases, das ins Galaxienzentrum fällt. In dieser Akkretionsphase werden SMSLs „aktiv“, d.h. sie wandeln einen Teil der Gravitationsenergie der akkretierten Materie in elektromagnetische Energie um. Bei Galaxienverschmelzungen können SMSLs auch einfach durch das Verschlucken des schwarzen Lochs des Verschmelzungspartners wachsen. Sehr wahrscheinlich hatte die Aktivität der SMSLs auch einen großen Einfluss auf die Entwicklung der Wirtsgalaxien. Das starke Strahlungsfeld eines akkretierenden schwarzen Lochs ionisiert das interstellare Gas und kann daher die Bildung von Sternen regulieren. Heute glauben wir, dass SMSLs eine entscheidende Rolle im Leben einer jeden Galaxie spielen. Es ist daher von grundsätzlicher Bedeutung, ihre physikalischen Eigenschaften und Beziehungen zu ihrer Umgebung auf solider empirischer Grundlage zu charakterisieren. Nicht zuletzt haben wir zu zeigen, dass das, was wie ein schwarzes Loch aussieht, tatsächlich auch

eins ist. Obwohl die Indizien für schwarze Löcher gut sind, müssen wir mögliche Alternativen, wie sehr kompakte Haufen aus Neutronensternen oder weißen Zwergen, zumindest in einigen repräsentativen Fällen ausschließen.

Das beste Labor, um diese Tests durchzuführen, ist natürlich das Zentrum unserer eigenen Galaxie, wo in der Tat ein SMSL mit drei Millionen Sonnenmassen von Reinhard Genzel und seinen Mitarbeitern am MPE entdeckt wurde. Der zweitbeste Ort ist Andromeda oder M31, unsere benachbarte Spiralgalaxie, die nur 2,3 Millionen Lichtjahre entfernt liegt. M31 ist in vielerlei Hinsicht ein geringfügig größerer Zwilling der Milchstraße mit ähnlicher Morphologie aber höherer Masse. Außerdem hat M31 einen größeren „Bulge“ und ein vermutlich entsprechend größeres SMSL. Den ersten Hinweis auf ein SMSL in M31 gab es 1988, als J. Kormendy, A. Dressler und D. Richstone eine zentrale dunkle Masse von etwa 20 bis 80 Millionen Sonnenmassen entdeckten. Dank neuer Beobachtungen mit dem Hubble Space Telescope (HST) waren wir in der Lage (1) die Masse des SMSL von M31 mit verbesserter Genauigkeit zu bestimmen, (2) Alternativen zu schwarzen Löchern wie Haufen aus Neutronensternen und weißen Zwergen auszuschließen und (3) das Zentrum von M31 mit seinen ungewöhnlichen und überraschenden Eigenschaften in viel größerem Detail zu studieren.

Die ersten Hinweise auf eine ungewöhnliche Struktur des Kerns von M31 erfolgten bereits 1993, als das HST entdeckte, dass die Galaxie scheinbar einen Doppelhaufen roter Sterne, dessen zwei Kerne etwa fünf Lichtjahre auseinander liegen, in ihrem Zentrum beherbergt. Dieser Befund war eine Überraschung, da beide Haufen innerhalb von nur wenigen hunderttausend Jahren verschmelzen sollten. Es scheint sehr unwahrscheinlich, dass wir M31 ausgerechnet zu einem Zeitpunkt beobachten, bei dem ein so seltenes Ereignis stattfindet.

Dieses Problem wurde 1995 von S. Tremaine gelöst. Er schlug vor, dass der rote Doppelkern tatsächlich eine exzentrische Scheibe alter Sterne ist, die um ein SMSL rotieren. In diesem Modell ist der hellere Kern weiter vom schwarzen Loch entfernt und resultiert aus der Tatsache, dass Sterne in sehr elongierten Orbits sich umso langsamer bewegen, je weiter sie sich vom schwarzen Loch entfernen. Der schwächere Kern befindet sich sehr nahe am schwarzen Loch und wird durch eine zum Zentrum hin zunehmende Scheibendichte erklärt. Ohne ein SMSL würde dieses Modell nicht funktionieren, da die elongierten Orbits ihre Ausrichtung verlieren würden und der Doppelkern sich innerhalb weniger Millionen Jahre auflösen würde.

die in einem Sternentstehungsausbruch vor „nur“ 200 Millionen Jahren entstanden sind, produziert wird. Die Sterne befinden sich eng gepackt in einer Scheibe mit einem Radius von etwa einem Lichtjahr. Eine sorgfältige Analyse von Bildern, die mit der Widefield and Planetary Camera (WFPC) des HST aufgenommen wurden, zeigt, dass die blaue Scheibe und die exzentrische rote Scheibe, die den roten Doppelkern produziert, von der Erde aus gesehen um den selben Winkel geneigt sind, was eine physikalische Beziehung zwischen den beiden Scheiben nahelegt (Abb. 2-22)

Unsere STIS-Spektroskopie erlaubt es auch, die mittleren Geschwindigkeiten der blauen Sterne mittels der Dopplerverschiebung ihrer Emission zu

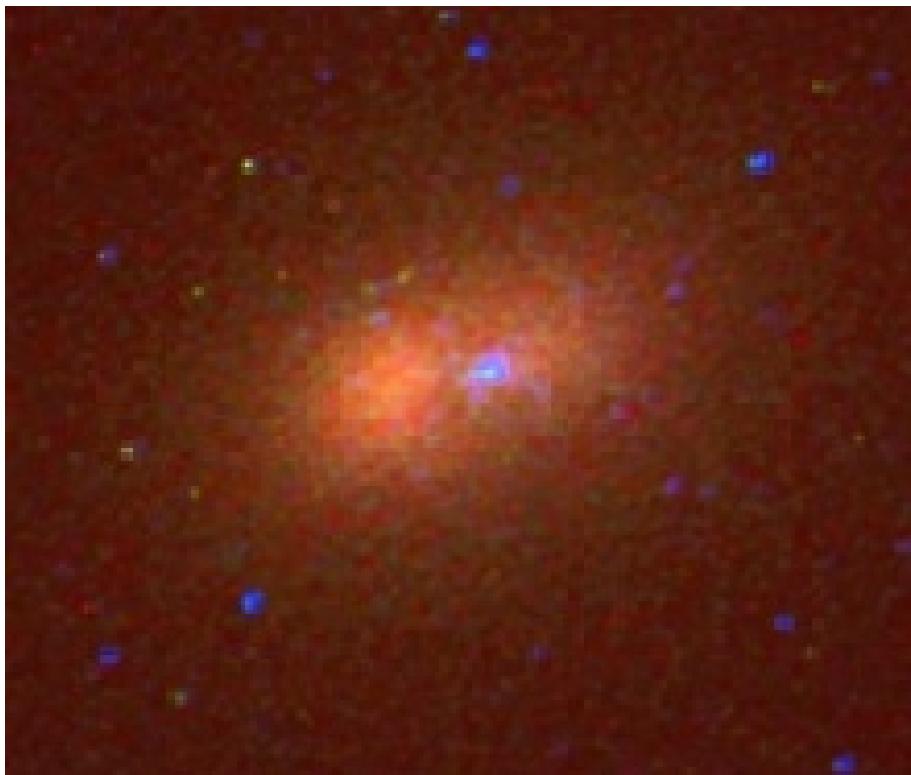


Abb. 2-21: Echtfarbenbild des Doppelkerns von M31. Es wurde aus Hubble WFPC2 Aufnahmen im nah-infraroten, grünen und ultravioletten Licht gewonnen. Das linke und das rechte Helligkeitsmaximum werden P1 bzw. P2 genannt. In P2 eingebettet ist die blaue Sternscheibe.

Fig. 2-21: This is a color image of the double nucleus constructed from Hubble WFPC2 exposures in near-infrared, green, and ultraviolet light. The right brightness peak (with embedded blue light source) is called P2; the left peak is called P1.

In den folgenden Jahren verdichteten sich die Hinweise, dass eine kompakte blaue Lichtquelle fast an der gleichen Position des schwächeren der zwei roten Kerne existiert. Es wurde zuerst vermutet, dass dies vielleicht das blaue Licht einer gasförmigen, heißen Akkretionsscheibe um das schwarze Loch sein könnte. Später legten photometrische Studien von Tod Lauer und Kollegen jedoch nahe, dass es sich wahrscheinlich um einen Haufen aus blauen Sternen handelt (Abb. 2-21).

Unsere neuen Beobachtungen mit dem HST Imaging Spectrograph (STIS) zeigen nun, dass das blaue Licht von etwa 200 heißen A-Typ Sternen,

messen. Durch die Gravitationsanziehung des schwarzen Lochs bewegen sich die Sterne sehr schnell: 1000 Kilometer pro Sekunde (Abb. 2-23). D.h. sie würden in 40 Sekunden die Erde umrunden und in sechs Minuten den Mond erreichen. Bei einem Radius von einem halben Lichtjahr bewegen sich die Sterne mit etwa 2000 km/s und umlaufen das schwarze Loch einmal in 500 Jahren. Solch großen Geschwindigkeiten können nur durch die gravitative Anziehung eines supermassereichen schwarzen Lochs mit einer Masse von 140 Millionen Sonnenmassen hervorgerufen werden. Die Geschwindigkeiten dieser Sterne erlaub-

ben uns daher eine genauere Massenbestimmung für das SMSL. Astrophysikalische Alternativen zu einem SMSL, wie dunkle Haufen aus weißen Zwergen, Neutronensternen oder schwarzen Löchern niedriger Masse, können, dank der hervorragenden räumlichen Auflösung des HST, ausgeschlossen werden.

men wird von dem zentralen Objekt dominiert. Wie können unter diesen Umständen Gas und Staub kollabieren und Sterne bilden? Genauso problematisch ist die Tatsache, dass die blauen Sterne für maximal einige hundert Millionen Jahre leben. Es ist daher unwahrscheinlich, dass in der 12 Milliarden Jahre langen Geschichte von Andromeda eine



Abb. 2-22: Eine künstlerische Darstellung des Kerns von M31. Die blaue Scheibe ist in einen elliptischen Ring alter, kühler, roter Sterne eingebettet.

Fig. 2-22: An artist's view of the nucleus of M31. The blue disk is nested inside an elliptical ring of older, cooler, red stars.

Bisher sind kompakte Haufen als Alternativen zu SMSLs nur in zwei Galaxien definitiv ausgeschlossen worden, in NGC 4258 und in unserer Galaxis, der Milchstraße. Aber beide sind spezielle Fälle: NGC 4258 besitzt nahe beim SMSL eine Scheibe aus Wasser-Masern, die mit Radioteleskopen beobachtet werden kann, und unser galaktisches Zentrum ist so nahe, dass wir die Bahnen einzelner Sterne vermessen können. Andromeda ist die erste Galaxie, in der wir alle astrophysikalischen Alternativen zu einem SMSL mit Hilfe des HST und denselben Methoden, durch die wir fast alle anderen mutmaßlichen SMSLs in Galaxien gefunden haben, ausschließen können. Die meisten dieser ca. 40 Detektionen wurden mit dem HST durch Messung der mittleren Bewegungen von Sternen nahe der Galaxienzentren gemacht.

Wie war es möglich, dass sich vor 200 Millionen Jahren junge Sterne in so großer Nähe zu dem SMSL in M31 bilden konnten? Die kinematische Struktur der blauen Sternscheibe um das schwarze Loch von M31 ist vergleichbar mit unserem Planetensystem. Die Bewegung in beiden Systemen

so relativ kurzlebige Scheibe nur einmal und gerade jetzt entstanden ist. Der Mechanismus, der diese Scheibe aus blauen Sternen geformt hat, funktionierte daher wahrscheinlich auch in der Vergangenheit und könnte erneute Sternentstehung in der Zukunft auslösen.

Die blauen Sterne im Zentrum von Andromeda sind vielleicht nicht so außergewöhnlich, wie es zunächst erscheint. Unsere Milchstraße besitzt nahe ihres SMSLs auch jüngere Sterne, allerdings nicht in einer so geordneten Scheibe wie in M31. Es ist unwahrscheinlich, dass nur unsere eigene Galaxis und ihre Nachbargalaxie diese seltsame Sternbildungsaktivität aufweisen. Daher ist diese Bildung von Sternen in unmittelbarer Nähe von SMSLs vielleicht keine Ausnahme sondern möglicherweise sogar die Regel, auch wenn wir noch nicht verstehen, wie es dazu kommt.

An important astrophysical discovery of the past decade has been the realization that probably all galaxies with bulges also contain central supermassive black holes (SMBHs). Their masses are

about 0.15% of the mass of the bulge component of the galaxies, whether they are small or large, amounting up to thousands of millions of suns. The formation and growth of SMBHs is intimately related to the formation and evolution of their host galaxies. The seeds of the gigantic SMBHs that we observe today were possible “planted” already some million years after the Big Bang. They may have formed either directly from collapsing primor-

The best laboratory to perform these tests is of course the centre of our own galaxy, where indeed a SMBH of three million solar masses has been detected by the MPE and UCLA Galactic Centre groups. The second place to look is Andromeda or M31, our neighbouring spiral galaxy, just 2.3 million light-years away from us. M31 is in many respects a slightly larger twin version of the Milky Way, with similar morphology but scaled-up mass.

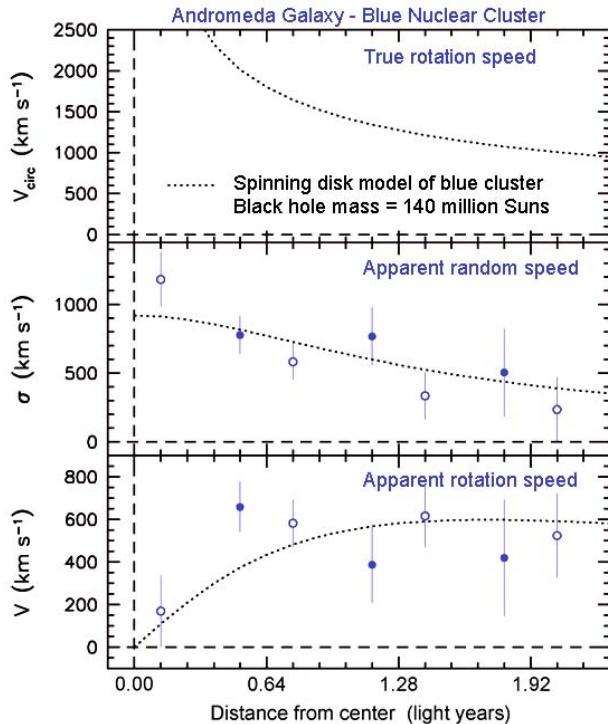


Abb. 2-23: Unten: Gemessene Rotationsgeschwindigkeit des blauen Haufens (ca. 600 km/s bei einem Radius von etwa einem halben Lichtjahr). Mitte: Die scheinbaren Zufallsgeschwindigkeiten der Sterne, die jedoch durch die endliche Auflösung des Hubble Space Teleskops und die endliche Spaltbreite des Spektrographen verursacht werden. Oben: Die wahren Rotationsgeschwindigkeiten der blauen Scheibe. Bei einem Radius von einem halben Lichtjahr bewegen sich die Sterne mit etwa 2000 km/s und umlaufen das schwarze Loch einmal in 500 Jahren!

Fig. 2-23: The bottom panel shows the measured rotation speed of the blue cluster, about 600 km/s at a radius of about one-half of a light year. The middle panel shows the random speeds of the stars. The true rotation speeds of the blue disk are shown in the top panel of the above figure. At one-half of a light year, the stars are moving at about 2000 km/s and revolve once around the black hole in about 500 years!

dial gas or in the final explosions of the very first, very massive stars and these seed black holes grew in mass in parallel with the growth of the galaxies harbouring them. SMBHs likely accrete a fraction of all material that happens to fall into the galactic centres. During these phases of accretion SMBHs become “active”, transforming part of the gravitational energy of the accreted material into electromagnetic energy. SMBHs may have grown in galaxy mergers simply by swallowing the black hole that the merger partner may have brought with it. We also think that SMBH activity has a strong influence on the evolution of the host galaxy. The strong radiation field from an accreting black hole ionizes the interstellar gas and, therefore, may regulate star formation in galaxies. Nowadays we believe that SMBHs play a vital role in the life of every galaxy. Therefore, it is of paramount importance to characterize their physical properties and relations to their environment on a sound empirical basis. Last but not least, we have to prove that what looks like a black hole really is a black hole. Although the circumstantial evidence that we have discovered black holes is large, we need to exclude possible alternatives like very dense clusters of neutron stars or of white dwarfs in at least a few representative cases.

Also, M31 has a much larger bulge and a correspondingly larger SMBH. The first evidence for a SMBH in M31 dates back to 1988 when J. Kormendy, A. Dressler and D. Richstone on the other hand, discovered a large dark mass of about 20 to 80 million solar masses in its centre. Thanks to our recent observations with the Hubble Space Telescope (HST) we are now able to (a) determine the mass of M31’s SMBH with better accuracy, (b) exclude black hole alternatives like compact clusters of neutron stars or white dwarfs, and (c) study M31’s centre with its unusual and surprising properties in much greater detail.

The first hints that the structure of M31’s nucleus is unusual came already in 1993, when the HST discovered that the galaxy appears to have a double cluster of red stars at its centre. The two nuclei are separated by about 5 light-years. This finding was a surprise, because two clusters should merge into one in only a few hundred thousand years. This problem was solved by Scott Tremaine in 1995 who suggested that the red double nucleus was actually an eccentric, elliptical disk of old stars orbiting a SMBH. In this model, the brighter nucleus is farther from the black hole and results from the fact that stars in very elongated orbits move slowly when they are farthest from the black

hole. The fainter nucleus is centred very near the black hole and is explained by an increasing disk density toward the centre. A SMBH is required to make this explanation work; otherwise, the elongated orbits will not stay lined up and the double nucleus would resolve very quickly.

In the following years evidence started to accumulate that a third structure, emitting blue light, was present almost on top of the fainter one of the two red nuclei. It was first speculated that this may be blue light from a gaseous hot accretion disk around the black hole but later photometry by Tod Lauer and colleagues suggested that it was probably a cluster of blue stars (Fig. 2-21).

Our new spectroscopic observations with the Hubble Space Telescope Imaging Spectrograph (STIS) reveal that the blue light is produced by about 200 hot A-type stars that formed in a starburst about "just" 200 million years ago. The stars are tightly packed in a disk that has a radius of about one light-year. Careful analysis of images taken with the Widefield and Planetary Camera of the HST shows that the blue disk and the red disk (that produces the red double nucleus) are tilted at the same angle as viewed from Earth, suggesting that they may be related (Fig. 2-22).

The STIS spectroscopy also allows us to measure the mean velocities of the blue stars. They are calculated by determining how much the light waves the stars emit are stretched and compressed as they travel around the central black hole. Under the black hole's gravitational grip, the stars are travelling very fast: 3.6 million kilometres an hour (1,000 kilometres a second). They are moving so fast that it would take them 40 seconds to circle the Earth and six minutes to arrive at the Moon. The fastest stars complete an orbit in 100 years (Fig. 2-23). Such large velocities can be generated only by the gravitational pull of a supermassive black hole with a mass of 140 million suns. So the velocities of these stars allow us to obtain a more accurate mass estimate for the SMBH. More mundane alternatives to an SMBH, like dark clusters of white dwarfs, neutron stars or

low mass black holes, can be excluded thanks to the unprecedented spatial resolution delivered by the HST which allows to set a strong lower limit to the density of the required central object.

So far, dark clusters have definitively been ruled out in only two galaxies, NGC 4258 and our galaxy, the Milky Way. But both are special cases - NGC 4258 contains a disk of water masers very close to the SMBH that we can observe with radio telescopes, and our Galactic Centre is so close that we can follow individual stellar orbits. Andromeda is the first galaxy in which we can exclude all dark cluster alternatives to a black hole using HST and the same techniques by which we found almost all other, about 40, putative SMBHs in galaxies.

What mechanism is able to form a disk of stars so close to a supermassive black hole? The blue stars are orbiting around the black hole in much the same way as planets in our solar system are revolving around the Sun. It is difficult to understand how the pancake-shaped disk of stars could form so close to a giant black hole. In such a hostile environment, the black hole's tidal forces should tear matter apart, making it difficult for gas and dust to collapse and form stars. Equally problematic is the fact that the blue stars live for at most a few hundred million years. As a consequence, it is unlikely in the long 12-billion-year history of Andromeda that such a relatively short-lived disk would appear only once and now. Therefore, the mechanism that formed this disk of blue stars probably also worked in the past and may trigger new star formation again in the future.

Finally, the dynamics within the core of Andromeda may be more common than we think: our own Milky Way apparently has even younger stars close to its own black hole. It seems unlikely that only the closest two big galaxies should have this odd activity. So this behaviour may not be the exception but the rule. In addition, recently a few other galaxies also have been found that have a double nucleus.

[BENDER, SAGLIA]

2.3.3 Ein Blick tief ins Innere von aktiven Galaxienkernen / Focussing in on Active Galactic Nuclei

Außerhalb der lokalen Galaxiengruppe untersuchen wir momentan nahe aktive galaktische Kerne. Das Projekt begann mit herkömmlichen spektroskopischen Beobachtungen an den Keck-Teleskopen und verwendet nun unseren Feldspektrografen SINFONI am VLT. Bis heute haben wir neun aktive Galaxienkerne beobachtet. Dabei ist es für alle diese Beobachtungen zwingend notwendig, adaptive Optik zu verwenden, um die benötigte räumliche Auflösung zu erreichen. In einer

typischen Entfernung von 20 Mpc entspricht die Auflösungsgrenze von 0.06 Bogensekunden des VLT im K-Band einer Strecke von 6 pc. Dies erlaubt es uns, den Einflussbereich eines typischen, superschweren schwarzen Lochs aufzulösen, also den innersten Bereich in dem die Dynamik nicht mehr von der Galaxie bestimmt wird. (Abb. 2-24)

Dies ist entscheidend für das Ziel des Projekts, das versucht mit Hilfe der Kinematik der Sterne

die Masse des zentralen schwarzen Lochs zu bestimmen. Derartige Untersuchungen wurden bislang vor allem an nicht-akkretierenden schwarzen Löchern in großen Galaxien gemacht. Indem wir die Fragestellung auf akkretierende schwarze Löcher erweitern, können wir wirklich verstehen, wie schwarze Löcher wachsen und wie dieser Prozess die Entwicklung der Galaxie beeinflusst. Im speziellen Fall von NGC3227 konnten wir die Masse des schwarzen Lochs auf 4×10^6 - 2.5×10^7 Sonnenmassen eingrenzen. Auch wenn der mögli-

che Massenbereich groß erscheint, stellt dies aus verschiedenen Gründen ein wichtiges Ergebnis dar: Wir können die Möglichkeit, dass NGC3227 kein zentrales schwarzes Loch hat, definitiv ausschließen; unser Ergebnis ist kleiner als ältere, indirekte Methoden - was wiederum bedeutet, dass diese möglicherweise die Massen überschätzen. Und schließlich ist unser Ergebnis 2-10 mal kleiner als es aus der $M-\sigma$ -Beziehung zwischen Masse des schwarzen Lochs und Geschwindigkeitsdispersion der Umgebungssterne erwartet wurde.

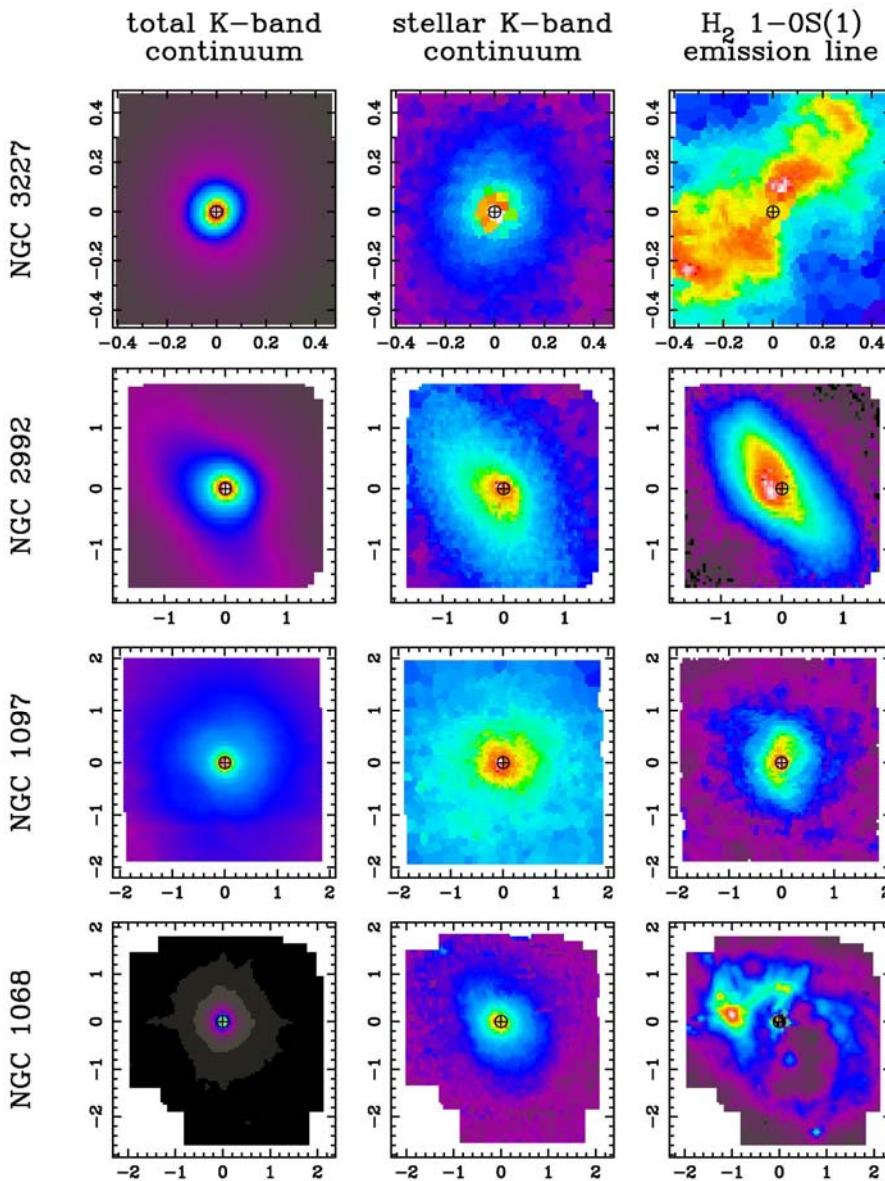


Abb. 2-24: Kontinuum- und Linienbilder von 4 mit SINFONI beobachteten Galaxien mit bemerkenswerten morphologischen Unterschieden. Die linke Spalte zeigt das K-Band-Kontinuum, was das stellare Kontinuum (mittlere Spalte) und das vom AGN herrührende nicht-stellare Kontinuum beinhaltet. Die rechte Spalte zeigt das molekulare Gas. Alle Abstände sind in Bogensekunden. Eine Bogensekunde entspricht 80pc für NGC3227, 160pc für NGC2992, 90pc für NGC1097, and 70pc für NGC1068.

Fig. 2-24: Continuum and line images of 4 Seyfert nuclei observed with SINFONI, showing the remarkable variety in morphology of stars and molecular gas. The left column shows the K-band continuum, which includes both the stellar continuum (middle column) and the unresolved non-stellar continuum directly associated with the AGN. The right column shows the molecular gas. All offsets are given in arcsec. 1arcsec is equivalent to 80pc for NGC3227, 160pc for NGC2992, 90pc for NGC1097, and 70pc for NGC1068.

Dies legt nahe, dass die Beziehung weniger streng gilt als bislang angenommen.

Das zweite Ziel des Projekts ist es, die Sternentstehung in der Nähe eines superschweren schwarzen Lochs zu verstehen. Wir sehen starke Hinweise, dass sehr häufig heftige Ausbrüche von Sternentstehung, oftmals vor relativ kurzer Zeit, passiert sind. Diese sind so stark, dass das Licht der in den zentralen 100 pc entstandenen Sterne sogar den aktiven Galaxienkern überstrahlt. In allen neun Fällen haben wir die Sternentstehungsgebiete räumlich aufgelöst und die spektralen Merkmale der Sterne (meistens Absorptionsbänder von CO bei $1.6\mu\text{m}$ und $2.3\mu\text{m}$) selbst an der Position des hell leuchtenden Galaxienkerns nachgewiesen. Dies gelang nicht nur für Kerne vom Typ Seyfert-2, sondern auch für Seyfert-1 Kerne. Dass wir zeigen konnten, dass die Gesamtleuchtkraft der Sterne an der Stelle des Galaxienkerns am höchsten ist, stellt einen wichtigen Schritt dar, um die Kopplung zweier Prozesse zu verstehen: Wie kann der Kern Sternentstehung auslösen oder hemmen und wie kann Sternentstehung den Kern mit Material versorgen? Diese Frage hängt auch mit dem vermuteten Torus aus Gas und Staub zusammen. Im Standardbild entstehen die verschiedenen Typen von Galaxienkernen dadurch, dass der Torus je nach Blickwinkel verschiedene Bereiche der intrinsisch gleichen Kerne sichtbar werden lässt. Unsere Daten beinhalten auch die H₂ 1-0 S(1) Linie bei $2.1\mu\text{m}$, und für Circinus und NGC3227 (die beiden Fälle die wir bis jetzt darauf untersucht haben) zeigt sich, dass die Dynamik dieser Linie bemerkenswert ähnlich der Sternodynamik ist. Dies lässt vermuten, dass das Gas und die Sterne vermischt sind, und dass in dem Gas-Torus auch die Sterne entstehen. Die Gasmasse können wir durch eine Beziehung zwischen Masse und 1-0 S(1) Helligkeit abschätzen, die an anderen aktiven Galaxienkernen abgeleitet wurde. Indem wir die Gasmasse mit der maximalen Extinktion des Sternlichts vergleichen, haben wir gezeigt, dass in den genannten beiden Galaxien das Gas nicht gleichmäßig verteilt sein kann, wie es moderne Torus-Modelle vorhersagen. Rätselhaft bleibt dagegen die Gasdynamik, die wir in fünf Galaxien gemessen haben: Die Werte von $\sigma = 70\text{-}140 \text{ km/s}$ (unabhängig von der Auflösung) sind erstaunlich hoch, da man eigentlich erwarten würde, dass das Gas innerhalb weniger Umläufe von einigen Millionen Jahren abkühlen würde durch die Kollisionen zwischen einzelnen Gaswolken. Das Gas in diesen Galaxien muss erwärmt worden sein; aber es scheint, als ob Heizprozesse durch den Kern oder Sternentstehung (die sowohl durch ihre Strahlung als auch mechanisch durch Supernova-Explosionen heizen kann) die hohen gemessenen Gasdispersionswerte nicht erklären können.

Wir beginnen nun von diesem technisch und wissenschaftlich anspruchsvollen Projekt zu profitie-

ren. Mit dem ab 2006 zur Verfügung stehenden Laser-Leitstern werden wir unsere Beobachtungen auf weitere Galaxienkerne ausdehnen können, die bislang noch nicht mit der notwendigen Auflösung beobachtbar waren.

Moving out of the Local Group, we are currently deep into a detailed study of nearby AGN. The project was initiated using longslit spectroscopy on the Keck telescopes, and is now making much use of our integral field spectrometer SINFONI on the VLT, so that to date we have observed 9 AGN. For all the observations, adaptive optics is mandatory in order to reach the spatial resolutions necessary: at a typical distance of 20 Mpc, the 0.06 arcsec diffraction limit of the VLT in K-band is equivalent to 6 pc, allowing us to resolve the sphere of influence of a typical supermassive black hole over which it dominates the dynamics of the galaxy. This is critical for one of the aims of the project, which makes use of stellar kinematics to derive the mass of the central black holes. Typically, this has only been applied to massive galaxies with quiescent black holes; by applying it to active galaxies where the black holes are by definition accreting matter, we can really begin to understand black hole growth and how it affects galaxy evolution through cosmic history. In the specific case of NGC3227, we have constrained the range of M_{BH} to be $4\times 10^6\text{-}2.5\times 10^7 M_{\odot}$. While this range appears large, it is an important result for several reasons: we can definitely rule out the possibility that there is no black hole; it is lower than other less direct methods have indicated, suggesting that these may overestimate the true mass; and it is 2 to 10 times less than implied by the widely used $M_{\text{BH}} - \sigma$ relation between the black hole mass and velocity dispersion of stars in the surrounding spheroid, suggesting that there may be a huge scatter in the relation for accreting black holes. (Fig. 2-24)

The second aim of the project is to shed light on star formation in the vicinity of the black hole. We are finding strong evidence that often there have been very recent and vigorous bursts of star formation, sufficient for the stellar luminosity in the central 100 pc or so to rival that of the active nucleus itself. In all 9 cases we have both spatially resolved the nuclear star forming region and, despite the strong dilution by non-stellar continuum, been able to trace stellar features (most usually the CO absorption at $1.6\mu\text{m}$ and $2.3\mu\text{m}$) right across the AGN – in not only the type 2 nuclei but crucially also in type 1 Seyferts. Being able to show that the stellar luminosity peaks at the AGN is an important step towards understanding the feedback processes between the two phenomena: how the AGN might trigger or suppress star formation, and how the star formation might feed the AGN. These issues are also related to that of the putative torus: in the unified scheme, it is the geometrical effect of an obscuring torus of gas and

dust blocking, some lines of sight to the AGN that gives rise to the different types. Our data include the H₂ 1-0S(1) line at 2.1μm and, in Circinus and NGC3227 where we have so far made the comparison, the kinematics of this line are remarkably similar to those of the stars. This suggests that the gas and stars are mixed; and hence that the torus, which is presumably traced by the gas, is in fact forming stars. By comparing the mass of gas – which we estimate from the relation between mass and 1-0S(1) luminosity derived from other luminous starburst galaxies – to the maximum extinction experienced by the stars, we have shown that in these two galaxies the gas must be clumpy rather than uniform as proposed by recent torus models. The gas kinematics, which we have measured in 5 galaxies, remain a puzzle: the val-

ues of $\sigma_{\text{gas}} \sim 70-140$ km/s (independent of beam smearing) are surprisingly high, since typically gas is expected to cool on orbital timescales of a few million years due to collisions between clouds. The gas in these galaxies must be heated; but it seems that current models for heating by either the AGN or star formation (radiatively or mechanically via supernovae) cannot explain such high dispersions. We are now beginning to reap the rich rewards of this technically and scientifically challenging topic, and with the commissioning of the Laser Guide Star Facility to take place in 2006, we will be able to extend our survey to other nearer AGN which so far have been untouchable.

[DAVIES, FRIEDRICH S. GENZEL, MUELLER-SANCHEZ, TACCONI, THOMAS J.]

2.3.4 Die Fe K_α Linie als wichtiges diagnostisches Mittel zur Untersuchung der innersten Gebiete um supermassive schwarze Löcher / Iron K_α Line as a powerful Tool to probe the innermost Regions around Supermassive Black Holes

Wie bereits seit etwa einer Dekade vorhergesagt, können prominente spektrale Komponenten in den Röntgenspektren von aktiven Galaxien, insbesondere die 6.4 keV Fe K_α Linie zu detektierbaren spektralen Signaturen bei einigen keV im Röntgenhintergrund (XRB) führen. Im Chandra „Deep Field South“ (Beobachtungszeit 1 Ms) und im 2Ms „Chandra Deep Field North“ wurde in Zusammenarbeit mit italienischen Kollegen sorgfältig nach Emissionlinien der Fe K_α Linie, gesucht. Dazu wurde eine sogenannte „stacking“ Analyse in 7 Rotverschiebungintervallen von $z = 0.5-4.0$ durchgeführt. Dabei wird die Fe K_α Linie bis zu einer Rotverschiebung von etwa 3 signifikant im Spektrum des Röntgenhintergrundes detektiert (Abb. 2-25). Die gemessenen Äquivalentbreiten stehen in Übereinstimmung mit theoretischen Modellen des Röntgenhintergrundes und die Werte sind unabhängig von der Rotverschiebung und der Leuchtkraft. Die Fe K_α Linie zeigt keine signifikante gravitative Rotverschiebung in den gemessenen Daten.

Diese Ergebnisse wurden in einer Pressemitteilung des Chandra Röntgenzentrums veröffentlicht (<http://chandra.harvard.edu/photo/2005/felines>). Die Suche nach Fe K_α Linien im Röntgenhintergrund wurde auch in einer 770 ks XMM-Newton Beobachtung des Lockman Feldes erfolgreich durchgeführt. Mit der neuen Satellitengeneration XEUS und Constellation-X werden Linienprofilmessungen und Drehimpulsmessungen schwarzer Löcher bis zu einer Rotverschiebung von etwa 10 möglich sein.

Die Suche nach Fe K_α Linien wurde auch an Einzelobjekten durchgeführt. Ein relativistisch verbreitertes Linienprofil wurde in der Seyfert Galaxie MCG-02-14-009 ($z=0.028$) mit XMM-Newton in

einer 5 ks Beobachtung nachgewiesen (Abb. 2-26). Eine Unterscheidung zwischen einem rotierenden oder nicht-rotierenden schwarzen Loch ist jedoch nicht eindeutig möglich. Für ein nicht-rotierendes schwarzes Loch erhält man eine Linienergie von 6.51 keV, eine Äquivalentbreite von 630 eV und eine Neigung der Akkretionsscheibe von weniger als 43 Grad. Für ein rotierendes schwarzes Loch würde sich ein reflexionsdominiertes 0.2-12 keV Spektrum ergeben, wobei die Emission sehr nahe am schwarzen Loch konzentriert ist (etwa 1.5-2 Schwarzschildradien).

Eine breite Fe K_α Linie wurde ebenfalls in dem schmallinigen Quasar NAB 0205+024 detektiert. Die Linie ist gravitativ rotverschoben bis etwa 5 keV. Die wahrscheinlichste Erklärung ist neutrale Emission der Akkretionsscheibe in der Fe K_α Linie. Ebenso wurde ein Helligkeitsausbruch im harten Energiebereich nachgewiesen. Eine mögliche Erklärung dafür könnte das von Merloni und Fabian vorgeschlagene „thunder-cloud“ Modell sein.

In der Seyfert 1.2 Galaxie UGC 3973 wurde eine Emissionslinie bei 8 keV mit hoher Wahrscheinlichkeit (96-98.4%) nachgewiesen. Die Linie ist vermutlich zeitlich veränderlich. Der genaue Emissionsmechanismus kann noch nicht eindeutig bestimmt werden, eine mögliche Erklärung kann eine Emission bei etwa 30 Schwarzschildradien sein. Die Äquivalentbreite ist etwa 400 eV und die Inklination der Scheibe beträgt etwa 60 Grad. Das beobachtete Linienprofil zeigt Emissionsmaxima bei 7.8 und 4.9 keV (Abb. 2-27).

Ein weiteres Themengebiet ist die Untersuchung der Röntgeneigenschaften von ultraleuchtkräftigen IRAS Galaxien im lokalen Universum ($z < 0.3$). Die

Emission ist dabei eine Kombination von Sternentstehungsprozessen und Akkretion auf ein schwarzes Loch. Die Galaxie Mrk 273 wurde mit XMM-Newton und Chandra beobachtet. Dabei wird eine thermische Komponente, die durch Sternentstehungsprozesse hervorgerufen wird, mit einer Leuchtkraft von etwa $(2\text{-}7)\times 10^{41}$ erg s⁻¹ gemessen. Diese Größe steht in Übereinstimmung mit Leuchtkräften der thermischen Komponente, die in NGC 6240 und anderen ultraleuchtkräftigen IRAS Galaxien mit dominanten Sternentstehungsanteilen gemessen wurden. Die Emission der Akkretions scheibe und der Akkretionsscheiben korona ist hoch absorbiert ($\text{NH} \sim 7\times 10^{23}$ cm⁻²). Das Spektrum kann durch ein Potenzgesetz und eine breite Fe K_a Linie ($\sigma = 260$ eV) beschrieben werden. Die Linie ist vermutlich eine Überlagerung einer schmalen neutralen Fe K_a Linie und ionisierter Fe K_a Emission bei 6.68 und 6.90 keV. Die ionisierte Fe K_a Linie kann durch ein kollisions- oder photoioni-

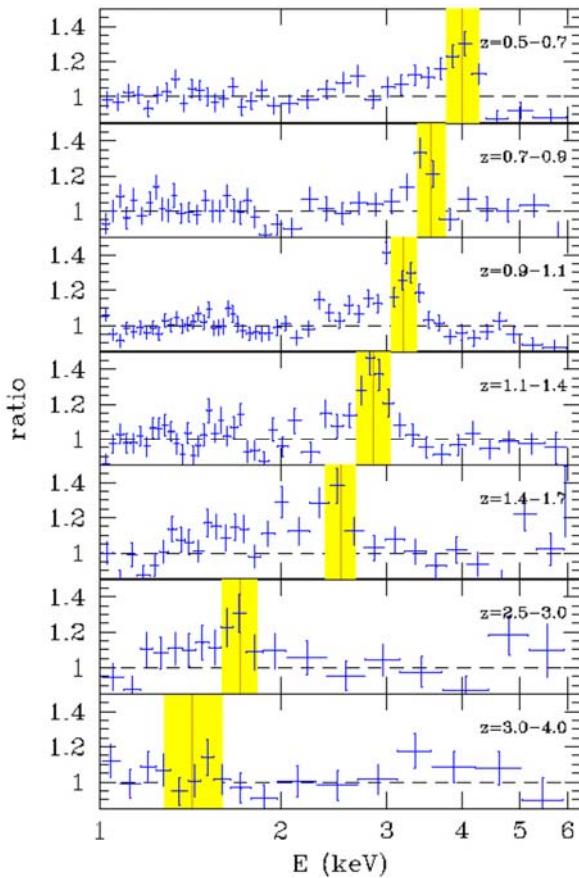


Abb. 2-25: Residuen eines einfachen Potenzgesetz-fits an Spektren in sieben verschiedenen Rotverschiebungsbereichen. Die vertikale Linie gibt die entsprechende Position einer rotverschobenen Fe K_a an, die schattierte Region umfasst die Intervallbreite $\Delta E = 6.4/(1+z_{\max})$ bis $6.4/(1+z_{\min})$ keV.

Fig. 2-25: Residuals of a simple power law fit to the source spectra in seven different redshift bins. The vertical line in each panel is at the expected position for the redshifted 6.4 keV Fe K_a line while the shaded region encompasses the bin width defined as $\Delta E = 6.4/(1+z_{\max})$ to $6.4/(1+z_{\min})$ keV.

sierteres Plasma erklärt werden.

As already pointed out a decade ago prominent spectral features, and especially the ~6.4 keV iron K_a emission line commonly found in Seyfert spectra, may lead in AGN synthesis models to a detectable signature in the spectrum of the cosmic X-ray background (XRB) around a few keV. Together with colleagues from Italy, we have carried out a careful search for iron line emission among faint X-ray sources identified in the 1Ms Chandra Deep Field South and in the 2Ms Chandra Deep Field North. We stack individual source spectra in seven redshift bins over the range $z=0.5\text{-}4$. We found that iron line emission is a ubiquitous property of X-ray sources up to $z\sim 3$ (Fig. 2-25). The measured equivalent widths are in agreement with those expected by simple pre-Chandra estimates based on X-ray background synthesis models in a scenario in which their intensity does not change significantly with redshift (and/or luminosity). Although there might be hints for the presence of gravitationally redshifted broad line components, we caution that their intensity and profile significantly depends on the modelling of the underlying continuum. The average rest frame equivalent width of the iron line does not show significant changes with redshift.

The results have been the subject of a Press Release by the Chandra X-ray centre (<http://chandra.harvard.edu/photo/2005/felines/>). A similar study has also been done using a 770 ks XMM-Newton survey of the Lockman Hole field in combination with extensive optical identifications of the AGN population. These findings strongly reinforce the science case of the XEUS/Constellation-X mission: With the very large collecting area we can expect to measure the relativistic Fe line parameters of individual objects out to very high redshifts ($z\sim 10$) and explore the evolution of black hole spin.

The MPE X-ray group is also deeply involved in the study of the Fe K_a line complex observed in single objects in the local universe. As an example, we have reported the discovery of a prominent broad and asymmetrical feature near 6.4 keV in the Seyfert 1 galaxy MCG-02-14-009 ($z=0.028$) with XMM-Newton/EPIC (Fig. 2-26). The study was based on a ~5 ksec observation that was the first one above 2 keV for this source. The feature can be explained by either a relativistic iron line around a Schwarzschild (non-rotating) or a Kerr (rotating) black hole. If the feature is a relativistic iron line around a Schwarzschild black hole, the line energy is 6.51 keV with an equivalent width of ~630 eV and the inclination angle of the accretion disc is less than 43 degrees. A relativistically blurred photoionized disc model gives a very good spectral fit over the broad band 0.2-12 keV energy range.

The spectrum is reflection dominated and this would indicate that the primary source in MCG-02-

14-009 is located very close to the black hole, where gravitational light bending effects are important (about 3-4 gravitational radii), and that the black hole may rotate rapidly. During a XMM-Newton observation of the narrow-line quasar NAB 0205+024 a strong and broad emission feature is as well detected with the bulk of its emission redward of 6.4 keV, and extending down to ~5 keV in the rest frame. The most likely explanation for the broad feature is neutral iron emission emitted from a narrow annulus of an accretion disc close to the black hole.

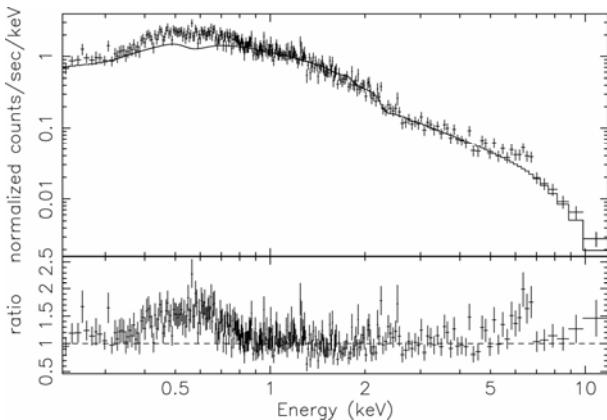


Abb. 2-26: Das PN-Spektrum von MCG-02-14-009. Ein Potenzgesetz wurde an die 2-5 keV Daten gefitett und zu höheren und niedrigeren Energien extrapoliert. Bei 6.4 keV sind signifikante positive Abweichungen erkennbar, die auf die Existenz einer Fe K_α Linie hinweisen.

Fig. 2-26: The PN spectrum of MCG-02-14-009. A power law has been fitted to the 2-5 keV data and extrapolated to lower and higher energies. A broad and significant positive deviation near 6.4 keV clearly shows the presence of a Fe K_α line.

The hard X-ray flare could be the mechanism that illuminates this region of the disc, allowing for the emission line to be detected. The combination of effects can be understood in terms of the “thundercloud” model of Merloni & Fabian.

Another interesting result from our group is the discovery of a possible line-like emission feature at 8 keV in the Seyfert 1.2 galaxy UGC3973. Simulations show that the feature is significant and might be variable (or transient). Though the exact nature of the 8 keV line is uncertain, a possible solution is that it is a short lived disc line, which arises from about 15 gravitational radii. The equivalent width is about 400 eV and the derived disc inclination is 60 degrees, which is consistent with the optical classification of UGC3973 as a Seyfert 1.2. The horns of the disc line profile are observed at about 7.8 keV and 4.9 keV (observed frame), which accurately corresponds to the energy of the 8 keV feature under investigation, as well as the slight excess at about 5 keV also observed (Fig. 2-27).

Beyond “classical” AGN, a very large number of galaxies in the local universe ($z < 0.3$) that exhibit extraordinarily high infrared luminosity have been detected by IRAS, called Ultraluminous Infrared Galaxies (ULIRGs). The bulk of luminosity in these sources is IR emission from warm dust. Only two dust-heating mechanisms are capable of producing such an extraordinary IR luminosity: one involves the presence of a strong starburst region, and the other a dust-enshrouded AGN. However it is not clear what the relative contribution of each component to the bolometric luminosity should be.

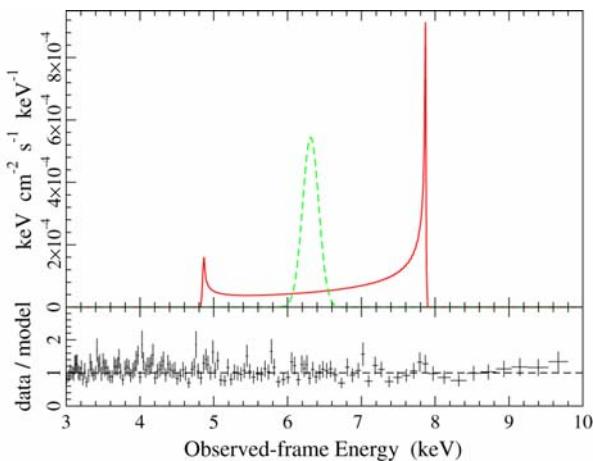


Abb. 2-27: Modell der Eisenlinien, die an das pn Spektrum der Galaxie UGC 3973 gefitett wurden: relativistisch verbreiterte K_α Linie (rot) und neutrale K_α Linie (grün). Die untere Figur zeigt die Residuen des Potenzgesetz-plus-Linien-Fits.

Fig. 2-27: Model of the iron lines fitted to the pn spectrum of the galaxy UGC 3973: a relativistically broadened K_α line (red) and a neutral K_α line (green). The bottom panel shows the residuals of the power law plus lines fit.

We have analyzed the X-ray spectral properties of the ULIRG Mrk 273 combining the high throughput of XMM-Newton with the high spatial resolution of Chandra. The thermal contribution to the soft X-ray luminosity is $\sim 2-7 \times 10^{41}$ erg/s, comparable to those found in NGC 6240 and other starburst dominated ULIRGs. We found that the hard X-ray spectrum can be modelled by a highly absorbed ($\sim 7 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$) power law plus a broad ($\sigma = 260 \text{ eV}$) Fe K_α emission line. The most likely explanation for such a broad line profile is the superposition of a narrow, unresolved, neutral iron line at 6.4 keV, probably associated with the AGN torus, and a blend of Fe XXV and Fe XXVI lines associated with a hot plasma, in which these transitions are either thermally excited or induced by photo ionisation.

[BALESTRA, BOLLER, BURSA, GALLO, PORQUET, STREBLYANSKA]

2.4 Großräumige Struktur und Kosmologie / Large-scale Structure and Cosmology

Gegenwärtig gibt es zwei sehr wichtige Fragestellungen der beobachtenden Kosmologie: Was sind die Eigenschaften der so genannten „Dunklen Materie“ und „Dunklen Energie“, die im kosmologischen Standardmodell benötigt werden? Wie sind die sichtbaren Strukturen wie Galaxien und Galaxienhaufen mit ihren heutigen Eigenschaften in diesem Modell entstanden? Während das Studium der unbekannten Formen kosmischer Materie und Energie ein langfristiges Thema unserer Forschung bildet, beschreiben die diesjährigen Highlights den Fortschritt in unserem Verständnis der Bildung von Galaxien und Galaxiensystemen.

Eine detaillierte Untersuchung von nahen elliptischen Galaxien zeigt neue Evidenz für die Existenz Dunkler Materie und verweist auf eine frühe Bildungszeit dieser Objekte. Durch Beobachtungen entfernter Galaxien in verschiedenen Wellenlängenbereichen, die nun mit dem Spitzer Observatorium auch das mittlere Infrarotband einschließen, erhalten wir ein immer präziseres Bild der Sternbildungsgeschichte in der Galaxienpopulation und der Bildung und Aktivität von zentralen schwarzen Löchern. Eines der wichtigen Probleme der Beobachtungen in mehreren Wellenlängenbereichen ist die Frage, wie viel der Sternbildungsraten direkt sichtbar ist und wie viel dem Beobachter durch Absorption verborgen bleibt, und nur indirekt durch reprofessierte Infrarotstrahlung nachgewiesen werden kann. Die gleichen Beobachtungen liefern Information über die Massen der Galaxien bei hohen Rotverschiebungen. Die Aktivitätsgeschichte der zentralen schwarzen Löcher in Galaxien wird vor allem mit tiefen Röntgenbeobachtungen untersucht. Das überraschende Ergebnis ist, dass die leuchtkräftigsten aktiven Galaxien sehr früh im Universum entstehen und sich die Masse der leuchtschwachen aktiven Galaxien hauptsächlich später entwickeln. Dieses Verhalten ist nur sehr schwer im Rahmen des kosmologischen Modells mit hierarchischem Strukturwachstum zu erklären.

Galaxienhaufen als die größten, klar definierten Bausteine des Universums sind ideale Studienobjekte zum Test kosmologischer Modelle und zur Einschränkung der Parameterwerte der Dunklen Materie und Dunklen Energie. Zur Verbesserung der Testmethoden wird dringend eine präzisere Charakterisierung der Galaxienhaufenstruktur benötigt. Mehrere der im Folgenden beschriebenen Projekte sind dieser Aufgabe gewidmet. Mit der Entdeckung des entferntesten, röntgenleuchtenden Galaxienhaufens erweitern wir auch den Horizont dieser Untersuchungen zu hohen Rotverschiebungen. Die eROSITA-Mission, deren Vorbereitung im technischen Teil des Jahresberichtes beschrieben wird, hat das Studium der Galaxien-

haufenpopulation mit dem Ziel das kosmologische Modell einzuschränken, zum Gegenstand.

There are currently two major quests of observational cosmology: What are the properties of the so-called “Dark Matter” and “Dark Energy” required in the present standard cosmological model ? How did the visible structures like galaxies and clusters of galaxies form within this model? While an understanding of the nature of the unknown forms of cosmic matter and energy is a long term underlaying scheme of our research, the research highlights in this year’s report describe the progress in our understanding when and how galaxies and galaxy systems formed.

A deep study of the structure of elliptical galaxies in the nearby universe provides new evidence for the existence of Dark Matter and points towards an early formation time of these objects. Through observations of distant galaxies in several wavelengths, now including the new mid-infrared satellite observatory Spitzer, we obtain an increasingly detailed picture of the star formation history of the galaxy population and the formation and activity of the central black holes in these galaxies. One of the major questions addressed by multi-wavelength observations is, how much of the star formation and black hole activity is directly visible and how much is hidden by dust absorption, detected only indirectly by reprocessed infrared radiation. The same projects also provide us with information on galaxy masses at high redshifts. The history of the central black hole activity over cosmic times is also studied systematically in a set of deep surveys in X-rays. One finds the very interesting result, that the most powerful active galaxies were formed quite early in the history of our universe while the bulk of the lower luminosity X-ray galaxies evolved later. This finding is still difficult to explain in standard hierarchical structure formation models.

Galaxy clusters as the largest, clearly defined cosmic building blocks are ideal probes to test cosmological models and to constrain parameters describing the properties of Dark Matter and Dark Energy as reported in recent years. To improve the precision of such tests we urgently need a better understanding of galaxy cluster structure. Several projects described below are devoted to this task. With our recent discovery of the most distant X-ray luminous galaxy cluster in XMM-Newton archive data, we also push these studies now to new horizons. The preparation of a future X-ray survey, eROSITA, described in the technical part of the report, has the study of the X-ray galaxy cluster population to obtained constraints on the cosmological model as the central goal.

2.4.1 Dunkle Materie und die dynamische Struktur elliptischer Galaxien im Coma Haufen / The dark matter content and orbital structure of early-type Coma Cluster Galaxies

Nach gegenwärtigem Verständnis haben sich die heute beobachteten Galaxien aus winzigen, zufälligen Massenfluktuationen im frühen, nahezu homogenen Universum entwickelt. Diese Erklärung beinhaltet ein Problem: Nach dem einzigen direkten Relikt aus den Urknallzeiten, der kosmischen Hintergrundstrahlung, müssen diese Dichtefluktuationen so klein gewesen sein, dass die Zeit nicht ausgereicht hätte, um sie zu dem wachsen zu lassen, was man heute beobachtet. Ein Ausweg aus diesem Dilemma bietet das Postulat einer unsichtbaren „dunklen Materie“, die das Heranwachsen von Strukturen unterstützt. In Konsequenz sollte eigentlich jede Galaxie von einem Halo aus dunkler Materie umgeben sein.

Seit fast 30 Jahren ist bekannt, dass sich Sterne und das Gas an den Rändern von Spiralgalaxien schneller bewegen, als nach der dort herrschenden Schwerkraft erwartet. Zum Vergleich: Die Erde bewegt sich im Sonnensystem mit 30 km/s, der riesige Jupiter, fünfmal weiter von der Sonne entfernt, bringt es nur auf 13 km/s. Rotationsgeschwindigkeiten in Spiralgalaxien zeigen keine derartige Verlangsamung nach Außen, sondern verharren konstant hoch. Dieses überraschende Verhalten lässt sich ohne das Vorhandensein dunkler Materie in Spiralgalaxien kaum verstehen. Messungen tausender „konstanter“ Rotationskurven sind ein überzeugender Beleg für die Existenz dunkler Halos um Scheiben- und um strukturell irreguläre Galaxien.

Wie sieht es aber mit den anderen wichtigen Galaxien aus, den elliptischen? Man glaubt, dass sie aus Galaxienzusammenstößen und -verschmelzungen hervorgehen. So energiereiche Ereignisse verwischen eine geordnete Rotationsbewegung, da Sterne auf alle erdenklichen Bahnen umverteilt werden, die das neue Objekt ausmachen. Deswegen steht man bei der Suche nach dunkler Materie vor zwei Problemen. (1) Kinematische Beobachtungen müssen selbst in den lichtschwachen Außenbezirken der Galaxien noch Strömungen von Sternen auf verschiedenen Bahntypen unterscheiden lassen. (2) Anspruchsvolle dynamische Modelle sind erforderlich, um diese Daten auf dunkle Materie hin zu untersuchen.

Es ist kaum überraschend, dass die Frage nach dunkler Materie in elliptischen Galaxien nicht endgültig geklärt ist – manche Autoren haben sogar behauptet, sie komme in diesem Galaxientyp gar nicht vor. Über die letzten zehn Jahre hat unsere Gruppe entscheidend zur Verbesserung sowohl der Beobachtungslage als auch der Modellierungs-

technik beigetragen. Hier wollen wir neue Ergebnisse eines Projekts vorstellen, das der Erforschung elliptischer Galaxien im Coma Galaxienhaufen gewidmet ist. Es ist der erste derartige Versuch, eine Anzahl typischer elliptischer Galaxien auf ihren Gehalt an dunkler Materie hin zu untersuchen, und führt unsere früheren Arbeiten über runde Objekte fort.

Als Ausgangspunkt analysieren wir Bilder des Hubble Space Teleskops (HST) und berechnen daraus, wie groß die Gravitationskräfte der sichtbaren Materie zu erwarten sind. Außerdem rekonstruieren wir die Strömungen von Sternen entlang der Äquatorialebene und der Polachse aus Galaxienspektren. Unsere während der letzten zehn Jahre gewonnenen Daten basieren auf dem neuesten Stand der Technik. Sie reichen bis zu drei Effektivradien (r_{eff}) vom Galaxienzentrum hinaus und stoßen dorthin vor, wo dunkle Materie bemerkbar wird. Entsprechend der Datenqualität ist der Aufwand bei der Modellierung: Eine seit 25 Jahren als „Schwarzschild Methode“ bekannte Technik (nach dem Namen ihres Erfinders) wurde von uns weiterentwickelt. Man verfolgt die Bewegung tausender Sterne und fasst sie zu einem Modell zusammen. Falls erforderlich wird dunkle Materie hinzugerechnet bis Modell, photometrische und kinematische Beobachtungen zusammenpassen (im Rahmen der Messfehler). Abb. 2-28 zeigt beispielhaft Ergebnisse für zwei Galaxien.

Dunkle Materie. Wie im Falle von Spiralgalaxien schaffen wir es nicht, unsere Daten ohne zusätzliche dunkle Materie zu reproduzieren, die auf keinen Aufnahmen zu sehen ist. Die hohen Geschwindigkeiten der äußeren Sterne können nicht auf Kräfte allein der sichtbaren Materie zurückgeführt werden (man beachte die blauen und roten Linien in der Mitte von Abb. 2-28). In den Zentren der Galaxien verhält sich dagegen alles so, wie man es von den HST Aufnahmen her erwartet. Unsere Modelle passen sogar gut mit dem Alter und der chemischen Zusammensetzung der Sterne zusammen, die man aus Galaxienspektren ableiten kann. Was wir an dunkler Materie aufdecken, macht 40 Prozent der Gesamtmasse innerhalb des Effektivradius aus. Anders gesagt: Fast die Hälfte der Masse elliptischer Galaxien bis dorthin ist unsichtbare dunkle Materie. Damit bestätigen sich unsere früheren Ergebnisse von runden, rotationsfreien Galaxien. Die dunkle Materie ist dabei so kompakt, dass die Halos wohl schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt entstanden sind, als alles noch dichter war als heute.

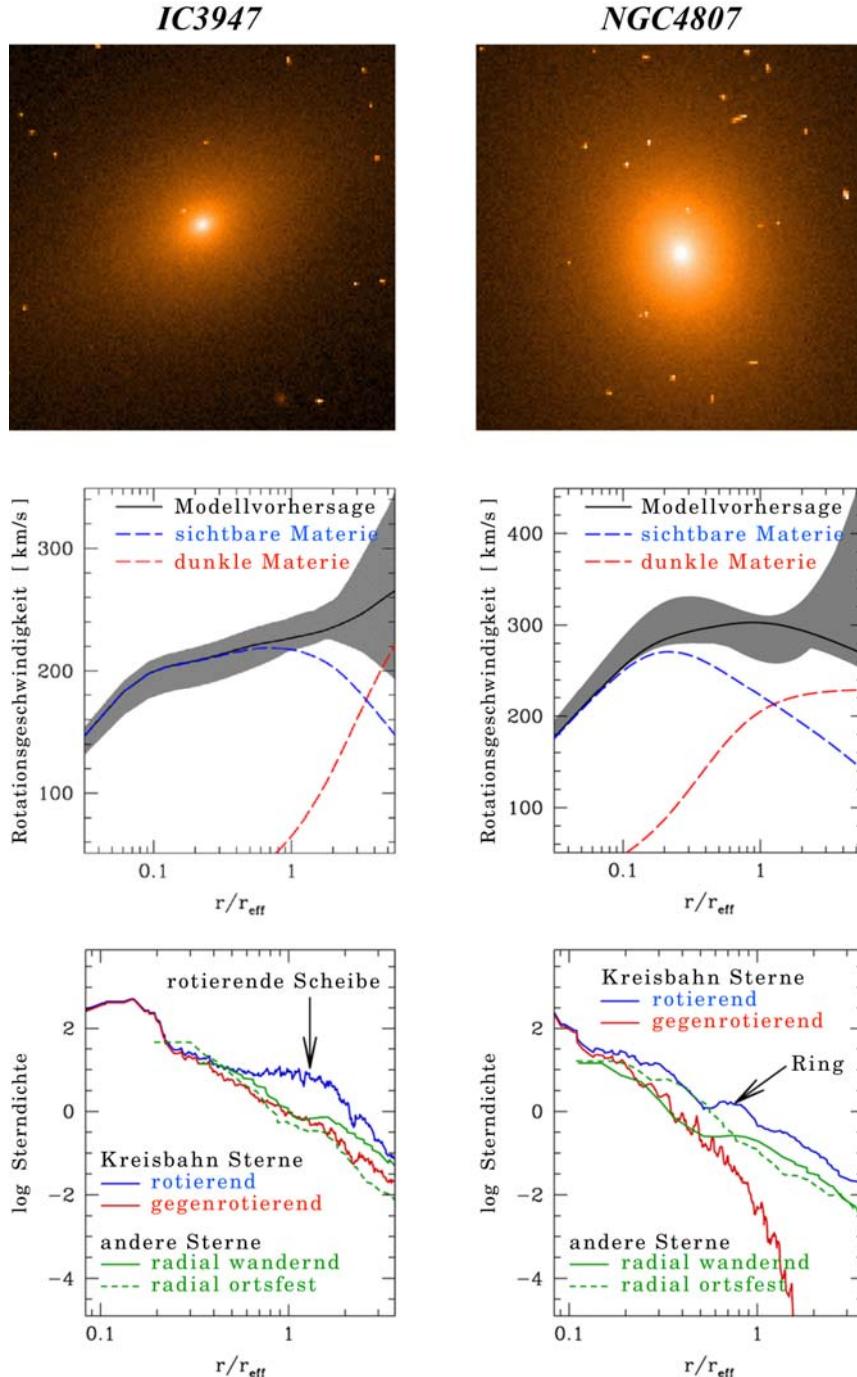


Abb. 2-28: HST Bilder (oben), Rotationsgeschwindigkeiten (Mitte; Fehlerbereiche schattiert) und Sternsdichten (unten) für die Galaxien IC3947 (links) und NGC4807 (rechts).

Fig. 2-28: HST images (top), rotation velocities (middle; shaded areas show error bars) and stellar densities (bottom) for the galaxies IC3947 (left) and NGC4807 (right).

Dynamischer Aufbau. Ein neu entwickeltes Analyseprogramm gestattet uns zum ersten Mal die Verteilung von Sternen auf verschiedene Bahnen zu bestimmen. So können wir nachvollziehen, wie sie in die Galaxie gelangt sind und gewinnen völlig neue Einblicke in das Zusammenwachsen der auf den ersten Blick recht unscheinbaren elliptischen Galaxien. Zum Beispiel sind die von uns untersuchten Galaxien nicht durch Rotation abgeflacht (wie unsere Milchstraße). Vielmehr spiegelt die Abflachung eine Anisotropie der Geschwindig-

keitsverteilung wider (Sterne, die sich schnell entgegen der Symmetrieebene bewegen, sind seltener als solche, die sich parallel zu ihr halten). Dazu zeigen sich interessante strukturelle Unterschiede zwischen Objekten, die man anhand der HST Bilder kaum unterscheiden könnte. Die Verteilung von Sternbahnen in IC3947 zum Beispiel enthüllt eine Scheibe (blaue Linie im Diagramm links unten), die einem strukturlosen Spheroid überlagert ist (was sich aus der Gleichförmigkeit der übrigen Kurven ergibt). Anders die Sternbahnen in

NGC4807. Aus der Vielgestaltigkeit der Kurven im rechten unteren Diagramm mit Stufen und Ausbuchtungen ergeben sich Hinweise auf kleinräumige Scheiben oder ringartige Strukturen und einen äußeren Massenzuwachs. Hier sehen wir vielleicht zum ersten Mal Spuren einzelner Verschmelzungsprozesse aus der Entwicklungsgeschichte einer Galaxie. Wir sind jetzt dabei, unsere detaillierten Untersuchungen über die Massenverteilung und den dynamischen Aufbau auf eine größere Zahl von Galaxien auszudehnen, um ihre Entstehung und die ihrer dunklen Halos noch weiter zu erforschen.

According our current understanding, the galaxies we observe today evolved from tiny random mass fluctuations in the early, nearly homogeneous universe. However, in this basic form the story runs into a dilemma: the relic background radiation of the big bang tells us that the early density fluctuations in the “ordinary” baryonic matter were so small, that the time elapsed since then is insufficient to let the large cosmic structures grow, that we observe today. A way out is to postulate the existence of an invisible type of “dark matter” (DM) that assists the growth of structures. As a direct consequence essentially every galaxy should be embedded in a halo of dark matter.

It has been known for about 30 years that stars and gas in the very outer parts of spiral galaxies move faster than expected from the gravitational forces generated by the luminous matter content alone. For comparison, in our solar system the Earth orbits around the sun with about 30 km/s, while the giant Jupiter, being five times farther away from the sun, ambles with only 13 km/s. Instead of showing a similar decline, however, the observed rotation velocities in the outer parts of spiral galaxies are comparable to those in their inner parts. This surprising observational discovery can only be understood by the presence of dark matter in the outer parts of these systems. Thousands of observed “flat” rotation curves give therefore overwhelming evidence that disk and irregular galaxies are indeed embedded in DM halos.

But what about the other major galaxy class, ellipticals? Elliptical galaxies are thought to form via galaxy collisions and mergers. Such violent events weaken or destroy any ordered rotation signal and throw stars on every kind of orbit in the newly emerging object. As a result, when probing for dark matter in these galaxies we are faced with two difficulties: (1) Kinematical observations of superior quality even in the faint outskirts of galaxies are necessary to disentangle the signals from stars moving on all kinds of orbits; (2) sophisticated dynamical models have to be invoked to search for manifestations of the presence of dark matter in these data.

Therefore it is not surprising that the case of dark matter in ellipticals is still not settled – up to the point that some authors declared the absence of dark matter in this type of galaxies. Over the last ten years our group played a decisive role in improving on both, the observational as well as the modelling aspects. Here we report on new results of our project to study the dynamics of early-type galaxies in the Coma Cluster. It is the first attempt to search for dark matter in a sample of generic ellipticals and extends our previous work on roundish objects.

We derive the basic gravitational forces generated by the luminous matter in the galaxies from a detailed analysis of Hubble Space Telescope (HST) images. Moreover, the motions of stars are extracted in the equatorial plane and along the axis of symmetry from galaxy spectra. The data, collected in the last 10 years, provide state-of-the-art stellar kinematics reaching up to three half-luminosity radii from the centers of the objects. Our observations thus enter those outer regions where dark matter becomes noticeable. The modelling effort is matched to the quality of the data. We advanced a technique known as “Schwarzschild method”, from the name of the astronomer who invented it 25 years ago: the motions of thousands of stars are tracked and combined to a galaxy model. Where necessary, the presence of dark matter is incorporated to match the model to the measured photometry and kinematics within the errors. Illustrative examples of results for two galaxies are shown in Fig. 2-28.

Dark matter. Similarly to the case of spiral galaxies, we cannot fit our data without imposing invisible dark mass in addition to what is observed. The outer stellar velocities required by the data are too large to be generated by the luminous material alone (see blue and red lines in the middle panels of Fig. 2-28). In the central regions of the galaxies, however, the matter detected with the HST is totally sufficient. Even more, our models agree with the ages and chemical properties of stellar populations predicted from the spectra of the galaxies. The dark matter halos we find carry 40 per cent of the mass within the half-light radius – in other words, almost half of the mass of ellipticals within this radius is invisible DM. This result confirms the findings of our previous study of spherical and non-rotating galaxies.

The dark matter we find in elliptical galaxies is so compact that it may have assembled early in the universe when everything was packed closer together than today.

Orbital structure. A newly developed feature of our modelling technique allows us for the first time to determine the relative importance of different stellar orbits. Thus, we can draw a concrete picture tracing how the stars entered the galaxies and gain

unprecedented clear insight into the build-up of apparently smooth and featureless looking ellipticals. So, for example, we find that the flattening of the studied galaxies is not generated by the mean rotation (as is the case for the flattened earth, for example). Instead, it originates from an anisotropy of the velocity distribution (stars with high velocities orthogonal to the plane of symmetry are less frequent than stars floating along this plane). Moreover, we recover interesting structural differences between objects that otherwise look similar in the HST images. The orbital distribution of IC3947, for example, has the clear signature of a disk (blue line in lower-left panel) superimposed on a feature-

less spheroidal background (implied by the regularity of the other curves). In contrast, the orbits in NGC4807 show a wealth of structure. The complexity of the curves in the lower-right panel with various steps and bumps points at small-scale disk or ring-like structures as well as mass assembly in the outer parts. Here, we may view the relics of individual merger events in the history of the galaxy. We are extending this detailed analysis of the mass composition and orbital structure to a larger sample of galaxies to probe further the formation history of ellipticals and their dark matter halos.

[BENDER, SAGLIA, THOMAS]

2.4.2 Ein neuer Blick auf hochrotverschobene Infrarot-Galaxien / A new view at high redshift infrared Galaxies

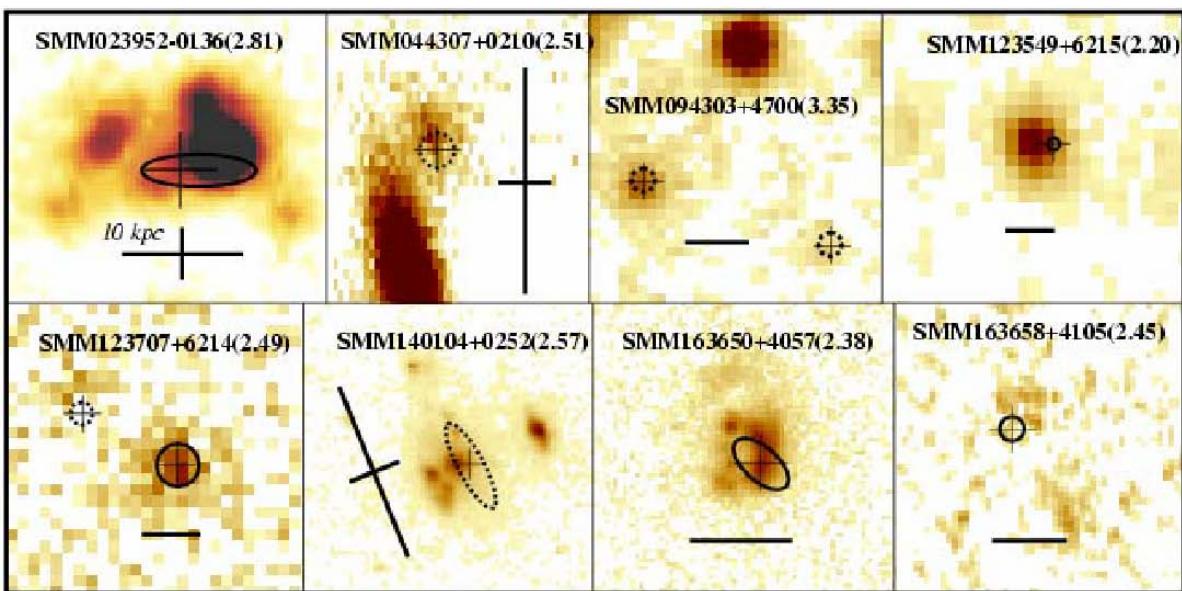


Abb. 2-29: Ausdehnung der mm Emission in 8 Submillimetergalaxien, die mit dem IRAM Plateau de Bure Interferometer beobachtet wurden. Die Ausdehnung wird durch durchgezogene Kreise und Ellipsen angezeigt. Fett gedruckte Balken und Kreuze entsprechen einer Skala von 10 kpc, ungleiche Armlängen entstehen durch Verzerrungen aufgrund von Gravitationslinsen.

Fig: 2-29: Extent of mm emission in eight submillimeter galaxies as observed with the IRAM Plateau de Bure interferometer. The size is indicated by continuous circles/ellipses for measurements and dotted circles/ellipses for limits. Thick bars/crosses indicate 10kpc scale in the source plane, the unequal arm length of the crosses is due to distortions by gravitational lensing.

Wie hängen Starbursts und QSO-2s zusammen?

Um einige der Schlüsselfragen der modernen Kosmologie zu beantworten, müssen wir vor allem die staubreichen, leuchtkräftigen Galaxien bei hohen Rotverschiebungen besser verstehen. Die Eigenschaften solcher „Infrarotgalaxien“ geben Aufschluss über den Ursprung und den Anteil von Sternentstehung und aktiven Galaxienkernen an der kosmischen Infrarot-Hintergrundstrahlung. Welche Rolle spielen Galaxien mit extremen Sternentstehungsraten, die den „Ultraleuchtkräftigen Infrarotgalaxien“ (ULIRGs) im nahen Universum

ähneln, und welche Rolle spielen Quasare vom Typ 2, die durch Staub verdeckt sind? Solche Phasen erhöhter Infrarothelligkeit sind auch ein wichtiges Element in der gekoppelten Entwicklung von Galaxien und ihren zentralen schwarzen Löchern, sowie in der Entstehung besonders massereicher Galaxien.

In den vergangenen Jahren haben wir das IRAM Plateau de Bure mm Interferometer für den ersten groß angelegten Survey von Kohlenmonoxidemission (CO Emission) in Submillimetergalaxien genutzt, um den Gasanteil, die dynamischen Eigenschaften und die Massen dieser Galaxien zu

bestimmen, die eine wichtige Galaxienpopulation bei hoher Rotverschiebung darstellen. Im vergangenen Winter haben wir außerdem eine Beobachtungskampagne abgeschlossen, bei der wir räumlich hochauflöste Daten von 8 Submillimetergalaxien genommen haben, wobei wir die Kontinuumsemission des Staubes und CO Linienemission vermessen haben. Die mm Emission ist außergewöhnlich kompakt mit einer mittleren Größe < 4 kpc (Abb. 2-29). Die geringe Ausdehnung ist im Widerspruch zu Szenarios, in denen die Ferninfrarot/Submillimeterstrahlung von weit ausgedehnten, kalten (30 K) Gasmassen herrührt.

Mit dem Spitzer Weltraumteleskop konnten wir die ersten Spektren von Submillimetergalaxien bei Ruhewellenlängen im mittleren Infrarot aufnehmen. Dieser Wellenlängenbereich wird dominiert von breiten Emissionsbändern von „PAKs“, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, die auf starke Starbursts hindeuten, während die Kontinua von aktiven Galaxienkernen herrühren. Wir haben neue Rotverschiebungen zwischen 2.4 und 2.8 für 3 Submillimetergalaxien bestimmt, und 6 optische Rotverschiebungen bestätigt. Die meisten Spektren sind von Starbursts dominiert, aber der Anteil an Strahlung vom AGN ist in einigen Fällen beträchtlich (Abb. 2-30). Zusammen mit den kompakten und massereichen CO-Quellen die wir mit IRAM gemessen haben und den spektralen Energieverteilungen vom mittleren Infrarot bis hin zu Submillimeterwellenlängen, deutet dies darauf hin, dass SMGs das Äquivalent zu ULIRGs im nahen Universum sind, allerdings größer und mit mehr Gasgehalt. Möglicherweise sind sie „maximal starbursts“, in denen 10^{11} Sonnenmassen an Gas in weniger als 100 Millionen Jahren zu Sternen werden.

Durch Spitzer Surveys bei $24\text{ }\mu\text{m}$ Wellenlänge wurde kürzlich eine neue Galaxienpopulation entdeckt, die im Optischen nur schwach leuchtet. Ihr Leuchtkraftverhältnis zwischen Infrarot und optischen Wellenlängen deutet darauf hin, dass sie extreme Versionen von Submillimetergalaxien bei Rotverschiebungen >2 darstellen. Wir haben diese Möglichkeit getestet, indem wir mit IRAM photometrische Daten von 40 obskurierten $24\text{ }\mu\text{m}$ Quellen genommen haben, wobei wir nach thermischer Strahlung von Staub gesucht haben. Typischerweise sind die $24\mu\text{m}$ Quellen im Millimeterbereich viel schwächer als SMGs, was auf wärmere spektrale Energieverteilungen hindeutet und vielleicht ein Zeichen dafür ist, dass Staubmassen in diesen Galaxien durch einen AGN aufgeheizt werden. Dies ist in Übereinstimmung mit Spektren im mittleren Infrarot, die mit Spitzer genommen wurden, und oft Kontinua mit Absorptionsstrukturen zeigen anstatt Emission von PAKs. Diese Quellen haben ähnliche Häufigkeiten wie optisch selektierte Quasare und könnten eine wichtige Population obskurierten Quasare darstellen.

Auch mit unseren Spitzer-Beobachtungen von obskurierten Quasaren, die im Röntgenbereich selektiert wurden, finden wir einen bemerkenswerten Unterschied zwischen den Eigenschaften von leuchtkräftigen Infrarotgalaxien im nahen Universum und obskurierten AGN. Letztere sind ein wichtiger Bestandteil in Modellen zur Galaxienentstehung, einschließlich der Entwicklung supermassiver schwarzer Löcher, und um die verschiedenen Formen von AGN in einem einzigen Modell zusammenzufassen. QSO-2s werden oft als Analoga zu leuchtkräftigen Infrarotgalaxien mit Starbursts und AGN gesehen, wie etwa NGC6240. Unsere Spitzer-Spektren unterscheiden sich allerdings deutlich vom Spektrum von NGC6240, denn wir finden keine PAKs, was darauf hindeutet, dass die Leuchtkraft des Starbursts unter 10^{11} Sonnenmassen liegen muss. Die Spektren im mittleren Infrarot ähneln denen von lokalen Seyfertgalaxien, in denen der AGN die Emission der Wirtsgalaxie übertrifft, und haben keine starke Absorption im mittleren Infrarot. Das deutet wiederum auf einen Unterschied zwischen QSO-2s und ULIRGs. Dies erleichtert es, die Zahl obskurieter AGN, die nötig sind den kosmischen Röntgenhintergrund zu erklären, mit der Anzahl an Infrarotgalaxien in Übereinstimmung zu bringen. Andererseits bedeutet dies, dass die Zahl von Galaxien mit QSO-2s, die den kosmischen Infrarothintergrund ausmachen, geringer sein könnte als bisher angenommen.

Abbildende Spektroskopie weit entfernter Galaxien im nahen Infrarot mit SINFONI: Das SINS-Projekt

Ein großer Teil unseres heutigen Wissens über Galaxien bei hoher Rotverschiebung basiert auf dem Vergleich photometrischer Messungen mit theoretischen oder beobachteten spektralen Energieverteilungen von Vergleichsobjekten. Nur selten existieren Spektren aus dem (auf Ruhewellenlänge bezogenen) UV-Bereich oder gar optischen Bereich. Mit diesen Methoden können wir die energetischen Verhältnisse von Sternen und AGN in diesen Galaxienpopulationen, ihren Beitrag zur kosmischen Sternentstehungsgeschichte, sowie die Haufeneigenschaften dieser Galaxien untersuchen. Im Gegensatz dazu sind nur wenige Details bekannt über die dynamischen und physikalischen Eigenschaften von Galaxien bei hoher Rotverschiebung. Um mehr hierüber zu erfahren, haben wir ein umfangreiches MPE-Projekt begonnen: Ein großes, kohärentes Beobachtungsprogramm weit entfernter Galaxien mit abbildender Spektroskopie im nahen Infrarot soll neue Erkenntnisse vermitteln über deren Dynamik, Größen, Strukturen und Massen sowie der Metallhäufigkeiten und deren Gradienten. Hierbei ist die Technik der abbildenden Spektroskopie („Integral Field“ Spektroskopie) entscheidend, um verlässliche Daten über Dynamik und Struktur zu erhalten, da Objekte bei hoher

Rotverschiebung oftmals sehr komplex sind und die morphologischen Merkmale je nach Wellenlängenbereich stark variieren können.

weils in Abhängigkeit von der Rotverschiebung – zu verstehen. Dazu wollen wir die Beobachtungen mit Vorhersagen neuerer theoretischer Modelle der

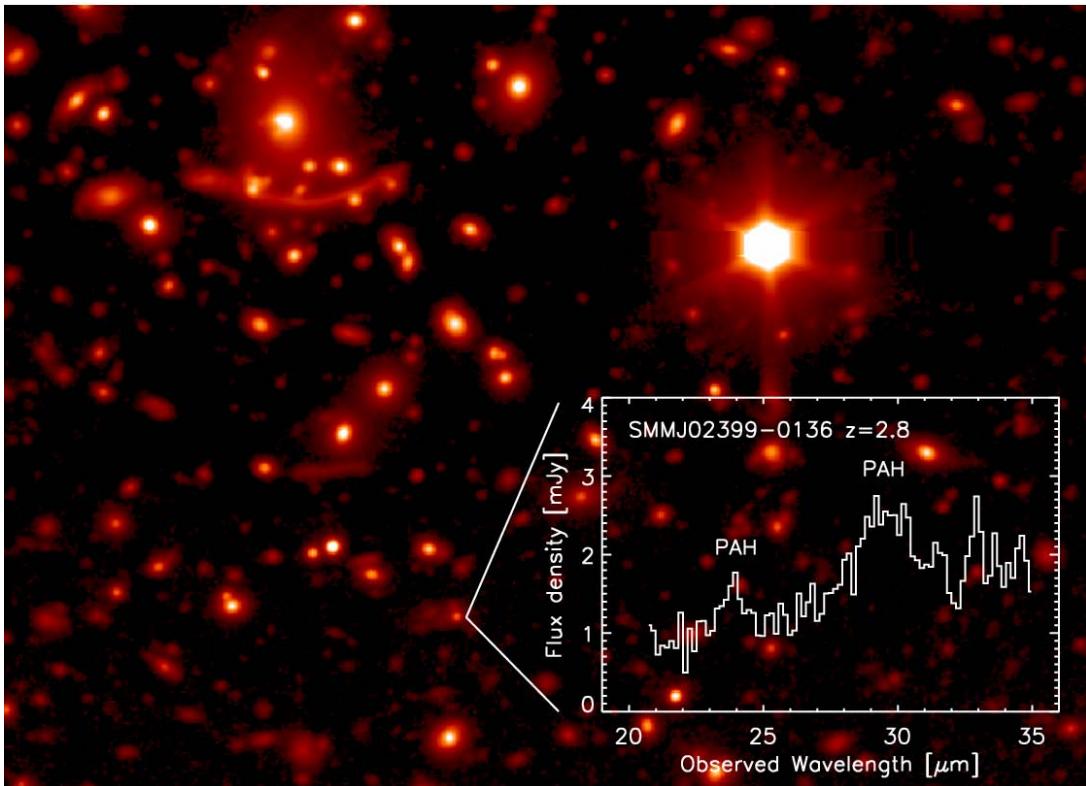


Abb. 2-30: Die Galaxie SMMJ02399-0136 ist ein unscheinbares optisches Objekt aber eine der hellsten, hochrotverschobenen bekannten Sub-Millimeter-Quellen. Durch ihre Lage hinter dem massiven Galaxienhaufen A370 wird ihre Helligkeit durch die Wirkung des Gravitationslinseneffekts verstärkt. Das mit dem „Spitzer Space Telescope“ gewonnene Mittelinfrarot-Spektrum zeigt die für massive Sternbildung charakteristischen „PAH“-Strukturen.

Fig. 2-30: Located behind the galaxy cluster Abell 370 and amplified by its gravitational lensing, the galaxy SMMJ02399-0136 is an optically inconspicuous object but one of the brightest high redshift submillimeter galaxies known. The Spitzer Space Telescope mid-infrared spectra of this galaxy shows the characteristic “PAH” traces of star-forming galaxies.

Dieses ehrgeizige Programm – das SINS-Projekt – ist ein wichtiger Teil unserer SINFONI-Projekte im Rahmen unserer garantierten Beobachtungszeit mit diesem Instrument am ESO VLT. Integral Field Spektroskopie im nahen Infrarot von Galaxien bei Rotverschiebung $z \sim 1-4$ eignet sich ideal für unsere Zwecke, da hierbei diagnostisch wichtige interstellare Emissions- und stellare Absorptionslinien aus dem optischen Ruhewellenlängenbereich in den beobachteten Nahinfrarot-Bereich verschoben werden. Zur Zeit studieren wir die räumlich aufgelösten dynamischen Verhältnisse, Linienverhältnisse und Linienflüsse über einen weiten Bereich weit entfernter Galaxien, die mit verschiedensten Techniken ausgewählt wurden (etwa aufgrund ihrer beobachteten Farben im optischen und nah-infraroten Bereich). Unser Ziel ist es, neben der Entwicklung der Sternentstehung auch Drehimpuls, Wachstum und Zusammenfügung von baryonischer Masse und Masse des dunklen Halos sowie die Anreicherung mit schweren Elementen – je-

Galaxienentstehung und -entwicklung vergleichen. Unsere spektroskopische Arbeit konzentriert sich auf den entscheidenden Rotverschiebungsbereich zwischen $z \sim 1.5$ und 3.5, in dem Galaxienverschmelzungen, QSO-Aktivität und Sternentstehung ihren Höhepunkt erreichten, und in dem sich wahrscheinlich ein großer Teil der massereichen Elliptischen Galaxien bzw. der zentralen Verdickungen von Spiralgalaxien (Bulges) zusammenfügten.

Für zwei Gruppen von Galaxien (und für einige Beispiele anderer Galaxienklassen) haben wir beträchtliche Fortschritte erzielt: für Galaxien mit $z \sim 2$, die aufgrund ihrer UV-Eigenschaften ausgewählt wurden (sogenannte BM/BX Galaxien), sowie für Galaxien mit $1.5 < z < 2.5$, die über ihre Helligkeit im K-Band selektiert wurden. Die Analyse der BX-Gruppe ist am weitesten fortgeschritten, und die Ergebnisse sind faszinierend. Für 14 BM/BX Galaxien haben wir mit SINFONI die $\text{H}\alpha$ -Emissionslinie mit einer räumlichen Auflösung von etwa 0.5" beobachtet (bei einer mittleren Rotver-

schiebung von $z \sim 2.2$ entspricht dies etwa 4.1 kpc). Für 11 der 14 Objekte ist die $\text{H}\alpha$ -Linie räumlich aufgelöst, und in mehreren Fällen haben wir Linienemission weit außerhalb der Zentren ($r > 20$ kpc) detektiert. In den meisten Fällen können wir auch die Geschwindigkeitsfelder räumlich auflösen (Abb. 2-31). Die Kinematik ist im Allgemeinen durch klumpige, rotierende Scheiben erklärbar (Abb. 2-32). In diesem Szenario erhalten wir dynamische Massen von 0.5 bis $25 \times 10^{10} M_\odot$. Im Durchschnitt sind diese dynamischen Massen konsistent mit photometrischen Schätzungen der Sternmassen unter Annahme einer Anfangsmassenverteilung (initial mass function - IMF) nach Chabrier oder Kroupa. Sie sind allerdings zu klein für eine $0.1 \text{--} 100 M_\odot$ Salpeter IMF. Die spezifischen Drehimpulse unserer BM/BX Galaxien ähneln denen lokaler Galaxien späten Typs. Wie bei diesen sind die Drehimpulse ihrer baryonischen Scheiben vergleichbar mit denen der Dunklen Materie der

digkeit des Halos entspricht, können wir die Masse der Dunklen Materie im Halo abschätzen. Mit der zusätzlichen Annahme einer isothermen Massenverteilung ergibt sich für den typischen Halo einer BM/BX Galaxie unserer Studie eine Virialmasse von $10^{11.7 \pm 0.4} M_\odot$. Dies stimmt gut überein mit früheren Abschätzungen der Masse der Dunklen Materie im Halo von BX Galaxien, die aus den Haufeneigenschaften und den Galaxiedichten der Population abgeleitet wurden. Die Messung von Kreisgeschwindigkeiten bei großen Radien kann somit eine wichtige Methode zur Messung der Masse Dunkler Materie in Halos darstellen. Das Verhältnis von Kreisgeschwindigkeit zu lokaler Geschwindigkeitsdispersion (~2-4) spricht für eine Dauer der Scheibenentstehung (oder des Aufbrauchs des Gases) von ~0.3-1 Milliarden Jahren. Unserer Meinung nach verlieren die klumpigen Scheiben von BM/BX Galaxien, falls diese ursprünglich gasreich waren, wahrscheinlich inner-

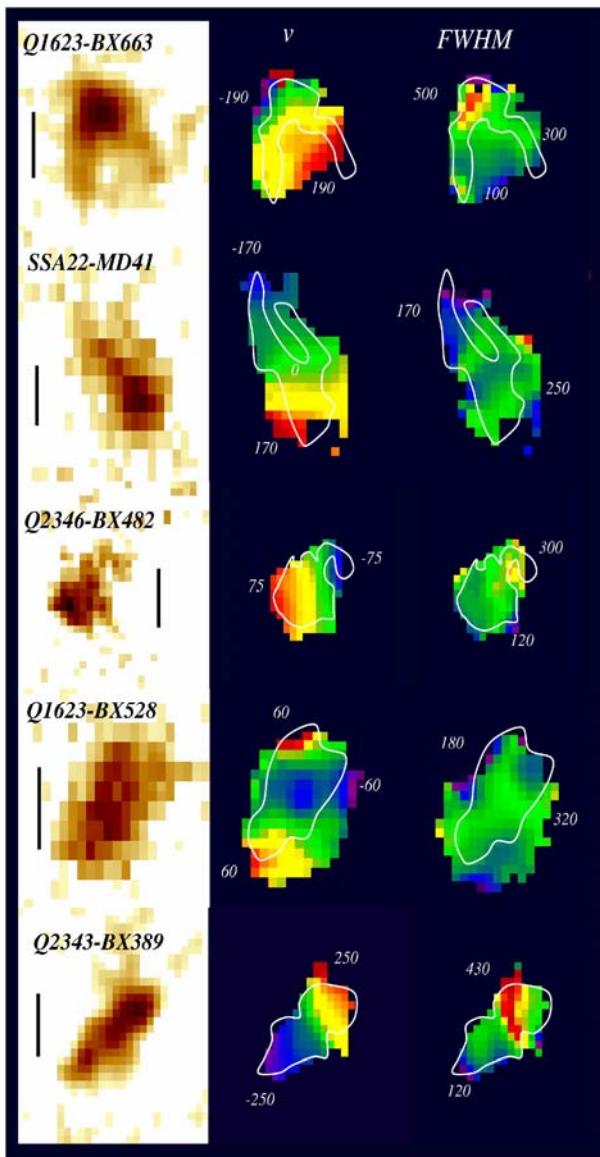


Abb. 2-31: Zweidimensionale Karten der $\text{H}\alpha$ -Kinematik in zwei unserer BX-Galaxien, die wir mit SINFONI beobachtet haben. Die linke Spalte zeigt die integrierten $\text{H}\alpha$ -Linienkarten. Der vertikale Strich entspricht jeweils 1", oder 8.3 kpc für die mittlere Rotverschiebung der Objekte. Die mittlere Spalte zeigt die räumliche Verteilung der $\text{H}\alpha$ -Geschwindigkeit (in der Spitze des Linienprofils) relative zur Systemgeschwindigkeit. In der rechten Spalte ist die räumliche Verteilung der Geschwindigkeitsbreite (FWHM) derselben Profile dargestellt. Die Farbtabelle ist linear, mit steigenden Werten von Magenta nach Rot; Minimal- und Maximalwert sind jeweils angegeben. Der Umriss der integrierten $\text{H}\alpha$ -Linienkarte ist jeweils über die Farbkarten gelegt. Norden ist oben, Osten ist links.

Fig. 2-31: Two-dimensional $\text{H}\alpha$ kinematic maps for five of our "BX" galaxies observed with SINFONI. Each row corresponds to the results for one source. The panels to the left show the integrated $\text{H}\alpha$ line map, with the angular scale of 1" indicated vertical bar, corresponding to 8.3 kpc at the redshifts of the sources. The middle panels show the spatial distribution of line peak velocity relative to the systemic velocity. The panels to the right show the spatial distribution of the FWHM velocity width obtained from the same fits. The velocity and FWHM maps are colour-coded with a linear stretch and such that values increase from magenta to red; minimum and maximum values for each galaxy are labelled on the maps. An outline of the integrated $\text{H}\alpha$ line map is overplotted on the velocity and FWHM maps. In all images, north is up and east is to the left.

Halos aus der sie sich gebildet haben. Wenn wir annehmen, dass die beobachtete durchschnittliche kreisförmige Geschwindigkeit der Virialgeschwin-

halb von etwa 1 Milliarde Jahren einen Teil ihres Drehimpulses und bilden dabei kompakte Bulges aus.

Wir haben auch für einige ausgewählte Galaxien anderen Typs mit hoher Rotverschiebung SINFO-NI-Beobachtungen durchgeführt. Ein bemerkenswertes Beispiel ist das „arc and core“ Objekt, eine Lyman-break Galaxie mit aktiver Sternentstehung bei $z=3.2$ (Abb. 2-33). Diese Galaxie wird durch Gravitationslinseneffekt, hervorgerufen durch den Vordergrund-Galaxienhaufen 1E0657, etwa 20-fach vergrößert. Dies ermöglicht eine ausgezeichnete räumliche Auflösung von etwa 200 pc. Besonders hervorzuheben ist, dass die Geschwindigkeitskurve derjenigen naher Spiralgalaxien ähnelt, sogar auf kleinen Skalen. D.h., dass zumindest in einigen Galaxien mit hoher Rotverschiebung die Kinematik des Gases durch Rotation in einer ein-

observational cosmology. Properties of such infrared galaxies describe the origin of the cosmic infrared background radiation and the contribution of star formation and active galactic nuclei to it. What are the roles of star forming objects similar to most of the local ultraluminous infrared galaxies (ULIRGs), and of obscured “QSO-2” active galactic nuclei? Infrared luminous phases also are an important element in the co-evolution of galaxies and their central black holes, and in the formation of massive galaxies.

Over the last years, we have used the IRAM Plateau de Bure mm Interferometer to obtain the first large survey of carbon monoxide (CO) emission in submillimeter galaxies (SMGs) in order to deter-

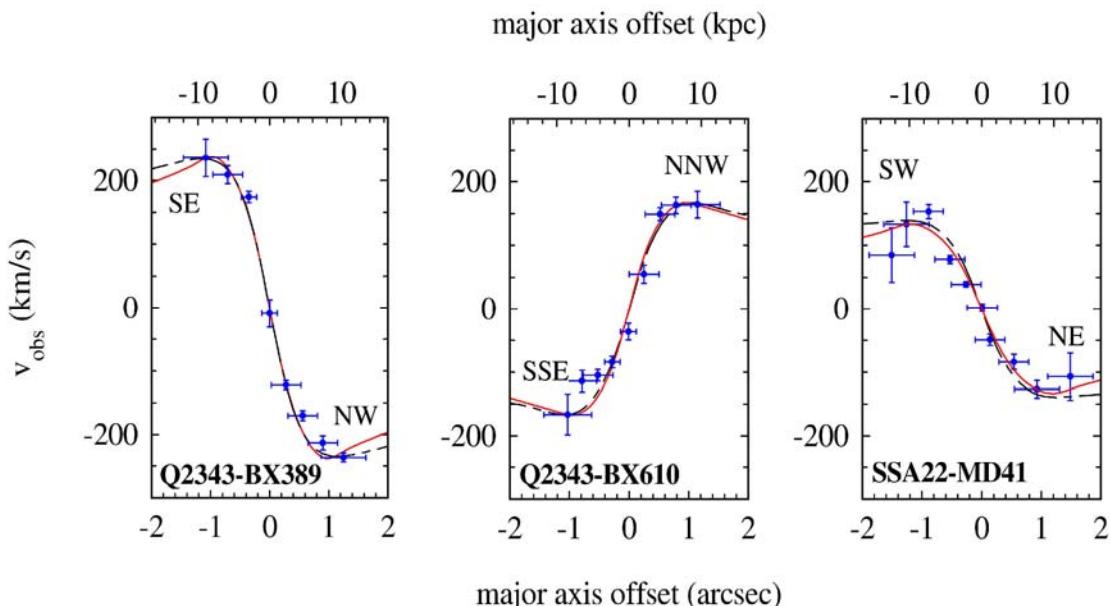


Abb. 2-32: Rotationskurven von 3 BX-Galaxien, SSA22a-MD41, Q2343-BX610, und Q2343-BX389 abgeleitet aus der H α -Linienemission. Die Datenpunkte zeigen jeweils die Rotationsgeschwindigkeiten (relativ zur Systemgeschwindigkeit) als Funktion der Position entlang der kinematischen Hauptachse jeder der Galaxien. Rotationskurven, die die Beobachtung am besten wiedergeben – unter der Annahme, dass diese Galaxien rotierende exponentielle Scheiben sind – sind als durchgehende rote bzw. gestrichelte schwarze Linien dargestellt.

Fig. 2-32: Rotation curves of 3 “BX” galaxies SSA22a-MD41, Q2343-BX610, and Q2343-BX389 derived from the H α line emission. In each panel, the data points show the rotation velocities (relative to the systemic velocity) as a function of position along the kinematic major axis of each galaxy. The rotation curves that best fits the observed H α kinematics of each galaxy under the assumption that these galaxies are rotating exponential disks as shown as the solid red and dashed black lines.

fachen Scheibenkonfiguration bestimmt ist. Die Daten zeigen auch, dass die Flächendichte der Masse innerhalb einiger kpc derjenigen von lokalen Galaxien-Bulges entspricht. Diese Ähnlichkeit legt nahe, dass ein großer Teil der Masse bereits innerhalb weniger Milliarden Jahre nach dem Urknall auf kleinen physikalischen Skalen vorhanden ist. Dies spricht zu Gunsten von „inside-out“ Modellen der Galaxienentstehung.

How do Starbursts and QSO-2s relate?

Understanding luminous dusty high redshift infrared galaxies is central to several key questions in

mine gas content, dynamical properties, and masses for the members of this important class of high redshift galaxies. During last winter, we have completed additional higher spatial resolution ($0.6''$) interferometric dust continuum and CO observations of in total eight such submillimeter galaxies. The mm emission is remarkably compact, with a median size of ≤ 4 kpc as shown in Fig. 2-29. The small sizes argue against a scenario where the far-infrared/submm emission originates in a cold ($\sim 30K$) and extended dust distribution.

With the advent of the Spitzer Space Telescope, we have now obtained the first rest-frame mid-

infrared spectroscopy of submillimeter galaxies. In this wavelength range, broad emission features due to “PAH” polycyclic aromatic hydrocarbons signal the presence of strong bursts of star formation while continuum dominated spectra indicate active galactic nuclei. We have measured new redshifts between 2.4 and 2.8 for three SMGs, above the median of previous optical SMG redshifts, and confirm six optical redshifts. Most spectra are star formation dominated, but noticeable contributions from active nuclei are suggested in some objects. An example of such a source is shown in Fig. 2-30. These mid-IR classifications, the spectral energy distributions from the mid-infrared spectra to the submm photometry and the compact sizes and large CO masses from the IRAM observations all suggest that SMGs resemble scaled-up gas-rich versions of local ultraluminous infrared galaxies (ULIRGs). They may be “maximal starbursts” converting 10^{11} solar masses of gas into stars in less than 100 million years.

From recent Spitzer 24 μm surveys of large fields on the sky, a new population of 24 μm bright but optically faint “obscured” sources has become available for detailed characterization. Solely based on the mid-infrared to optical flux ratios, they could be extremely luminous versions of submillimeter galaxies at redshifts above 2. We have tested this possibility by obtaining IRAM 1.2mm photometry for 40 obscured 24 μm sources, searching for the long wavelength end of the dust thermal emission which should be easily detectable for spectral energy distributions similar to SMGs. On average, we find the mm emission of obscured 24 μm sources much fainter than the one of SMGs, indicating warmer spectral energy distributions that may well be powered by AGN. This conclusion agrees with Spitzer mid-infrared spectra of such objects often showing absorbed continua rather than PAH emission. Their space density may rival that of optically selected quasars, thus representing a significant new population of obscured AGN.

A considerable difference in properties between local infrared luminous galaxies and galaxies hosting obscured AGN is also the result of the first Spitzer mid-infrared spectroscopic study of X-ray selected QSO-2s that we have obtained for a sample of seven QSO-2s with redshifts between 0.2 and 3.7. QSO-2s are intrinsically very luminous, but highly obscured AGN. They constitute an important component in AGN unification theories and of models of galaxy evolution including growth of obscured super massive black holes. On the basis of the limited information previously available, QSO-2s have often been considered to be analogous to local infrared luminous galaxies containing both starbursts and AGN, like the well known interacting system NGC 6240. Our Spitzer spectra of QSO-2s differ strongly from the spectrum of NGC 6240 by

showing pure continua without PAHs, putting strong limits of the order 10^{11} solar luminosities on the starburst luminosity in these objects. The mid-infrared spectra resemble those of local Seyfert galaxies with a high ratio of AGN to host, and lacking heavy mid-infrared absorption. Again, a large spread of properties from far-infrared dominated starbursting ULIRGs to QSO-2s is suggested. This wide spread considerably relaxes the pressure to accommodate the obscured AGN that are implied by models of the cosmic X-ray background into infrared-luminous galaxies hosting intense star formation. Conversely, the contribution of galaxies hosting QSO-2s to the peak of the cosmic infrared background may be less than previously assumed.

Spectroscopic Imaging Survey in the near-infrared with SINFONI of high redshift Galaxies: the SINS Project

Much of our current knowledge about high redshift populations of galaxies is based on photometric measurements in comparison to synthetic or template spectral energy distributions, and only rarely based on integrated spectra in the rest-frame UV and in even fewer cases on rest-frame optical spectroscopy. With these methods we can investigate the energetics of stars and AGN in these populations, their contribution to the cosmic star formation history, and their clustering properties. In contrast, very little is known about the dynamical and detailed physical properties of high redshift galaxies. To overcome this last deficiency, we have been undertaking a substantial effort within MPE to conduct a large and coherent observational program of near-infrared integral field spectroscopy of high redshift galaxies, providing new insight on their dynamics, sizes and morphologies, masses, metal abundances and gradients thereof. “Integral field” or “imaging” spectroscopy is essential for reliable structural and dynamical studies of high redshift objects that are often complex and whose morphologies can dramatically vary depending on the wavelength of study.

This ambitious program constitutes a major theme of our SINFONI GTO program at the ESO VLT – the SINS survey. Near-infrared integral field spectroscopy of galaxies at redshift $z \sim 1-4$ is ideally matched for observing important optical diagnostic interstellar emission lines and stellar absorption lines. We are currently studying the spatially-resolved dynamics, and line ratios and fluxes across a range of high redshift galaxies selected with a variety of techniques (for example, based on observed optical and near-IR colors). We aim at elucidating the evolution of star formation, angular momentum, baryonic and dark halo mass growth/assembly and metal enrichment as a function of redshift. Our overall goal is to compare the observations with predictions from several recent theoretical models of galaxy formation and evolution.

Our spectroscopic work focuses on the crucial redshift range between $z \sim 1.5$ and 3.5 where the peak of major mergers, QSO and dust enshrouded star-formation activity occurred, and where probably a substantial fraction of massive ellipticals and bulges were assembled.

We have made substantial progress on two main samples, UV selected galaxies with $z \sim 2$ (so called "BM/BX" galaxies) and $1.5 < z < 2.5$ galaxies selected by their K-band magnitude, and a few select examples of sources from other classes of high redshift galaxies. The analysis of the "BX" sample is most advanced and what we have found is fascinating.

(Fig. 2-32). Analyzing our sample in the framework of rotating disks, we infer dynamical masses from 0.5 to $25 \times 10^{10} M_{\odot}$. On average, the dynamical masses are consistent with estimates of photometric stellar masses assuming a Chabrier or Kroupa initial mass function (IMF) but too small for a 0.1–100 M_{\odot} Salpeter IMF. The specific angular momenta of our BM/BX galaxies are similar to those of local late-type galaxies. As for local galaxies, we infer that the specific angular momenta of their baryonic disks are comparable to those of the dark matter halos from which they formed. If we hypothesize that the observed average circular velocity is similar to the virial velocity of the halo, we can estimate the dark matter halo mass of our sample

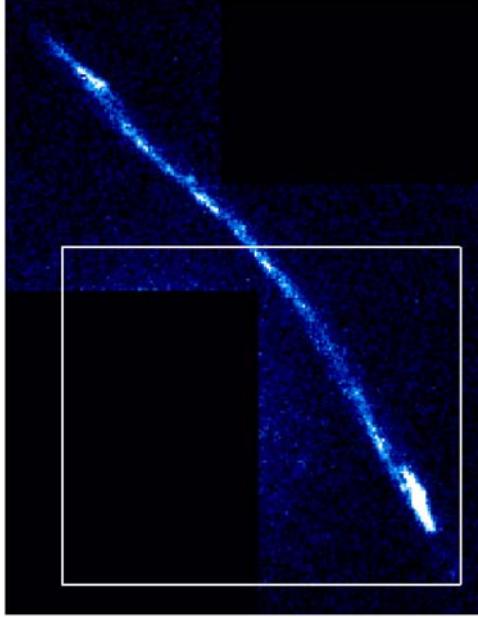


Abb. 2-33: (links) Eine ACS-Aufnahme des "arc+core" Objekts, aufgenommen durch das F814W- Filter. Das Rechteck zeigt das Bildfeld von SINFONI (~8''x8''). Die Region hoher Oberflächenhelligkeit im unteren rechten Eck ist der „Kern“ („core“), der „Bogen“ („arc“) schließt daran an und biegt nach Nord-Osten bzw. oben links ab. (rechts) Rotationskurve des Gravitationsbogens (schwarze Punkte), die mit Hilfe der [OIII] $\lambda 5007$ -Linie gemessen wurde, unter der Annahme verschiedener Vergrößerungsfaktoren (20, 50 und 100 für rot, blau und grün). Die grauen Symbole zeigen die Rotationskurve der nahen Galaxie NGC4419.

Fig. 2-33: (left) An ACS image taken through the F814W filter of the "arc+core". The box indicates the SINFONI field of view (~8''x8''). The high surface brightness region at the bottom right in the image is the core while the arc curves to the north-east or upper left. (right) The velocity curve (black dots) of the arc and core derived from the [OIII] $\lambda 5007$ emission line with the colored triangles indicating the velocity curve of the arc under the assumption of various magnifications (20, 50, and 100 for red, blue, and green respectively). The grey symbols show the rotation curve of nearby galaxy, NGC4419.

We have obtained $\sim 0.5''$ resolution SINFONI observations of fourteen BM/BX galaxies, targeting the H α emission line (at the mean $z \sim 2.2$ of the sources, 1'' corresponds to 8.2 kpc). Eleven of the fourteen BM/BX objects in our sample are spatially well resolved in H α and in several cases, line emission is detected out to very large radii (> 20 kpc). In a majority of the galaxies, we detect spatially-resolved velocity (Fig. 2-31). The observed kinematics are generally consistent with expectations for rotating disks with clumpy morphologies

of galaxies. Under the hypothesis that the rotation velocities are a good surrogate for the virial velocity of the halo and assuming an isothermal mass distribution, then the virial mass of the typical halo of a BM/BX galaxy in our sample is $10^{11.7 \pm 0.4} M_{\odot}$. This is good agreement with previous estimates of the dark matter halo masses of BX galaxies from the clustering and number density of the population. This suggests that perhaps measuring circular velocities at large radii might be an important way of probing the masses of dark matter halos. The

ratio of circular velocity to local velocity dispersion (~2-4) suggests a disk assembly (alternatively, gas exhaustion) timescale of ~0.3-1 Gyr. We argue that if our BM/BX galaxies were initially gas rich, their clumpy disks likely will subsequently lose some of their angular momentum and form compact bulges on a timescale of ~1 Gyr.

We have also carried out SINFONI observations of a few select high redshift galaxies of other classes. One remarkable example is the “arc and core”, a star-forming Lyman-break galaxy at $z=3.2$ (Fig. 2-33). This galaxy is highly magnified (by a factor of ~20) by the foreground cluster 1E0657. The high magnification results in exquisite spatial resolution in the source plane: the ~0.5” resolution of the data corresponds to about 200 pc. Most impor-

tantly, these observations reveal that the velocity curve, even on small physical scales, is similar to that observed in nearby spiral galaxies. Thus, at least in some high redshift galaxies, the gas kinematics are definitely driven by rotation. The data also show that the mass surface density within a few kpc is similar to that of local galaxy bulges. The similarity between the typical local and a $z\sim 3$ Lyman break galaxy mass surface density, suggests a significant amount of mass already in place on small physical scales within the first few Gyrs after the Big Bang, favoring “inside-out” galaxy formation scenarios.

[ABUTER, BENDER, BOUCHÉ, DAVIES, EISENHAUER, FÖRSTER GENZEL, GILBERT, GILLESEN, LEHNERT, LUTZ, NESVADBA, SAGLIA, SCHREIBER, SEITZ, TACCONI, VERMA]

2.4.3 Eine neue Sicht auf Eigenschaften und Entwicklung aktiver Galaxien aus den tiefsten Chandra und XMM-Newton Durchmusterungen / A new view on the nature and evolution of AGN from the deepest Chandra and XMM-Newton surveys

Tiefe Röntgendifurchmusterungen zeigen, dass der kosmische Röntgenhintergrund (XRB) hauptsächlich aus der über lange kosmische Zeiträume integrierten Strahlung akkretierender, supermassiver schwarzer Löcher besteht. XMM-Newton und Chandra Durchmusterungen haben sowohl im weichen wie im harten Energieband einen großen Teil des Röntgenhintergrunds in Einzelquellen aufgelöst. Mit der Identifikation der wesentlichen Komponenten des Röntgenhintergrunds hat sich das Interesse hauptsächlich auf das physikalische Verständnis dieser Objekte, auf ihre kosmologische Evolution und auf ihre Rolle in Modellen der Galaxienentwicklung verlagert. In diesem Zusammenhang führen wir mehrere große Röntgendifurchmusterungen durch.

Die großräumige XMM-Newton Durchmusterung im COSMOS-Feld (XMM-COSMOS) überdeckt mehr als zwei Quadratgrad. COSMOS ist eine weltweite multi-Wellenlängen-Kollaboration im Umfeld des „HST Treasury Program“, das tiefe Bilder der „Advanced Camera for Surveys“ (ACS) in der durch $9^{\text{h}}57.5^{\text{m}} < \text{R.A.} < 10^{\text{h}}03.5^{\text{m}}$, $1^{\text{d}}27.5^{\text{m}} < \text{DEC} < 2^{\text{d}}57.5^{\text{m}}$ begrenzten Himmelsregion bereitstellt. Wir haben dieses Gebiet in überlappenden XMM-Newton Pointierungen mit einem Gitterabstand von 15 Bogenminuten beobachtet. Die „good time intervals“ des PN-CCD Detektors summieren sich auf etwa 724 ks. Die Gesamtzahl der im 0.5-2, 2-10, und 5-10 keV Band entdeckten Quellen beträgt 1280, 724, und 186, mit Grenzflüssen von jeweils 0.5, 1.9 und 4×10^{-15} erg cm $^{-2}$ s $^{-1}$. Auf Grund detaillierter Simulationen erwarten wir maximal 25 unechte Quellen, also weniger als 2%. Die log N-log S Beziehung ist in vollkommener Übereinstimmung

mit den bisherigen Ergebnissen von ROSAT, ASCA, BeppoSAX, Chandra, und XMM-Newton. Im mittleren Flussbereich erreichen sie allerdings auf Grund der großen Anzahl von Quellen eine unübertroffene statistische Genauigkeit. Unter Benutzung eines CFHT I-Band und CTIO/NOAO K-Band Katalogs konnten wir zuverlässig ~90% der Röntgenquellen optisch identifizieren. Nur ein ziemlich kleiner Bruchteil der Röntgenquellen kann nicht eindeutig identifiziert werden, weil die Fehlerkreise bis zur optischen/NIR Flussgrenze entweder leer sind (6%), oder mehrere gleich wahrscheinliche Kandidaten enthalten (4%). Für ~80% der Kandidaten findet man eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der spektroskopischen Klassifikation, den morphologischen Parametern und den Farben im optischen Bereich bis ins nahe Infrarot: Bei etwa 20% der Quellen findet man eine offensichtliche Diskrepanz zwischen der morphologischen und der spektroskopischen Klassifikation. Unsere Analyse zeigt, dass die beobachteten Unterschiede hauptsächlich durch den Ort der Objekte in der Rotverschiebungs-Leuchtkraft Ebene erklärt werden können. Spektroskopische Identifikationen der Röntgenquellen am Magellan-Teleskop und am VLT haben bereits begonnen. Einschließlich der ungefähr 40 in der Literatur vorhandenen spektroskopischen Identifikationen, die im wesentlichen von den 2dF und SDSS Durchmusterungen stammen, konnten bereits ~250 Röntgenquellen spektroskopisch identifiziert werden. Zur Erhöhung der Vollständigkeit bestimmen wir photometrische Rotverschiebungen für die noch nicht identifizierten Objekte.

Der große COSMOS-Raumwinkel erlaubt auch das Studium ungewöhnlicher Objekte. So haben wir aus den helleren, spektroskopisch identifizierten Quellen drei als Typ-2 QSOs klassifizierte Objekte mit den Rotverschiebungen 2,418, 0,688 und 0,941 ausgewählt. Bei den beiden Objekten mit

sowie mit einem gemittelten Seyfert-2 Spektrum verglichen. Während die SED von NGC 6240 die beobachteten photometrischen Daten nicht befriedigend beschreibt, ergibt sich eine hervorragende Übereinstimmung mit der zusammengesetzten Seyfert-2 SED.

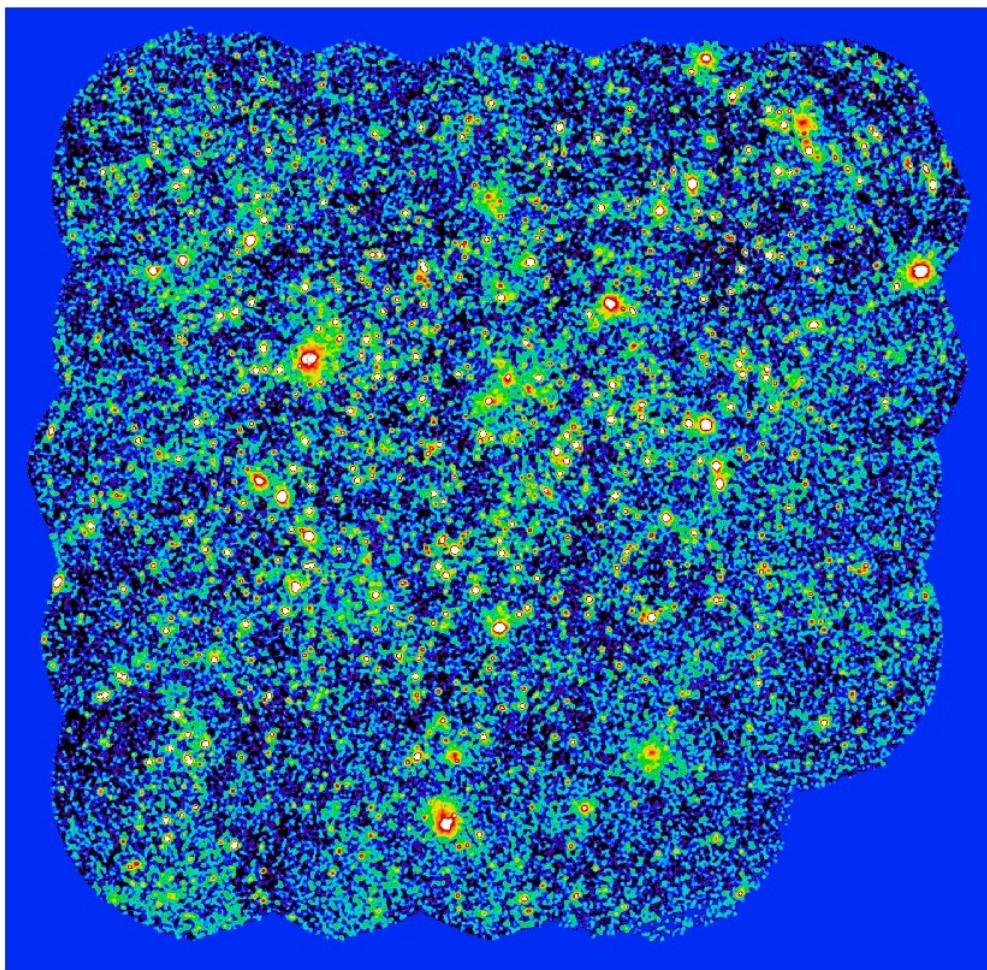


Abb. 2-34: Signal-zu-Rauschen-Verhältnis-Karte im 0.5-2 keV Band des XMM-Newton Mosaiks des COSMOS-Feldes. Für jede der 23 einzelnen Aufnahmen wurden gute Zeitintervalle in Bildern von 4 Bogensekunden Pixelgröße aufaddiert. Von diesen Bildern wird individuell der Hintergrund subtrahiert bevor sie zum Mosaik kombiniert werden. Die Netto-Quell-Zählrate wird durch den zugehörigen statistischen Fehler dividiert.

Fig. 2-34: 0.5-2 keV signal-to-noise ratio map of the XMM-Newton raster scans in the COSMOS field. For each of the 23 individual pointings with good time intervals, raw images with 4 arcsec pixels have been accumulated. These images were individually background-corrected and combined to a mosaic. The net counts in each pixel have been divided by the corresponding statistical error.

niederer Rotverschiebung ist die umgebende Galaxie auf den ACS-Bildern klar zu erkennen. Eines der Objekte wurde bei einer Wellenlänge von 20 cm deutlich mit dem Very Large Array (VLA) detektiert. Wir können dieses Objekt somit als radioläuten Typ-2 QSO klassifizieren. Die anderen beiden Objekte wurden nicht im Radiobereich detektiert; wir können nur eine obere Grenze für ihren Radiofluss angeben. Unter Benutzung der gesamten verfügbaren photometrischen Daten der COSMOS-Durchmusterung haben wir die spektrale Energieverteilung (SED) für alle Typ-2 QSOs bestimmt und sie mit dem Spektrum von NGC 6240,

Zusätzlich zu den Untersuchungen an Aktiven Galaxien erlaubt die XMM-COSMOS Durchmusterung, auf Grund ihrer in einem so großen Gebiet unübertroffenen Empfindlichkeit ($\sim 2 \cdot 10^{-15}$ ergs $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$) für ausgedehnte Quellen die Entdeckung von Galaxiengruppen bis zu einer Rotverschiebung von 0,5, sowie von Galaxienhaufen vom Typ des Virgothaufens bis zu einer Rotverschiebung von $z=1,5$. Die Anwendung einer Wavelet-Analyse auf das XMM-Newton Mosaic-Bild im 0,5-2,0 keV Band liefert 130 Galaxienhaufen-Kandidaten. Die bisher vom COSMOS-Feld gewonnenen Breitbandbilder erlauben eine zuverlässige Bestimmung der

photometrischen Rotverschiebung von Galaxien bis $I_{AB}=25$. Die gegenwärtig verfügbaren Beobachtungen im nahen Infrarot (z und K Band) erlauben die photometrische Abschätzung einer Rotverschiebung bis zu $z=1,4$. In einer Suche nach Galaxienhaufen wurden 360 Galaxien-Konzentrationen im Rotverschiebungsbereich $0 < z < 1,4$ gefunden, wodurch wir 80 der ausgedehnten Röntgenquellen identifizieren konnten. Die Hälfte davon liegt bei Rotverschiebungen oberhalb von 0,5, mit sechs Haufen bei $z > 1$. Unterhalb einer Rotverschiebung von 0,5, wo unsere Empfindlichkeit die Entdeckung von Galaxiengruppen erlaubt, zeigen die Hälfte der in der photo-z Analyse entdeckten Galaxienkonzentrationen auch ausgedehnte Röntgenemission. Diese Ergebnisse liefern gut definierte Informationen über die großräumigen Strukturen im COSMOS-Feld und erlauben eine Nachfolgestudie über die Entwicklung der Galaxienmorphologie in dichten Umgebungen.

AGN entdeckt. Bisher haben wir in der Nordhälfte des E-CDF-S mit Hilfe von tiefen VIMOS/VLT Beobachtungen ~75 Röntgenquellen identifiziert. Die Fertigstellung der Identifikationskampagne wird uns die nie dagewesene Gelegenheit bieten, das schwache Ende der AGN-Leuchtkraftfunktion bei $z > 1,5$ mit hoher Genauigkeit zu messen, sowie anhand der AGN-Population niederer bis mittlerer Leuchtkraft die Entstehung großräumiger Strukturen zu verfolgen.

Wir haben im Lockman Hole in 18 Einzelbeobachtungen mit einer Gesamtzeit von 1.16 Ms die bisher tiefsten XMM-Newton Beobachtungen durchgeführt. Im 0,5-2,0 keV Band wurde eine Empfindlichkeit von $1,9 \cdot 10^{-16} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ erreicht. Insgesamt wurden 409 Quellen innerhalb eines Radius von 15' um das Feldzentrum gefunden, wovon 340, 266 und 98 Quellen im weichen, harten und ultra-harten Band entdeckt wurden. Ungefähr ein Drittel der entdeckten Objekte zeigt absorbierte

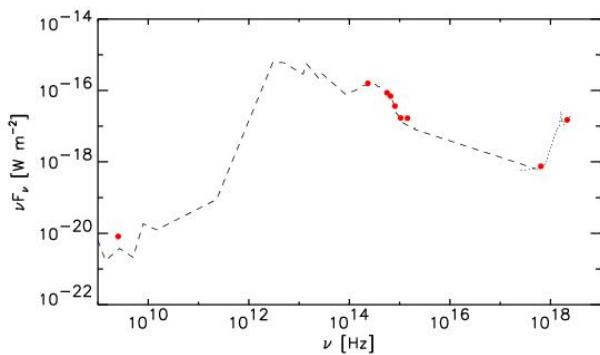
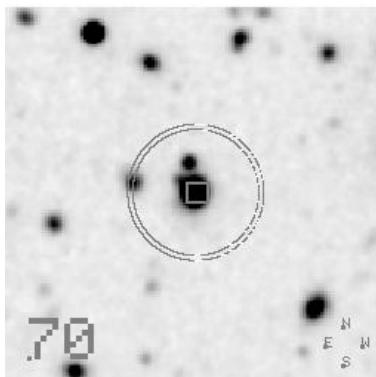


Abb. 2-35: Links: Beispiel einer I-Band Suchkarte für das optische Gegenstück (quadratisches Symbol) eines Typ-2 QSO ($z=0.688$), der durch eine „Likelihood-Methode“ sicher identifiziert wurde. Der Suchkreis ist auf die Röntgenposition zentriert und hat einen Radius von 5 Bogensekunden. Rechts: Verfügbare photometrische Daten. Die spektrale Energieverteilung wird durch das Spektrum einer Seyfert-2 Galaxie gut wiedergegeben.

Fig. 2-35: Left: example of I-band finding chart of a type-2 QSO ($z=0.688$) with optical counterpart (square symbol) securely identified from the likelihood analysis. The circle is centred on the XMM-Newton position and has a radius of 5 arcsec. Right: the photometry available. The SED is well reproduced by a composite Seyfert-2 spectrum.

Die „Extended Chandra Deep Field South“ Durchmusterung (E-CDF-S) ist hinsichtlich Fläche und Empfindlichkeit komplementär zu XMM-COSMOS. Im Rahmen des „Chandra Legacy Program“ wurde in einem $0,33 \text{ deg}^2$ großen Gebiet eine 1 Megasekunde lange Beobachtung durchgeführt, wobei eine Empfindlichkeit ähnlich der des „Chandra Deep Field“ erreicht wurde. Die E-CDF-S Durchmusterung fügt dem CDF-S vier tiefe, an das CDF-S angrenzende ACIS-I Felder (je $\frac{1}{4}$ Megasekunde) hinzu, wodurch man insgesamt eine Stichprobe von ~1000 Aktiven Galaxien in einem zusammenhängenden Gebiet erhält. Für $z > 1,5$ ist die E-CDF-S Durchmusterung komplementär zu XMM-COSMOS, da sie hauptsächlich für typische Aktive Galaxien empfindlich ist, während COSMOS hauptsächlich die selteneren und leuchtkräftigeren

Spektren mit „Hardness Ratios“ jenseits der von ROSAT in diesem Feld entdeckten Objekte. Die optischen Nachfolgebeobachtungen konzentrierten sich auf das Gebiet innerhalb eines Radius von 10' um das Feldzentrum. Von den 457 optischen Kandidaten in diesem Gebiet wurden 58 bereits im Rahmen der ROSAT UDS Durchmusterung identifiziert und drei weitere mit Hilfe des SDSS. In spektroskopischen Keck-Beobachtungen in den Jahren 2001 bis 2004 konnten wir 71 weitere optische Kandidaten für 63 Röntgenquellen identifizieren.

Durch die Zusammenführung der Ergebnisse aller dieser Untersuchungen waren wir in der Lage, weitere Beweise dafür zu liefern, dass der Anteil der absorbierten (Typ-2) AGN eine starke Funktion der intrinsischen Leuchtkraft des Aktiven Galakti-

schen Kerns selbst ist. Während der Typ-2 Anteil bei niederen Leuchtkräften mit dem lokalen Verhältnis von ungefähr 4:5 übereinstimmt, findet man bei hohen Leuchtkräften ein Verhältnis von 1:3. Dies widerspricht dem starken „unification-model“, in dem der Bedeckungsfaktor unabhängig von Leuchtkraft und Rotverschiebung ist. Eine Erklärung dieses Trends wäre möglicherweise, dass die leuchtkräftigen Objekte in der Lage sind, durch Ionisation ihres zirkumnuklearen Materials, oder durch starke Ausflüsse ihre Umgebung zu „säubern“, während Objekte mit niedrigerer Leuchtkraft weitgehend von der zirkumnuklearen Starburst-Region umgeben sind, von der sie sich „ernähren“ (Abb. 2-34, 35, 36).

Deep X-ray surveys indicate that the cosmic X-ray background (XRB) is largely due to radiation from accretion onto super massive black holes, integrated over cosmic time. Deep XMM-Newton and Chandra surveys have resolved a large fraction of the X-ray background, both in the soft and hard energy band. After having understood the basic contributors to the X-ray background, the general interest is now focusing on understanding the physical nature of these sources, their cosmological evolution, and their role in models of galaxy evolution. In this framework, we are conducting several large X-ray surveys.

The XMM-Newton wide-field survey in the COSMOS field (XMM-COSMOS) covers more than 2 deg². COSMOS is a global multi-wavelength collaboration built around an HST Treasury Program providing deep images with the Advanced Camera for Surveys (ACS) within the region of the sky bounded by 9^h57.5^m < R.A. < 10^h03.5^m, 1^d27.5^m < DEC < 2^d57.5^m. We have surveyed this area with overlapping XMM-Newton pointings with a grid spacing of 15 arcmin. The good time intervals for the PN-CCD detector add up to about 724 ksec. The total number of sources detected in the 0.5-2, 2-10 and 5-10 keV bands are 1280, 724 and 186, respectively and the corresponding flux limits are 0.5, 1.9 and $4 \cdot 10^{-15}$ erg cm⁻² s⁻¹. We expect from detailed simulations a maximum of 25 spurious sources, i.e. less than 2%. The number counts of sources (logN-logS relations) are perfectly consistent with previous results from ROSAT, ASCA, BeppoSAX, Chandra and XMM-Newton. However, at intermediate fluxes they have unprecedented statistical accuracy due to the large number of objects involved. Using a CFHT I-band and CTIO/NOAO K-band catalogues, we were able to reliably identify ~90% of the X-ray sources with optical counterparts. Only a rather small fraction of the X-ray sources cannot be uniquely identified, because the error circles either are empty down to the sensitivity of the optical/NIR images (6%) or contain multiple, equally likely counterparts (4%). For ~80% of the counterparts there is a very good

agreement between the spectroscopic classification, the morphological parameters, and the optical to near infrared colors. About 20% of the sources show an apparent mismatch between the morphological and spectroscopic classifications. Our analysis indicates that the observed differences are largely explained by the location of these objects in the redshift-luminosity plane. Spectroscopic identifications of the X-ray sources have started using the Magellan telescope and the VLT. Including about 40 spectroscopic identifications already in the literature, mainly from the 2dF and the SDSS surveys, a total of ~250 X-ray sources could already be spectroscopically identified. To increase the completeness we are computing photometric redshifts for the still unidentified sources.

The large COSMOS area allows studying “peculiar” sources. For example, we selected from the brighter spectroscopically identified sources three Type-2 QSOs at redshift 2.418, 0.688, 0.941. For the two at lower redshifts the host galaxy is clearly visible in ACS images. One of them is clearly detected at 20cm using the Very Large Array (VLA). We can classify this as a radio loud QSO-2. The other two objects are not detected in the radio and we obtain only an upper limit to their radio flux.

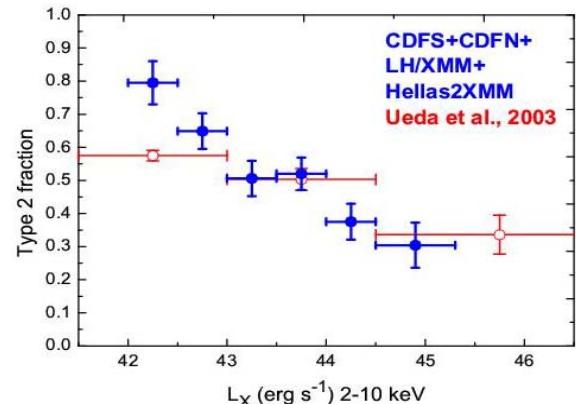


Abb. 2-36: Anteil der Typ-2 AGN an allen AGN im CDF-S, HDF-N, Lockman Hole und Hellas2 Survey, ausgewählt im 2-10 keV Energieband (volle Symbole) und Daten von Ueda et al. (2003).

Fig. 2-36: Fraction of Type-2 AGN among all AGN for the CDF-S, HDF-N, Lockman Hole and Hellas2 XMM selected in the 2-10 keV band (solid symbols) and those given in Ueda et al. (2003).

Using all the available photometry from the COSMOS survey, we have constructed the spectral energy distribution (SED) for each of our Type-2 QSOs and compared them with the spectrum of NGC6240 and a Seyfert-2 spectrum composed from a sample of local galaxies. While the SED of NGC6240 does not reproduce well the observed photometry of our Type-2 QSOs, an excellent description of the same is given by the composite Seyfert-2 SED.

In addition to AGN studies, the XMM-COSMOS survey has reached an unprecedented flux depth ($\sim 2 \cdot 10^{-15}$ ergs cm^{-2} s^{-1}) on such a large area for diffuse sources, which allows a detection of galaxy groups to a redshift of 0.5, and a Virgo type cluster to a redshift of $z=1.5$. Applying a wavelet scale-wise reconstruction technique to the XMM mosaic in the 0.5-2 keV band, we select 130 extended sources as cluster candidates. The broad-band imaging, gained to date for the COSMOS field, allows a robust estimate of the photometric redshift for galaxies down to $I_{AB}=25$. The current near-infrared coverage (z and K bands) allows making photo-z estimates to a redshift of 1.4. Using photo-z slices of $\Delta z=0.2$ and selecting the early-type galaxies, we run an independent cluster search to identify 360 early-type galaxy concentrations in the redshift range $0 < z < 1.4$, which provides an identification for 80 of the diffuse X-ray sources. Half of those are at redshifts larger than 0.5 with 6 clusters at $z>1$. Based on these results we were able to derive the logN-logS of the survey and dN/dz . Below a redshift of 0.5, where our sensitivity limits allow to detect galaxy groups, half of the galaxy concentrations, identified in the photo-z analysis has a corresponding diffuse X-ray source. These results provide well-defined information on the LSS in the COSMOS field and allow a follow-up study of the evolution in the galaxy morphology in dense environments.

Complementary to XMM-COSMOS for area-sensitivity, the "Extended Chandra Deep Field-South" survey (E-CDF-S) has completed a 1 Msec Chandra legacy program that covers a 0.33 deg² area at depths similar to the Chandra Deep Fields. The E-CDF-S survey adds four deep ACIS-I fields (1/4 Msec each) flanking the 1 Msec CDF-S to generate a full sample of ~ 1000 AGN over a contiguous area. The E-CDF-S survey is quite complementary to the COSMOS/XMM survey at $z>1.5$ since it is primarily sensitive to more typical AGNs while COSMOS mainly detects more luminous and rare AGNs. To date, we have identified ~ 75 X-ray sources with deep observations at VIMOS/VLT in the northern half of the E-CDF-S. The completion

of the identification campaign will provide us with the unprecedented opportunity to accurately measure the faint end of the AGN luminosity function at $z>1.5$ and utilize the low-to-moderate luminosity AGN population to trace the emergence of large scale structure.

We have conducted the deepest XMM-Newton exposure so far in the Lockman Hole field, that was observed by XMM-Newton in 18 pointings for a total of 1.16 Msec. In the 0.5-2.0 keV band, a sensitivity limit of $1.9 \cdot 10^{-16}$ erg cm^{-2} s^{-1} was reached. A total of 409 sources were found within a radius of 15' off the field centre, of which 340, 266, and 98 sources were detected in the soft, hard and ultra-hard band, respectively. Approximately one third of the detected objects have obscured spectra with hardness ratios exceeding those of most of the 69 ROSAT detected objects in the field. We have concentrated the spectroscopic follow-up campaign inside a circle of radius 10 arcmin from the field's center. Of the 457 optical counterpart candidates in this area, 58 have been already identified in the ROSAT UDS survey, three objects are identified using the SDSS. Using Keck spectroscopy in 2001, 2003 and 2004, an additional 71 optical counterparts are identified for 63 X-ray sources.

Combining the output of all these surveys we have been able to confirm and strengthen the evidence that the fraction of absorbed (Type-2) AGN is a strong function of the intrinsic luminosity of the AGN itself. While the Type-2 fraction at low luminosities is consistent with the local ratio of about 4:5, at high luminosities the ratio is 1:3. This indicates a breakdown of the 'strong unification model, where the covering factor is independent of luminosity and redshift. A possible explanation of this trend may be, that high luminosity objects are able to "lean out" their environment by ionizing the circumnuclear matter and/or producing strong outflows, while low luminosity objects are largely surrounded by the circumnuclear starburst region they are feeding from (Fig. 2-34, 35, 36).

[BRUNNER, CAPELLUTI, HASINGER]

2.4.4 Struktur und Entwicklung von Galaxienhaufen / Structure and Evolution of Galaxy Clusters

Galaxienhaufen sind die größten, klar definierten Objekte in unserem Universum. Als solche bilden sie die größten kosmischen Laborumgebungen und sie sind ideale Testobjekte um die großräumige Struktur des Universums zu untersuchen und kosmologische Modelle zu überprüfen. Eine wichtige Voraussetzung für beide Typen von Studien ist eine präzise Messung der Massen von Galaxienhaufen und eine genaue Kenntnis ihrer Struktur. Aus den einfachen Beobachtungsgrößen genaue Massenabschätzungen zu erhalten ist besonders

wichtig. Deshalb müssen wir die Skalierungsrelationen verschiedener wichtiger Beobachtungsgrößen mit der Haufenmasse genau bestimmen. Mit diesem Ziel führen wir ein XMM-Newton Large Programme durch, in dem die Struktur und die Skalierungsrelationen einer repräsentativen Stichprobe von 33 Haufen untersucht werden. Abb. 2-37 zeigt die morphologische Variation der Stichprobe. Etwa 40% der Haufen erscheinen entwickelt und relaxiert, 40% zeigen kleinere Störungen in der Regularität, und 20% der Haufen sind dy-

namisch junge Gebilde mit ausgeprägten Unterstrukturen.

Die Analyse der Röntgenbilder und -spektren zeigt, dass die Haufen trotz der morphologischen Unterschiede einen hohen Grad an Selbstähnlichkeit in ihrer Struktur aufweisen, zum Beispiel in den Röntgenhelligkeitsprofilen. Ebenso zeigen die Tempe-

schiebungen um $z=0.3$, die mit XMM-Newton studiert wurden. Die Bilder zeigen die Entropiestruktur des Innerhaufenmediums (wie es in Projektion beobachtet wird) und enthüllt Signaturen von Stoßwellenheizung, niedere Entropiekanäle eingefallener Galaxiengruppen und ein kürzlich zerstörter zentraler kühler Kern des Haufengases.

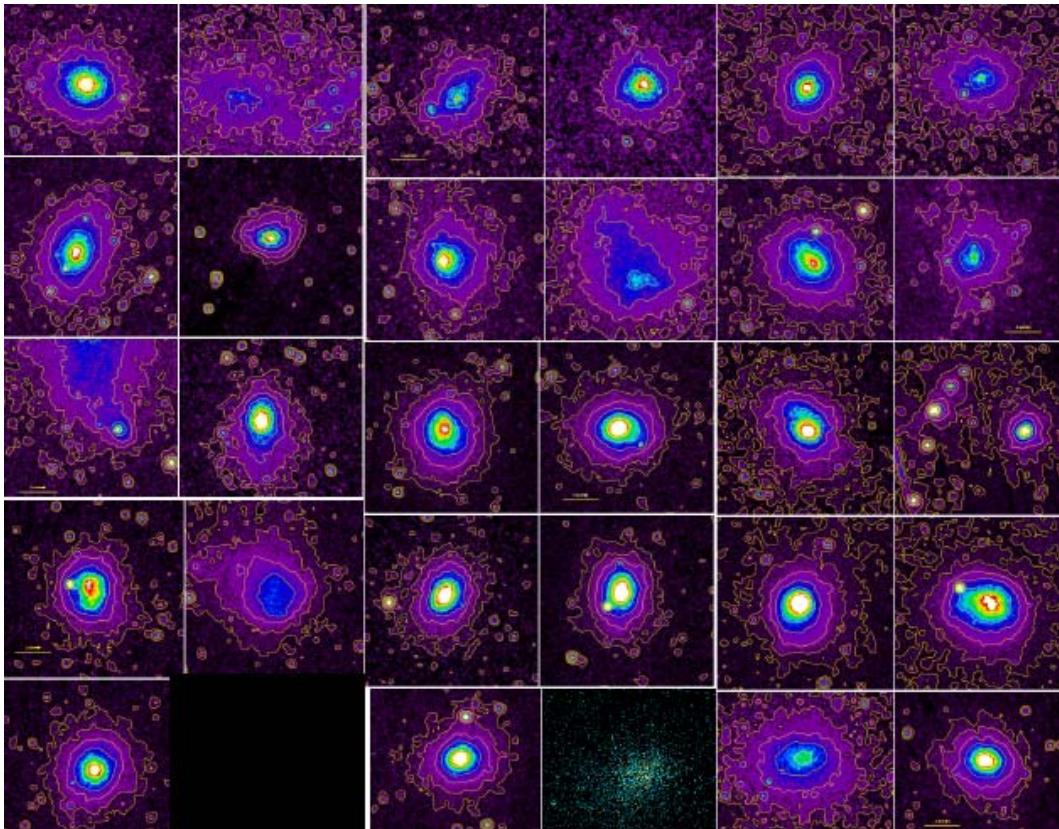


Abb. 2-37: Galerie von Röntgenbildern einer repräsentativen Stichprobe von Galaxienhaufen, die in unserem „XMM Large Programme“ zum Studium der Galaxienhaufenstruktur beobachtet werden. Die Stichprobe überdeckt einen Massenbereich von etwa $1-20 \cdot 10^{14}$ Sonnenmassen und einen Rotverschiebungsbereich von $z=0.055$ bis 0.18 . Die Farbtabelle für die Intensitätscodierung und die Konturen sind so gewählt, dass Haufen verschiedener Massen ein ähnliches Erscheinungsbild bieten. Das Blickfeld der Bilder beträgt etwa 15×15 Bogenminuten.

Fig. 2-37: Gallery of X-ray images of a representative sample of galaxy clusters observed in the XMM Large Programme for the study of cluster structure. The galaxy clusters cover the redshift range 0.055 to 0.18 and the mass range of about $1-20 \cdot 10^{14}$ Solar masses. The colour table and contours are scaled such that clusters of different mass should have a similar appearance. The field-of-view of the images is about 15×15 arcmin.

raturprofile eine Selbstähnlichkeit, wenn sie wie in Abb. 2-38 in der richtigen Weise skaliert werden. Diese Selbstähnlichkeit hilft enge Korrelationen zwischen den Beobachtungsgrößen und der Masse herzustellen. Weitere wichtige Haufengrößen, wie die Massenprofile, die Innerhaufenmedium Entropie, und Druckprofile zeigen ebenfalls eine sehr ähnliche Form für alle Haufen.

Eine genauere Untersuchung der Abweichung von der mittleren Form der Galaxienhaufen liefert wichtige Informationen über die jüngste Entwicklungsgeschichte der Haufen. Abb. 2-39 zeigt drei Beispiele aus einer weiteren repräsentativen Stichprobe von massiven Galaxienhaufen bei Rotver-

Die Untersuchung der Struktur von Galaxienhaufen und der Skalierungsrelationen ihrer Eigenschaften wurde zu kleineren Galaxiengruppen ausgedehnt, wo die Abweichungen vom selbstähnlichen Bild viel deutlicher ausfallen und deshalb genauer untersucht werden können als bei größeren Haufen. Man stellt sich vor, dass diese Abweichungen am besten durch eine frühe Injektion von Energie (preheating) in das Gas erklärbar sind, noch bevor die Galaxienhaufen kollabieren. Das Resultat ist ein erhöhtes, zentrales Entropieniveau (entropy floor) und eine vorhergesagte flachere Röntgen-Leuchtkraft/Temperatur-Beziehung. Leider ergibt die Analyse einer größeren Sammlung von Entropie-Profilen von Galaxien-

Gruppen und -haufen ein Bild, dass nicht konsistent mit dieser Vorstellung ist, weil es bei r_{500} viel höhere Entropie-Niveaus erfordert als ursprünglich gedacht. Dies ändert das Bild von einer Anfangsstufe und einer steilen Relation zu einer kontinuierlichen flacheren Relation. Die analytische wie auch numerische Beschreibung dieser Ergebnisse unterstützt sehr stark ein Szenario, wo ein anfänglich adiabatischer Zustand eines einfallendes Gases während der Akkretion weiter modifiziert wird durch die Ausbildung von Stossfronten. Als Unterstützung für das letztere Bild möchten wir auf die Selbstähnlichkeit in den Entropie-Profilen hinweisen, wenn sie mit $T^{0.65}$ skaliert werden. Eine wesentliche, durch diese Untersuchungen eingeführte Änderung ist, dass Galaxiengruppen zwar auch als kleinere Versionen von Haufen angesehen werden können, allerdings mit modifizierten Skalierungs-Beziehungen.

Kategorien: 1) reguläre Gruppen (die meisten aus unserer Stichprobe mit z.B. NGC 5044, NGC 5846, NGC 4168) mit Eigenschaften, die zum großen Teil durch die Gasakkretion festgelegt werden; 2) extern gestörte Gruppen (z.B. NGC 4636); 3) intern bis zu einer Skala von 0.2 r_{500} gestörte Gruppen (z.B. IC 1459, NGC 2300 und NGC 4261), und 4) Systeme, dessen thermische, diffuse Röntgen-Emission nicht assoziiert ist mit der Akkretion von Gas in den Potential-Trögen der Gruppen (z.B. NGC 5322, NGC 3923, NGC 3665). Die ersten drei Kategorien wurden als Versuch eingeführt, die beobachtete Bandbreite der Entropie-Niveaus innerhalb der Gruppen zu beschreiben, während die letzte Kategorie aus Objekten aufgebaut ist, die möglicherweise nichtvirialisierte Gruppenhalos besitzen.

Die systematischen Untersuchungen der Haufenstruktur wurden zu den optischen Daten hin aus-

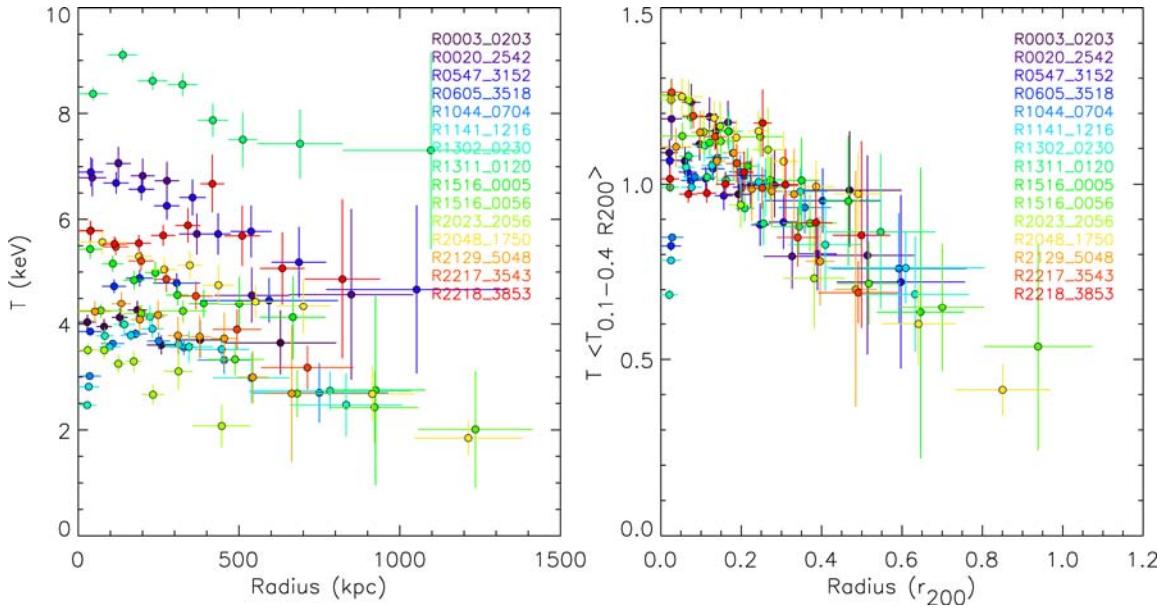


Abb. 2-38: Temperaturprofile des intergalaktischen Mediums von 15 Galaxienhaufen aus dem „XMM large Programme“. Die Selbstähnlichkeit der Profile offenbart sich, wenn die Profile mit der mittleren Temperatur und der Radius mit der dritten Wurzel der Masse skaliert werden.

Fig. 2-38: Temperature profiles of 15 clusters from the XMM-large Programme. The close self-similarity of the profiles is revealed if they are scaled by the average temperature and the radius is scaled by the cubic root of the cluster mass.

Um die Physik des Intragruppen-Mediums besser zu verstehen, haben wir mit einer Untersuchung von 33 nahen Galaxiengruppen mit Rotverschiebungen von $z=0.004-0.025$ aus dem XMM-Newton-Archiv begonnen. Die XMM-Newton-Daten erlauben uns erstmal mit Hilfe einer großen Stichprobe von Galaxiengruppen das Entropie- und Druckverhalten bei Radien größer als $0.15 r_{500}$ zu vergleichen. Unser Hauptergebnis ist die Aufdeckung einer großen Variabilität thermodynamischer Gaszustände zwischen den verschiedenen Gruppen, was die Vorstellung einer einfachen Interpretation ihres Ursprungs verwirft. Basierend auf den Entropie- und Druckprofilen spekulieren wir über eine Aufteilung unserer Stichprobe in folgende vier

geweitet. Die umfangreichste Untersuchung basierte auf einem Vergleich von mehr als 300 Galaxienhaufen mit Röntgen-Daten vom ROSAT All-Sky Survey (RASS) und optischen Daten vom Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Die Ergebnisse zeigten eine überraschend homogene Galaxien-Population im Haufen-Haufen-Vergleich. Die Leuchtkraft-Funktionen und der Bruchteil blauer und roter Galaxien sind ähnlich, beide Verteilungsfunktionen verändern sich aber mit dem Haufenradius. Zudem zeigte diese Veränderung mit dem Haufenradius ein nahezu gleiches Verhalten in allen Haufen, wenn der Haufenradius mit der dritten Wurzel der geschätzten Haufenmasse skaliert wurde. Am überraschendsten neben der sehr gro-

ßen Ähnlichkeit der Leuchtkraft-Funktionen verschiedener Haufen war, dass die gesamte Anzahl von Galaxien wie auch die gesamte Galaxien-Leuchtkraft nicht proportional mit der Haufenmasse, sondern mit einem Exponent kleiner als eins anwächst. Dabei bleibt die Natur der Galaxienpopulation gleich. Dies impliziert eine weniger effiziente Galaxienbildung in massiveren Haufen, ein Ergebnis, dass durch semi-analytische Modellierung der Galaxienbildung zwar reproduziert wird, aber bei weitem nicht im Detail verstanden ist. Eine weitere wichtige Entdeckung sind optisch reiche, aber Röntgen-unterleuchtkräftige Galaxienhaufen, die sehr schwer von den mehr regulären, Röntgen-leuchtkräftigen Haufen zu scheiden sind. Erste genauere Untersuchungen zeigen subtile Unterschiede in den dynamischen Zuständen dieser Haufen, und weitere Untersuchungen sind erforderlich, um vollständig zu verstehen, wie diese Haufen, vermutlich im Zustand ihrer Bildung, charakterisiert werden können. Es ist genau dieser Typus von Galaxienhaufen, der im allgemeinen verschiedene Haufenstichproben im optischen und Röntgenbereich produziert. Im Lichte der zukünftigen großen optischen Haufen-Durchmusterungen ist deshalb ein gutes Verständnis dieses Problems dringend erforderlich.

tant to understand how to get reliable cluster mass estimates from available observables, like X-ray luminosity. For this, we need to know the scaling relations of various observables with cluster mass. To this end we are conducting an XMM-Newton Large Programme, to study the range of cluster structures and scaling relations of a well selected, representative sample of 33 galaxy clusters. Fig. 2-37 displays the variety of cluster morphologies of this sample, of which about 40% are well evolved and approximately spherically symmetric, 40% are quite regular with some minor distortions and 20% of the clusters are dynamically younger with more pronounced substructure.

The analysis of the X-ray images and spectra shows that irrespective of the different dynamical stages, the clusters show a high degree of self-similarity in the structure of their X-ray luminous intracluster plasma, with plasma density profiles that show a small dispersion if appropriately scaled with cluster mass. Also the scaled temperature profiles, displayed in Fig. 2-38 show a very similar behaviour. This close self-similarity helps to provide tight relations of observables and cluster mass. Further cluster properties like the gravitational mass, the intra-cluster medium entropy and the pressure profiles also show a characteristic

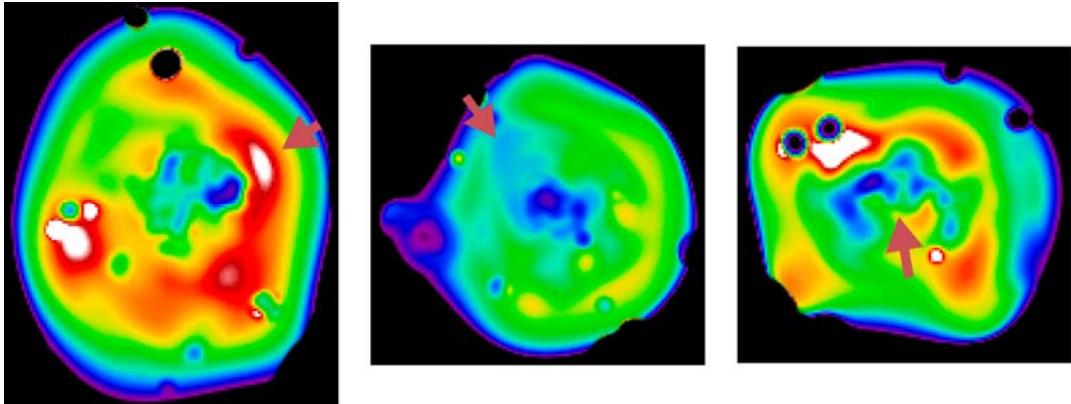


Abb. 2-39: Entropiekarten von drei sehr röntgenleuchtkräftigen, massiven Galaxienhaufen bei $z=0.3$, die mit XMM-Newton beobachtet wurden. Der Haufen im linken Bild zeigt eine durch Stoßwellen geheizte Region (Pfeil) vor einem schnell fliegenden Substruktur „Geschoß“ mit niedriger Entropie. Das mittlere Bild zeigt einen Kanal niedriger Entropie (Pfeil) vom Außenbereich zum Zentrum, der vermutlich von einer einfallenden Galaxiengruppe erzeugt wurde. Im rechten Bild sehen wir die durch einen Haufenzusammenstoß zerrissenen Überreste eines Kühlungskerns im Galaxienhaufen (Pfeil).

Fig. 2-39: Entropy maps of three X-ray luminous, massive galaxy cluster at $z\sim 0.3$ studied with XMM-Newton. The cluster in the left panel features a shock heated high entropy region (arrow) in front of a fast moving low entropy “bullet”. The middle panel shows a low entropy channel (arrow) towards the centre caused presumably by an infalling low entropy group, and in the right panel we notice the remnants of a disrupted low entropy cluster cooling core (arrow).

Galaxy clusters are the largest clearly defined objects in our universe. As such they form the largest cosmic laboratory environments and they are ideal probes to measure the large-scale structure of our universe, providing tests for cosmological models. An important prerequisite for both types of studies are a good measure of cluster masses and knowledge of cluster structure. It is in particular impor-

shape which is similar for all clusters.

A closer inspection of the deviations from the mean cluster shapes provides some interesting information on the recent cluster evolution history. Fig. 2-39 gives three examples of another representative sample of very massive clusters at redshifts around $z=0.3$ which have been studied with XMM-Newton. The images showing the entropy

structure of the intra-cluster medium (seen in projection), reveal signatures of cluster merger shock fronts, entropy trails of recently infallen galaxy groups, and the remnants of a recently destroyed central cluster cooling core.

The study of cluster structure and scaling relations was also extended to smaller groups of galaxies, where the deviations from the self-similar picture are much more pronounced and can thus be studied in more detail and in comparison to the larger clusters. These deviations are thought to be best explained by the injection of energy (preheating) into the gas before clusters collapse. The effect is a elevated central “entropy floor” and a predicted shallower X-ray luminosity-temperature relation. However, the analysis of a large compilation of entropy profiles of groups and clusters of galaxies is inconsistent with this picture, requiring at r_{500} much larger entropy levels than was thought before and modifying the concept of the entropy floor to an entropy ramp at $0.15 r_{500}$ (r_{500} is the radius where the mean cluster mass density reaches 500 times the critical density of the universe). Reproduction of these results both analytically and numerically, strongly supports the scenario, where an initial adiabatic state of the infalling gas is further modified by the accretion shock. As supporting evidence for the latter, we noticed a self-similarity in the entropy profiles, once scaled to $T^{0.65}$. A major change introduced by these studies is that groups of galaxies can again be viewed as scaled-down versions of clusters, but with the scaling it modified.

To better understand the physics of the intragroup medium, we have embarked on an XMM-Newton archival study of 33 nearby galaxy groups in the redshift range $z=0.004-0.025$. The XMM-Newton data allow us to compare the entropy and pressure behavior at radii exceeding $0.15 r_{500}$ for a large sample of groups for the first time. Our major result reveals a large scatter in the thermodynamical state of the gas between various groups, which rules out a single interpretation of their origin. Based on the levels of entropy and pressure, we conjecture a subdivision of our sample into four categories: 1) regular groups (most of the sample, with e.g. NGC 5044, NGC 5846, NGC 4168), properties are largely defined by gas accretion; 2) groups disturbed externally (e.g. NGC 4636); 3) groups disturbed internally to an extent of $0.2 r_{500}$ (e.g. IC 1459, NGC 2300 and NGC 4261), and 4) systems whose thermal diffuse X-ray emission is not associated with the accretion of the gas onto potential wells of the group (e.g. NGC 5322, NGC 3923, NGC 3665). The first three categories are introduced in an attempt to explain the observed variation in the entropy levels among the groups, while the last category is composed of objects that might not have a virialized group-size halo.

The systematic studies of cluster structure have been extended to include optical data. The most comprehensive investigation was based on a comparison of a sample of more than 300 galaxy clusters observed in X-rays in the ROSAT All-Sky Survey (RASS) and in the optical in the Sloan Digital Sky Survey (SDSS). The results show a surprisingly homogeneous galaxy population in the comparison from to cluster to cluster. The luminosity functions and the fraction of blue and red galaxies are similar, but both distribution functions change with cluster radius. Also, this change with cluster radius is found to show approximately the same behaviour in all clusters if the cluster radius is scaled to the cubic root of the estimated cluster mass. Most astonishingly, with the very tight similarity of the luminosity function from cluster to cluster, the total number of galaxies as well as the total galaxy light is not increasing proportional to the cluster mass but with an exponent smaller than one. At the same time there is no significant change in the nature of the galaxy cluster population. This implies that galaxy formation is less efficient in more massive clusters, a result that has been reproduced by semi-analytical galaxy formation modelling, but is far from being understood in detail. Another important finding are optically rich, but X-ray underluminous galaxy clusters which are very difficult to distinguish from the more regular X-ray luminous ones. First detailed studies show subtle differences in the dynamical states of these clusters and further investigations are required to fully understand how these clusters, presumably in a state of formation, can be characterized. It is exactly this type of galaxy clusters which in general produces different cluster samples in optical and X-ray surveys. Thus, a good understanding of this problem is urgently needed in the light of the upcoming large optical cluster surveys.

Entdeckung des entferntesten bekannten Galaxienhaufens im Röntgenlicht

Die meisten detaillierten Studien über Galaxienhaufen basieren auf Beobachtungen von Objekten in naher kosmischer Entfernung. Andererseits lassen sich wichtige Erkenntnisse zur Entwicklung der Strukturen im Universum und der Rolle der Dunklen Energie auf die Strukturbildung durch die Erforschung von Galaxienhaufen bei hoher Rotverschiebung gewinnen, die dann mit den Eigenschaften und der Massenfunktion der heutigen, lokalen Haufenpopulation verglichen werden können. Bisher konnten nur kleine Entwicklungseffekte von Objekten in größerer Entfernung gemessen werden, und Galaxienhaufen bei Rotverschiebungen jenseits eins sind noch kaum erforscht, da es vor unserer Entdeckung nur fünf bekannte Beispiele mit Röntgenemission gab.

Aus diesem Grund haben wir eine systematische Suche nach Galaxienhaufen bei Rotverschiebun-

gen größer eins ins Leben gerufen, die auf einer Durchmusterung des Röntgendifferenzialsarchivs des Satellitenobservatoriums XMM-Newton basiert. Theoretische Abschätzungen sowie erste Ergebnisse haben gezeigt, dass ein Galaxienhaufen bei $z>1$ pro Quadratgrad der mit XMM-Newton mindestens 10ksec beobachteten Himmelsfläche gefunden werden kann. Beobachtungen von mehr als 60 Quadratgrad Himmelsfläche haben sich mittlerweile schon im öffentlichen Archiv angesammelt, wie eine erste Auswertung ergab. Da die meisten aufgelösten Röntgenquellen Galaxienhaufen sind, können entfernte Haufenkandidaten aufgrund ihrer Ausdehnung ausgewählt werden. Nahe Objekte mit Rotverschiebungen bis ungefähr $z=0.5$ können mit Hilfe frei zugänglicher digitaler Himmelsbilder identifiziert und aussortiert werden. Die übrigen, entfernteren Galaxienhaufen werden durch einen zweistufigen Nachbeobachtungsprozesses identifiziert: tiefe Aufnahmen in den optischen R und z-Bändern erlauben die Bestätigung der Existenz einer entfernten Galaxienkonzentration und über die „Farbe“ der Haufengalaxien frühen Typs („Rote Sequenz“) lässt sich eine Rotverschiebungsabschätzung mit einer Genauigkeit von $\Delta z\sim 0.1$ (bei $z\sim 1$) erreichen. Nur diejenigen Galaxienhaufen mit geschätzten Rotverschiebungen von $z>0.9$ werden dann für weitere spektroskopische Beobachtungen ausgewählt. Schon mit der ersten und bisher einzigen spektroskopischen Nachbeobachtung konnten wir den mit Abstand am weitesten entfernten röntgenhellen Galaxienhaufen bei $z=1.39$ bestätigen. Mit dieser Beobachtung erweitern wir die zugängliche Rückschauzeit für Galaxienhaufenstudien um 0.5 auf nunmehr 9 Milliarden Jahre in die Vergangenheit.

Erstaunlicherweise ist der neu gefundene Haufen sehr entwickelt, kompakt, ohne auffällige Substruktur im Röntgenlicht (siehe Titelbild von Kap. 2) und besteht aus einer alten, roten Galaxienpopulation. Erste Modelle ergaben ein Alter von 2-3 Milliarden Jahren für die hellen Haufengalaxien. Mit tieferen optischen, Infrarot- und Röntgenstudien werden wir die Galaxienpopulation, die Metallanreicherung und die thermische Struktur des heißen Innerhaufengases, sowie die Form des Massenprofils dieses Haufens weiter erforschen können. Darüber hinaus haben wir weitere ~10 gute Kandidaten für entfernte Haufen, die auf spektroskopische Bestätigung warten, und einen ausgewerteten Datenbestand von 30 Quadratgrad Himmelsfläche, der die weitere Basis für die systematische Durchmusterung nach solch entfernten Galaxienhaufen bilden wird.

Discovery of the most distant X-ray luminous Galaxy Cluster

While most of the detailed work is performed with observations of galaxy clusters in the nearby uni-

verse, important information on cosmic structure evolution and, finally, constraints on the effect of Dark Energy on structure formation will come from the study of high redshift clusters and the comparison of their properties and their mass function with the present day cluster population. So far little evolutionary effects could be established and hardly anything is known about galaxy clusters at redshifts above one, where before our discovery only five galaxy clusters with X-ray emission had been detected.

Therefore we have embarked on a systematic survey for galaxy clusters with redshifts above one using the X-ray observations accumulated in the data archive of the XMM-Newton satellite observatory. Theoretical estimates and first tests showed that in 1 square degree of XMM-Newton observing field with an exposure of at least 10 ksec about one $z>1$ galaxy cluster should be found. A screening of the available public data revealed that more than 60 square degree of sky are covered by the archive already. Galaxy cluster candidates are found among the extended X-ray sources which, in their majority, turn out to be clusters. The nearby objects up to redshifts of about $z=0.5$ can be identified on publicly available digitized sky images. The remaining, more distant clusters, are identified in a two-step process: deeper images in the R and z optical bands are taken to verify the existence of a distant galaxy concentration and the colour of the early type cluster galaxies (“red sequence”) can be used to obtain a redshift estimate with an accuracy of $\Delta z\sim 0.1$ at redshifts around one. Only clusters with estimated redshifts $z > 0.9$ are then selected for further spectroscopy. With the first and so far only such spectroscopic observations we found the by far most distant X-ray luminous cluster at $z=1.39$. With this observation we push the look-back time for cluster studies another 0.5 Gyrs further to 9 Gyrs into the past.

Remarkably this cluster is very evolved, compact without pronounced substructure in X-rays (see title page of Chap. 2) and features an old red galaxy population. First modelling efforts indicate that the bright cluster galaxies are at least 2-3 Gyrs old. With deeper optical, infrared, and X-ray studies we will further characterize the galaxy population, the heavy metal enrichment and thermal structure of the hot intracluster medium, and the shape of the mass profile of this cluster. We also have already another ~10 good distant cluster candidates awaiting spectroscopic confirmation and we have a cluster candidate data base covering more than 30 square degrees of the sky which will form the basis of a systematic survey for such distant clusters.

[BÖHRINGER, FASSBENDER, FINOGUENOV, PRATT, SCHUECKER, ZHANG]

2.5 Komplexe Plasmen / Complex Plasmas

Das Forschungsfeld komplexe Plasmen zeichnet sich durch rapides weltweites Wachstum aus – derzeitig über 400 Publikationen pro Jahr – nach der Entdeckung stark gekoppelter flüssiger und kristalliner Plasmazustände durch Thomas et al. 1994.

Die hauptsächlichen Forschungsgebiete sind die Untersuchung der Eigenschaften dieser neuen (weichen) Materiezuständen, die Möglichkeit wechselwirkende Teilchenphänomene auf dem kinetischen Niveau erstmals in Systemen mit kleiner Dämpfung zu untersuchen und die aufkommenden neuen „kolloidalen Plasm 技术ologies“. Am MPE konzentrieren wir uns auf die folgenden Gebiete:

1. Physikalische Eigenschaften von komplexen Plasmen
 - Aufladung, binäre Wechselwirkung
 - Kristallstruktur, Wellen, Solitone, Schocks
 - Kinetik von Kristallisation, Phasenübergänge
 - Oberflächenstruktur, Dynamik
2. Generische Phänomene – erste kinetische Untersuchungen
 - Selbstorganisation von Vielteilchensystemen
 - Entstehung von kooperativen Phänomenen, Nanoflüssigkeiten
 - Scherströmungen, Nicht-Newtonische Flüssigkeiten
 - Entwicklung, Turbulenzkinetik
 - Wege zum Gleichgewicht im stark gekoppelten Systemen
 - Studien zum „Kritische Punkt“ auf dem kinetischen Niveau
 - Struktur und Dynamik von Kristallisierungsfronten
 - Gelbildungs-Phasenübergang
 - Untersuchung von Nicht-Hamiltonschen Systemen
3. Plasma Technologie und Anwendung
 - Plasma Medizin
 - Diamantewachstum in reaktiven Plasmen
 - Elektrodenentwicklung, Manipulation
 - Schwerelosigkeitsinstrumentierung (Weltraum)
 - Neuartige diagnostische Techniken

Alles zusammen umfasst die Gruppe etwa 30 Wissenschaftler (eingeschlossen wissenschaftliche Besucher aus anderen Forschungsinstituten) und etwa 5-10 Studenten in verschiedenen Stufen ihrer Karriereentwicklung. Der integrierte Forschungsansatz beinhaltet gewöhnlicherweise Experimente, Theorie und Simulationen. Es hat sich gezeigt, dass dies sehr nützlich ist, besonders da wir experimentell tatsächlich in der Lage sind, die Systeme auf dem individuellen Partikelniveau in Echtzeit räumlich zu beobachten – und somit ihre Dynamik

mit noch nie da gewesener Qualität und mit einem vollständig neuen Ansatz zu studieren. Aus Platzgründen können wir hier nicht allen Forschungsaktivitäten gerecht werden und berücksichtigen deshalb nur eine Auswahl.

The research field “complex plasmas” has seen a phenomenal growth worldwide – at present over 400 publications per year – following the discovery of strongly coupled liquid and crystalline plasma states by Thomas et al. in 1994. Main research topics are the investigation of the properties of these new (soft) matter states, the possibility to investigate interacting particle phenomena at the kinetic (individual particle) level for the first time in systems with little damping and emerging new “colloidal plasma” technologies. At MPE we concentrate on the following topics:

1. Physical properties of complex plasmas
 - Charging, binary interactions
 - Crystal structure, waves, solitons, shocks
 - Kinetics of crystallisation, phase transition
 - Surface structure, dynamics
2. Generic phenomena – first kinetic investigations
 - Self-organisation of many-particle systems
 - Onset of co-operative phenomena, nanofluidics
 - Shear flows, non-Newtonian liquids
 - Development, kinetics of turbulence
 - Paths to equilibrium in strongly coupled systems
 - “Critical point” studies at the kinetic level
 - Crystallisation fronts – structure and dynamics
 - Gelation phase transition
 - Investigation of non-Hamiltonian systems
3. Plasma technology and applications
 - Plasma medicine
 - Diamond growth in reactive plasmas
 - Electrode developments, manipulation
 - Microgravity (space) instrumentation
 - Novel diagnostic techniques

Altogether the group comprises about 30 scientists (including visiting scientists from other research institutes) and about 5-10 students at various stages of their career development. The integrated research approach usually includes experiments, theory and simulations. This has proven to be very useful, especially since experimentally we really are able to observe the systems at the individual particle level in real time and space – and thus can study their dynamics with unprecedented quality and with a completely new approach. Space does not permit us to do justice to all the research activities and we therefore include only a selection.

2.5.1 Physikalische Eigenschaften von komplexen Plasmen / Physical Properties of Complex Plasmas

Testladungspotential in einem Plasma mit Ionenfluss: kinetische Näherung

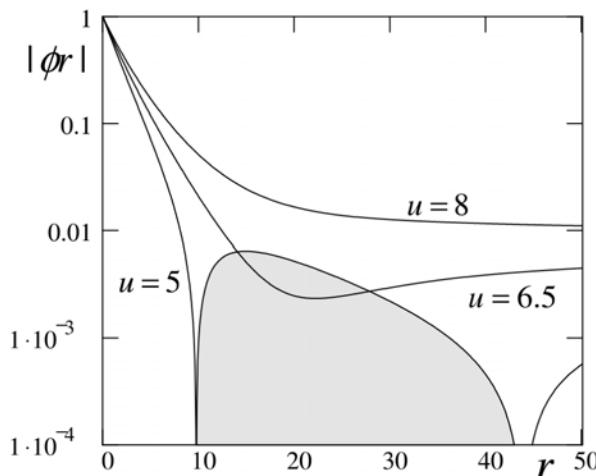


Abb. 2-40: Elektrostatisches Potential senkrecht zur Ionenströmung. Die horizontale Achse ist die Distanz vom Teilchen (in Einheiten des Ionen-Debye Radius). Die vertikale Achse ist der absolute Wert des Produktes des Potentials und des Abstands vom Teilchen. Die Kurven entsprechen Strömungsgeschwindigkeiten von 5, 6.5 bzw. 8 neutral-thermischen Geschwindigkeiten. In der schattierten Region hat das Potential seine Form von anziehend zu abstoßend geändert.

Fig. 2-40: Electrostatic potential in the plane perpendicular to the ion flow. The horizontal axis is the distance from the particle (in units of the ion Debye radius). The vertical axis is the absolute value of the product of the potential and the distance from the particle. The lines correspond to the flow velocities of 5, 6.5 and 8 neutral thermal velocities, respectively. In the shaded region the potential has changed its form from attractive to repulsive.

Die kinetische Näherung wird zur Berechnung des linearisierten Testladungspotentials in einem Plasma mit Ionenströmung angewendet (Abb. 2-40). Die Ionen-Neutralteilchenstöße werden durch Nutzung des Bhatnagar-Gross-Krook Stoßoperators selbstkonsistent berücksichtigt. Für eine endliche Flussgeschwindigkeit und unendlich kleine Stoßfrequenz ist das Potential in der Ebene senkrecht zum Fluss bei allen Abständen abstoßend, während ein Potentialminimum nur in Richtung entlang des Fluxes produziert werden kann. Für eine endliche Stoßfrequenz kann das Potential in der senkrechten Richtung bei größeren Abständen als der mittleren freien Weglänge der Ionen-Neutralteilchen-Stöße anziehend werden, wenn die Stoßfrequenz kleiner als ein bestimmter Schwellenwert ist. Dieser Schwellenwert ist von der Größenordnung der Ionen-Plasma-Frequenz für subthermische und

thermische Strömungsgeschwindigkeiten und nimmt mit steigender Strömungsgeschwindigkeit ab.

Bestimmung der Ionenreibungskraft in einem komplexen DC-Plasma

Die Ionenreibung ist eine wichtige Kraft, die auf die Mikropartikel im komplexen Plasma wirkt. Bei Vorhandensein einer Ionenströmung wird sie durch den Impulstransfer zwischen den Ionen und den Mikropartikeln verursacht. Es gibt eine Reihe von theoretischen Untersuchungen über die Ionenreibung mit unterschiedlichen Annahmen und Vorhersagen. Deshalb ist eine experimentelle Bestimmung der Ionenreibung wünschenswert. Erste Experimente, die die Vorhersagen von Khrapak et al. unterstützen, wurden in einem komplexen RF-Plasma von der Kiel-Gruppe durchgeführt.

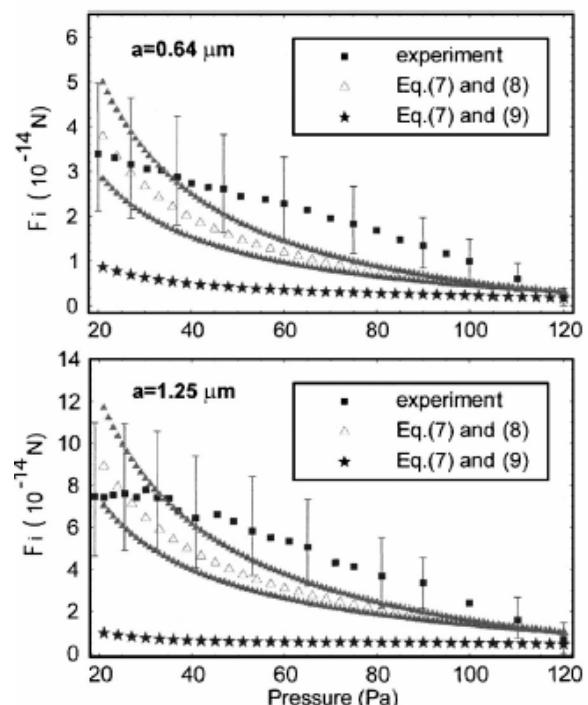


Abb. 2-41: Gemessene Ionenreibungskraft (Quadrat mit Fehlerbalken) für zwei verschiedenen Mikropartikelradien verglichen mit verschiedenen theoretischen Vorhersagen.

Fig. 2-41: The measured ion drag force (squares with error bars) for two different microparticle radii compared to various theoretical predictions.

In dem Experiment PK-4 wird ein komplexes DC Plasma in einer horizontalen Glasröhre hergestellt. Die Drift der geladenen Mikropartikel aufgrund des axialen elektrischen Feldes kann beobachtet werden. Aus den gemessenen Partikelgeschwindigkeiten kann die Ionenreibung aus dem Gleichgewicht

der elektrostatischen Kraft, der Neutralreibung und der Ionenreibungskraft extrahiert werden (Abb. 2-41). Das Resultat ist aufgrund der großen Unsicherheit in der Partikelladung und der geringen Ionenreibungskraft, verglichen zu den anderen Kräften, mit einem großen Fehler behaftet. Dieses Problem kann durch eine von Yaroshenko vorgeschlagene Methode vermieden werden. Es wird nur die Kenntnis des Ladungsgradienten bezüglich des Druckes benötigt, der aus den Experimenten mit verschiedenen Partikelgrößen extrahiert werden kann. Diese Methode erlaubt eine genaue Bestimmung der Ionenreibungskraft bei Drücken zwischen 20 und 120 Pa, wodurch der Bereich von thermischen und leicht suprathermischen Ionen-Driftgeschwindigkeit abgedeckt ist. Die Resultate stimmen mit der Theorie von Khrapak et al. gut überein, bei Berücksichtigung des Bereichs von moderater Kopplung der Ionen und der Mikropartikel.

Messung der Anziehungskräfte zwischen Partikeln in kleinen Clustern

Die Existenz einer anziehenden Kraft zwischen Partikeln in Clustern in komplexen Plasmen ist in vielen theoretischen Arbeiten vorhergesagt worden. Jedoch ist bis jetzt nur eine Art von Anziehung, aufgrund von Ionenfokussierung experimentell nachgewiesen worden. Durch Einfang von kleinen Partikelclustern in einer speziell „geformten“ RF-Entladung, Benutzung einer neuen segmentierten adaptiven Elektrode und mittels Verfolgung der 3D Partikelbahnen mit einer speziellen 3D Diagnostik waren wir in der Lage, die auf die Teilchen wirkenden Kräfte zu rekonstruieren und insbesondere die Wechselwirkungskräfte als Funktion des Partikelabstands zu bestimmen.

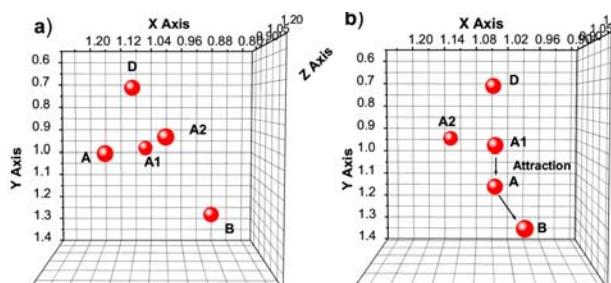


Abb. 2-42: Cluster mit 4 Partikeln und ein rotierendes. a) Partikel vor der Wechselwirkung, b) Partikel A wird durch das rotierende Partikel B angezogen. Die Einheiten auf den Achsen sind in mm angegeben.

Fig. 2-42: A cluster of 4 particles and one rotating. a) Particles before interaction, b) particle A is attracted by the orbital particle B. Units on the axis are in millimetres.

Wir haben Cluster, bestehend aus 4 bis 73 Partikeln untersucht. Abb. 2-42 zeigt die Ergebnisse eines Clusters bestehend aus 4 Partikeln mit einem zusätzlichen Partikel das unterhalb des Clusters kreiste. Die gelegentlichen Wechselwirkungen zwi-

schen einem der Clusterpartikel und dem kreisenden Partikel erlaubt uns ein mechanisches Modell zu benutzen, in dem die Zentrifugalkraft und Epsteinkraft beinhaltet sind. Die Messungen zeigen kurzreichweite abstoßende Kräfte und mittlerreichweite anziehende Kräfte. Wir können diese Resultate teilweise durch Berücksichtigung der thermischen Oszillationen innerhalb des Clusters verifizieren. Mit Hilfe der Fast-Fourier-Transformation ist das Spektrum der Oszillationsfrequenzen ermittelt worden. Dieses erlaubt uns den Kraftgradienten beim Gleichgewichtsabstand abzuleiten. Die zwei Abschätzungen sind in guter Übereinstimmung (Abb. 2-43).

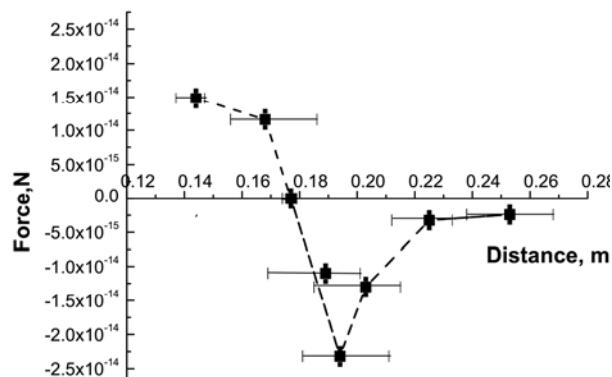


Abb. 2-43: Gemessene Wechselwirkungskraft der Teilchen als Funktion des Abstands.

Fig. 2-43: Measured interparticle's force with respect to distance.

Untersuchung von Kristallstrukturen komplexer Plasmen im Labor

Wir haben das PK-3 Plus Instrument (entwickelt zum Betrieb auf der ISS) benutzt, um vorläufige Experimente in unseren Labors durchzuführen. Das neue Design der Plasmakammer erlaubt uns, Plasmakristalle mit einigen hunderttausend Partikeln zu erzeugen. Abb. 2-44 zeigt einen Teil eines beobachteten Kristalls. Mit Hilfe lokaler Strukturanalyse kann man die räumliche Orientierung der Nachbarpartikel für jedes Teilchen bestimmen. Somit ist es möglich festzulegen, in welcher strukturellen Umgebung sich ein Partikel befindet. Es wurde beobachtet, dass sich die Kristallstruktur mit der Zeit verändert. In diesem Fall wurde 40 Minuten nach Beginn des Wachstums gemessen. Im beobachteten Gebiet befinden sich 1592 Teilchen in hcp (grün) Struktur, 2098 in fcc Struktur (rot) und 546 in überwiegen flüssiger Umgebung (blau). Da die Partikel aufgrund der Schwerkraft teilweise in die Plasmarandschicht gedrückt werden, ist das Kristallwachstum stark von den dort vorherrschenden Bedingungen geprägt. Unter Schwerelosigkeit erwarten wir eine homogenere Nukleation und Vereinigung der Bereiche. Solche Experimente sind auf der ISS geplant.

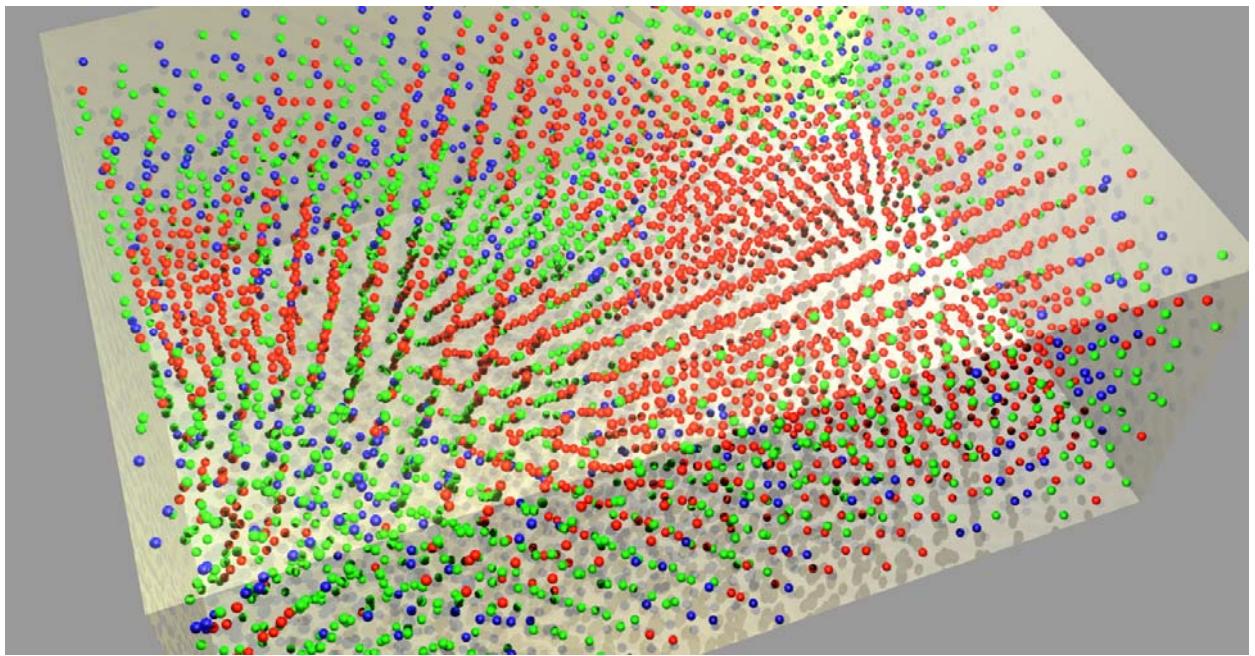


Abb. 2-44: Die Kantenlänge des abgebildeten Kristallbereiches beträgt $2.7 \times 1.5 \times 3.8$ mm und enthält 4236 Teilchen.

Fig. 2-44: The edge length of the shown crystal range has an extent of amounts $2.7 \times 1.5 \times 3.8$ mm and contains 4236 particles.

Auswirkung von struktureller Inhomogenität auf Wellen in einem 2D komplexen Plasma

Monolagen von hexagonalen Plasmakristallen werden aus monodispersen Plastik-Mikrokugeln gebildet, die in der Randschicht einer Radiofrequenzentladung schweben. Es können lineare oder nichtlineare Wellen auftreten. Mit Hilfe einer molekulardynamischen Simulationen untersuchen wir die Effekte der Gitterinhomogenitäten bei verschiedenen Skalen auf die Wellenausbreitung. Es gibt drei Skalen von räumlichen Inhomogenitäten in einem Plasmakristall, die die Wellenausbreitung beeinflussen: die Skala der globalen Gitterinhomogenität verursacht durch das äußere Einschlusspotential, die charakteristische Größe von defekten Clustern und der mittlere Wechselwirkungsabstand. Die globale Gitterinhomogenität (der Gitterdichtenzahl) macht die Phononengeschwindigkeit variabel. Dies kann eine Krümmung der Wellenfronten induzieren und verursacht steiler werdende Wellen am Rande des Kristalls („tsunami effect“, Abb. 2-45 a,b). Defekte Cluster (mit einer Größe von bis zu einigen 10 Gitterzellen) können Wellen aufgrund von lokalen Strukturvariationen streuen. Die lokale Kristallstruktur auf der Ebene einer individuellen Gitterzelle ist verantwortlich für Anisotropien in der Ausbreitung kurzwelliger (hochfrequenter) Wellen. Nichtlineare Kompressionswellen von ausreichend hoher Amplitude produzieren Defekte und ein lokales Schmelzen des Gitters. Welleninduzierte Defektgruppen pflanzen sich mit der Welle fort und bilden korrelierte Wellenstrukturen oder Focusone. Wir zeigen, dass Focusone dazu neigen sich entlang der Linien

von dichten Packungen in einem hexagonalen Monolagengitter auszubreiten, wodurch die Anisotropie der Wellenausbreitung verstärkt und die Dämpfung verglichen zu Solitonen schwächer wird (um einen Faktor 2, Abb. 2-45 c).

Wellenspektren in festen und flüssigen komplexen Plasmen

Wir untersuchen Wellen im komplexen Plasma mit variierender kinetischer Temperatur in festen und flüssigen Zuständen um festzustellen, wie sich die Phononspektren ändern. Es wurden Experimente in einer kapazitiv gekoppelten Entladung bei niedrigem Ar Gasdruck durchgeführt. Wir streuen Mikrokugeln aus Plastik (mit einem Durchmesser von $8.9 \pm 0.1 \mu\text{m}$) in das Plasma ein, um eine Monolage einer Partikelsuspension herzustellen. Die kinetische Temperatur und der Phasenzustand der Partikelsuspension wird durch Hinzugabe einer kleinen Menge von großen Partikeln kontrolliert. Diese werden einige hundert Mikrometer unterhalb der Hauptebene levitieren und heizen diese durch eine Instabilität. Die Partikelpositionen werden mit einer digitalen Videokamera aufgezeichnet und zur Bestimmung ihrer Geschwindigkeiten verfolgt. Wir benutzen eine analytische Theorie und 2D molekulardynamische Simulationen, um die Beobachtungen zu erklären.

Die Wellenspektren werden mit Hilfe von Fourier-Transformation der Partikelgeschwindigkeiten in Zeit und Raum berechnet. Bei niedrigeren Temperaturen (stark gekoppeltes Plasma) stimmen die Resultate recht gut mit vorherigen Messungen überein. Sobald die Temperatur ansteigt und sich

der Phasenzustand des Plasmas von fest zu flüssig ändert, verbreitern sich sowohl die longitudinalen als auch transversalen Moden der Phononspektren (besonders bei hohen Wellenzahlen), was erhöhte Dämpfung anzeigt. Die thermische Mode verschwindet und eine thermische Kompressions-Mode tritt auf.

Test charge potential in a plasma with ion flow: kinetic approach

The kinetic approach is employed to evaluate the linearized test charge potential in a plasma with ion flow (Fig. 2-40). The ion-neutral collisions are considered self-consistently by using the Bhatnagar-Gross-Krook collision operator. For a finite flow velocity and infinitely small collision frequency, the potential in the plane perpendicular to the flow is repulsive at all distances, while only one potential minimum can be produced in the direction along

can be observed. From the measured velocities of the particles the ion drag force can be extracted using the balance of the electrostatic, the neutral drag, and the ion drag force (Fig. 2-41). However, due to the large uncertainty in the particle charge and the smallness of the ion drag force compared to the other forces, the result is affected by a large error. This problem can be avoided by a method proposed by Yaroshenko. It requires only the knowledge of the charge gradient with respect to pressure which can be extracted from the experiment using different particle sizes. This method allows an accurate determination of the ion drag force at pressures between 20 and 120 Pa, covering the regime of subthermal and slightly suprathermal ion drift velocities. The results agree reasonably well with the theory by Khrapak et al., considering the regime of moderate coupling of the ions and the microparticles.

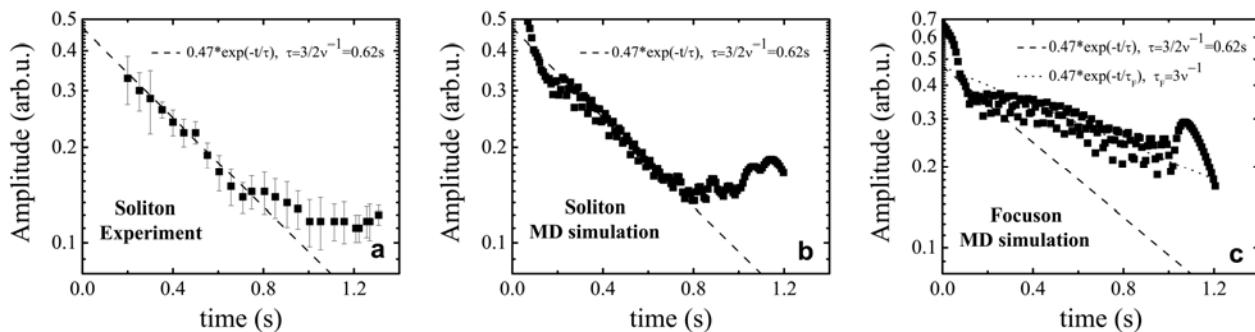


Abb. 2-45: Dämpfung von nichtlinearen Wellen in einem zweidimensionalen Plasmakristall. (a,b) Solitäre Wellen, (c) Korrelierte Defektgruppen.

Fig. 2-45: Attenuations of the nonlinear waves in a 2D-plasma crystal: (a, b) solitary waves, (c) correlated defect groups.

the flow. For a finite collision frequency, the potential in the perpendicular direction can become attractive at distances larger than the ion-neutral mean free path if the collision frequency is less than some threshold value. This threshold value is of the order of the ion plasma frequency for subthermal and thermal flow velocities and decreases with increasing the flow velocity.

Determination of the Ion Drag Force in a Complex DC Plasma

The ion drag is an important force acting on microparticles in complex plasmas. In the presence of an ion flow it is caused by the momentum transfer between the ions and the microparticles. There are a number of theoretical investigations on the ion drag with different assumptions and predictions. Therefore an experimental determination of the ion drag force is desirable. First experiments in a complex RF plasma were performed by the Kiel group, supporting the predictions by Khrapak et al.

In the experiment PK-4 a complex DC plasma is produced in a horizontal glass tube. The drift of the charged microparticles due to the axial electric field

Measurement of attractive forces between particles in small clusters

The existence of an attractive force between particles in complex plasma clusters has been predicted in many theoretical works. However so far only one kind of attraction due to ion focusing has been experimentally verified. By trapping small particle clusters in a specially “shaped” RF discharge using a new (segmented) “adaptive electrode”, and by following the 3D particle orbits with a special 3D diagnostic we were able to reconstruct the forces acting on the particles and in particular determine the interparticle forces as a function of particle separation.

We studied clusters containing 4 to 73 particles. Fig. 2-42 show the results of a cluster containing 4 particles with one additional particle which orbited below the cluster. The occasional interactions between one of the cluster particles and the orbiting particle allows us to use a mechanical model, where centrifugal and Epstein forces have been included. The measurements show short range repulsive forces and medium range attractive

forces. We can independently verify this result (in part) by considering the thermal oscillations inside the cluster. Using Fast Fourier Transform the spectrum of particle frequencies is obtained and compared with the normal modes of oscillation. This allows us to derive the gradient of the force at the equilibrium distance. The two estimates are in good agreement (Fig. 2-43).

Investigation of complex plasma crystal structures in the laboratory

We used the PK-3 Plus instrument (designed for operation on the ISS) to perform preliminary experiments in our laboratories. The new plasma chamber design enables us to create plasma crystals with several hundred thousand particles. Fig. 2-44 shows a part of such a crystal. With local structural analysis one can determine the 3-dimensional spatial orientation of the neighbours for each particle. Thus it is possible to specify locally in which structural environment a particle is located. It was observed that the crystal structure changes with time. Measurements were taken for 40 minutes, beginning with the crystal growth. In the segment observable, 1592 particles formed hcp (green) structures, 2098 fcc (red) structures, and 546 were mainly in a liquid-like environment (blue). Since on Earth the particles are partly compressed into the plasma sheath due to gravity, the crystal growth depends strongly on the prevailing conditions and the associated directionality. Under microgravity conditions we expect a more homogeneous nucleation and coalescence of domains. Such experiments are planned on the ISS soon.

Impact of structural inhomogeneity on waves in a 2D complex plasma

Monolayer hexagonal plasma crystals are formed of monodisperse plastic microspheres levitated in a sheath of a radio-frequency discharge. They can sustain linear and nonlinear waves. Using a molecular dynamics simulation we study the effects of the lattice inhomogeneity at different scales on wave propagation. There are three scales of spatial inhomogeneity in a plasma crystal, which affect the wave propagation: The scale of global lattice inhomogeneity due to the confinement potential, the characteristic size of the defect clusters, and the average interparticle distance. The global lattice inhomogeneity (of the lattice number density)

makes the phonon speed variable. It can induce wave front curvature and cause wave steepening at the edge of the crystal ("tsunami effect", Fig. 2-45 a,b). Defect clusters (with a size of up to tens of lattice cells) can scatter waves due to local structure variations. The local crystal structure at the level of an individual lattice cell is responsible for anisotropies in the propagation of the short wave length (high frequency) waves. Nonlinear compressional waves of sufficiently high amplitude produce defects and locally melt the lattice. Wave-induced defect groups propagate with the wave and form correlated wave structures or focusons. We demonstrate that focusons tend to propagate along the lines of close packing in a monolayer hexagonal lattice, amplifying the anisotropy of wave propagation and leading to a weaker decay compared to solitons (by a factor of 2, Fig. 2-45 c).

Wave Spectra in Solid and Liquid Complex Plasmas

We study waves in complex plasmas with varying kinetic temperature in solid and liquid states in order to determine how the phonon spectra change. Experiments are performed in a capacitively coupled RF discharge at low Ar gas pressure. We disperse plastic microspheres (of $8.9 \pm 0.1 \mu\text{m}$ diameter) into the plasma to make a monolayer particle suspension. We control the kinetic temperature and the phase state of the particle suspension by adding a small amount of larger particles (they are levitated a few hundred microns below the main layer and heat it due to an instability). Particle positions viewed by a digital video camera are recorded and traced to calculate their velocities. We use an analytical theory and 2D molecular dynamic simulations to explain the observations.

The wave spectra are computed using Fourier transformation of the particle velocities both in time and space. At lower temperature (strongly coupled plasma), the results match well with those measured previously. As the temperature increases and the phase state of the plasma changes from solid to liquid, the phonon spectra of both longitudinal and transverse modes broaden (especially at high wave numbers) indicating increased damping. The transverse mode disappears and a thermal (compressional) mode appears. MD simulations closely reproduce the results of the experiment.

[ANTONOVA, KOMPANEETS, NUNOMURA, YAROSHENKO ET AL.]

2.5.2 Grundlegende Phänomene – Erste kinetische Untersuchungen / Generic Phenomena – First Kinetic Investigations

Auftreten von kooperativen Phänomenen – kinetische „Nano“-Jets

Das PK-4 Experiment gibt uns die Möglichkeit Modellflüssigkeiten zu studieren, die aus komplexen

Plasmen aufgebaut sind. Da komplexe Plasmen auf dem individuellen Partikelhiveau visualisiert werden können, sind sie perfekt zur Untersuchung des Übergangs von der Dynamik einzelner Teilchen zu kollektivem Flüssigkeitsverhalten geeignet

– ein Bereich, der von beträchtlichen Interesse ist, z.B. für Nanoflüssigkeiten. In diesem speziellen Experiment haben wir das Auftreten von kooperativem Verhalten in dem Fall untersucht, dass ein komplexes Plasma (Flüssigkeit) durch eine Laval (Jet)-Düse strömt (Abb. 2-46). In einer solchen Düse werden alle zufälligen Partikelbewegungen zu einer einheitlichen geradlinigen Bewegung umgewandelt – dem Jet-Effekt. Die Frage ist, wie diese Umwandlung von der Teilchenanzahl abhängt und was der Unterschied zwischen einzelnen Teilchen und kollektivem Verhalten ist.

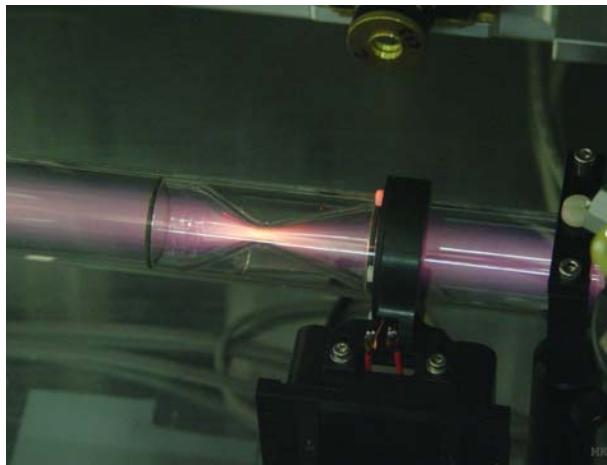


Abb. 2-46: PK-4 Kammer (Parabelflug-Experiment) mit der Laval-Düse im Inneren. Das Plasmaleuchten ist deutlich sichtbar, wie auch die Düsenbegrenzung.

Fig. 2-46: PK-4 chamber (parabolic flight setup) with the Laval-nozzle inside. The plasma glow is clearly seen, as is the nozzle constriction.

Die Experimente wurden während Parabelflugkampagnen unter Schwerelosigkeit durchgeführt. Wir haben sphärische Melamin-Formaldehyd Partikel mit einem Durchmesser von einigen Mikrometern benutzt. Die Partikel werden durch ein DC Neonplasma negativ geladen.

Wir haben sowohl die Geschwindigkeiten der einzelnen Partikel als auch die kollektive Partikelgeschwindigkeit gemessen (Abb. 2-47). Die grüne Linie zeigt die Geschwindigkeit eines einzelnen Teilchens, das die Düse passiert, die blaue Linie zeigt die entsprechenden Resultate für Teilchen innerhalb der Wolke. Der Unterschied in den Geschwindigkeiten aufgrund des kollektiven Effekts ist deutlich zu erkennen.

Entwicklung der Kristallisationsfront – erste kinetische Studien

Die Entwicklung und Ausbreitung einer Kristallisationsfront wurde mit Hilfe von 1D, 2D, und 3D molekulardynamischen Simulationen analysiert. Ähnlich zum Experiment beginnt die Kristallisationsfront in den Simulationen immer am unteren Rand und bereitet sich aufwärts aus. Es ist bemerkenswert,

dass sogar im 2D Fall die Verteilung der lokalen kinetischen Energie viele wichtige in den experimentellen Daten sichtbare Eigenschaften aufweist, wie die komplexe Struktur der Front und die lokalisierten „Temperaturinseln“ (Abb. 2-48). Allerdings kann die quantitative Übereinstimmung zwischen Experiment und Simulationen – bezüglich der Frontgeschwindigkeit – nur mit vollständigen 3D Simulationen erhalten werden (siehe Einsatz in Abb. 2-48). Eine Parameterstudie zeigt dann, dass für eine Übereinstimmung mit der im Experiment beobachteten Wachstumsgeschwindigkeit Partikelladungen im Bereich $(2\text{--}4)\times 10^3$ e notwendig sind, wobei die Abhängigkeit von der Abschirmlänge (Yukawa) ziemlich schwach ist.

Die für 3D Simulationen durchgeführte lokale Strukturanalyse am Beginn der Kristallisation liefert das Resultat, dass nur einige wenige Prozent der Partikel sich im kristallinen Bereich in einem (vermutlich Grundzustand) fcc-Gitter organisieren. Die meisten Teilchen in der Nähe der Front bilden den metastabilen hcp-Zustand.

Scherströmungsinstabilität

Scherströmungen sind weit verbreitet und erscheinen als ein zwangsläufiger Bestandteil von komplizierteren Strömungen. Von besonderem Interesse ist dabei in letzter Zeit die breite Klasse der Nicht-Newtonischen Flüssigkeiten, deren Viskosität eine starke Funktion der Scherrate ist (makromolekulare Flüssigkeiten, Seifenlösungen, usw.) und komplexe Flüssigkeiten charakterisiert durch die Abhängigkeit ihrer Viskosität von der Dichte oder Konzentration der Teilchen oder anderer Einschlüsse (Teilchensuspensionen, Zwei-Phasen-Flüssigkeiten, Kolloide, usw.). Komplexe Plasmen in ihrer flüssigen Phase sind ein exzellentes Medium zur Untersuchung der (Hydro)dynamik von solchen Flüssigkeiten auf dem kinetischen Niveau. Es wurde gezeigt, dass eine neue Instabilität der Scherströmung existiert, die in Nicht-Newtonischen und komplexen Flüssigkeiten angeregt werden kann. Der Mechanismus für die Instabilität ist allgemein: Sie benötigt dichte- und/oder scherabhängige Viskosität und eine zweidimensionale Strömungstopologie. Diese „Bestandteile“ garantieren die Kopplung zwischen strömungsgerichteten und transversalen Geschwindigkeitskomponenten mittels Dichte- und/oder Schervariationen. Die Instabilität kann in jeder beliebigen kompressiblen Flüssigkeit auftreten, vorausgesetzt die Scherrate überschreitet einen kritischen Wert. Der einzige Faktor, der die Instabilität stabilisiert, ist die Flüssigkeitselastizität (Schall).

Kinetische Untersuchungen nahe des kritischen Punkts: Neue Möglichkeiten

Die Kurve, die die flüssige und gasförmige Phase auf einem Phasendiagramm für eine gegebene Substanz begrenzt, kann an einem bestimmten Punkt

enden. An diesem Punkt, kritischer Punkt genannt, sind die zwei Phasen nicht länger unterscheidbar, und in einem weiten Bereich um diesen Punkt gehorchen wichtige Parameter universellen Skalengesetzen. Diese Situation gilt für viele verschiedene Substanzen. Selbstorganisation und Universalitätsklassen sind mit der Theorie der Renormierungsgruppen beschrieben worden (Nobel Preis K. Wilson, 1982).

Um Flüssigkeiten nahe des kritischen Punkts auf dem elementarsten Niveau zu verstehen, sind Messungen von vielen individuellen miteinander wechselwirkenden Partikeln notwendig. Nur dann können wir feststellen, welche Eigenschaften der Verteilungsfunktion für das skalenfreie Verhalten der thermodynamischen Größen verantwortlich sind. Solch ein Detailniveau ist allerdings nicht in konventionellen atomaren Systemen erreichbar. Aus diesem Grunde schlagen wir ein alternatives System für solche Studien vor – komplexe Plasmen, die aus geladenen Mikropartikeln in einem neutralisierenden Plasmahintergrund bestehen.

Unser Startpunkt ist die qualitative Ähnlichkeit in der Wechselwirkung zwischen den Partikeln im Vergleich zur atomaren Wechselwirkung in Flüssigkeiten: beide sind abstoßend (anziehend) bei kurzen (langen) Abständen. Allerdings gibt es einen wichtigen Unterschied: Die Eigenschaften des Wechselwirkungspotentials sind nicht festgelegt, sondern hängen von einer Vielzahl von komplexen Plasmaparametern ab. Die Frage ist deshalb wo der kritische Punkt dieser Systeme für realistische Plasmaparameter liegen wird, z.B. ob er beobachtbar ist. Theoretische Abschätzungen geben eine positive Antwort auf diese Frage. Es kann auch gezeigt werden, dass existierende Messungen im komplexen Plasma unter Schwerelosigkeitsbedingungen an Bord der ISS, die ursprünglich nicht für die Erforschung des kritischen Punkts gedacht waren, schon nahe an den geforderten Bedingungen sind. Falls diese Vermutung durch zukünftige Experimente auf der ISS unterstützt wird, kann unsere Entdeckung eine neue Forschungsrichtung eröffnen – kinetische Untersuchungen nahe des kritischen Punkts.

Onset of co-operative phenomena – kinetic “nano”-jets

The experimental setup PK-4 allows us to study model fluids that are made of complex plasmas. Since complex plasmas can be visualised at the individual particle level, they are perfectly suited for studying the transitions from single particle dynamics to collective fluid behaviour – a regime which is of considerable interest in e.g. nanofluidics. In this particular experiment we studied the onset of co-operative behaviour when a complex plasma (fluid) passes through a Laval(jet) nozzle (Fig. 2-46). In such a nozzle all random particle movements are

converted to directed motion – the jet effect. The question is how does this conversion depend on the number of particles and what is the difference between single particle and collective behaviour.

Experiments were carried out under zero gravity on a parabolic flight campaign. We used spherical Melamine-Formaldehyde particles with a diameter of some micrometers. The particles are charged negatively by a DC Neon-plasma.

We measured the velocities of single particles as well as the collective particle velocity (Fig. 2-47). The green line shows the velocity of a single particle going through the nozzle, the blue line shows the corresponding results for particles within a cloud. The difference in the velocities due to collective effects can be clearly seen.

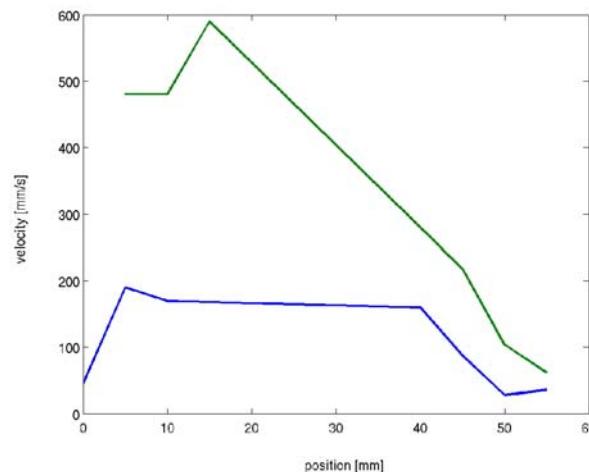


Abb. 2-47: Vergleich von Geschwindigkeiten eines einzelnen Partikels (grün) mit einer Partikelwolke (blau) beim Passieren durch die Düse. Die Düsenmitte befindet sich bei x=35mm. Die Partikel bewegen sich von rechts nach links.

Fig. 2-47: Comparison of velocities of a single particle (green) with a particle cloud (blue) while passing through the nozzle. The nozzle center is located at x=35mm. Particles move from right to left.

Development of crystallization fronts – first kinetic studies

The development and propagation of a crystallization front was analyzed by employing 1D, 2D, and 3D molecular dynamics (MD) simulations. Similar to the experiment, the crystallization front in the simulations always starts from the lower boundary and propagates upwards. It is remarkable that even in the 2D case the distribution of the local kinetic energy exhibits many of the important features seen in the experimental data, such as the complex structure of the front and the localised “temperature islands” (Fig. 2-48). However, the quantitative agreement between experiment and simulations – in terms of the front speed – can only be obtained with full 3D simulations (see inset in Fig. 2-48).

A parameter study then shows that in order to obtain a match with the growth velocity observed in the experiment, particle charges in the range $(2\text{--}4)\times 10^3$ e are required, whereas the dependence on the screening (Yukawa) length is fairly weak.

Shear flow instability

Shear flows are widely spread and appear as an almost inevitable ingredient of more complicated flows. Of particular recent interest is the broad class

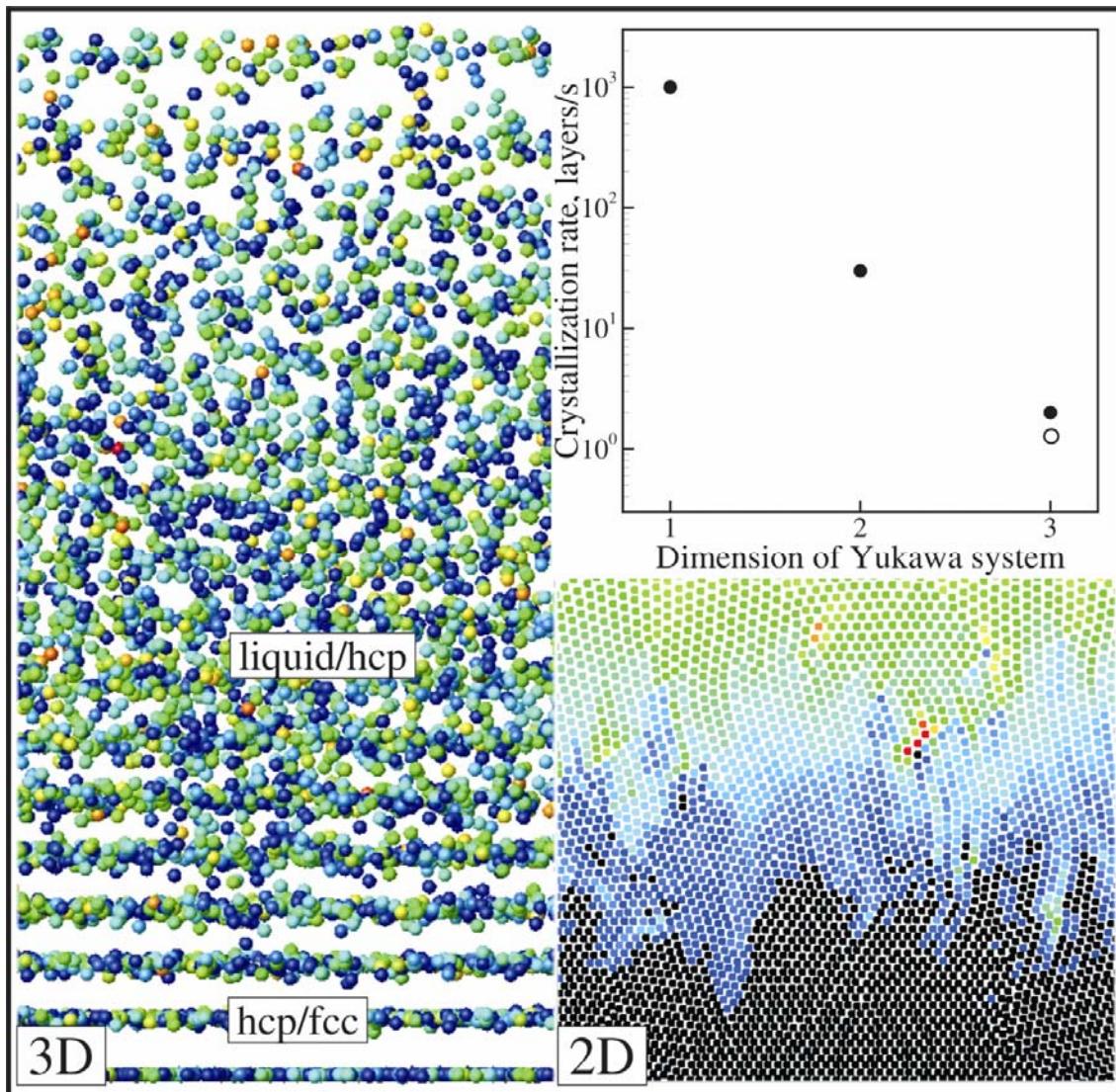


Abb. 2-48: Kristallisierungsfront in einer MD-Simulation. Die Abbildung zeigt die Seitenansicht der Partikelpositionen in 2D und 3D Yukawa-Systemen wobei die Größe der Geschwindigkeit farbkodiert ist – von Schwarz (Raumtemperatur) bis Gelb (Viermal höhere Temperatur). Die Front hat eine komplexe Struktur mit einer Übergangsschicht und kurzlebigen „Temperaturinseln“. Der Einsatz rechts oben zeigt die Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Kristallisierungsfront von der Dimension. Nur die dreidimensionalen Simulationen liefern quantitative Übereinstimmung mit den experimentellen Daten (offener Kreis).

Fig. 2-48: Crystallization front in MD simulations. The figure shows the side-view snapshot of the velocity field and particle positions in 2D and 3D Yukawa systems. The particle velocity is colour-coded – from black (room temperature) to yellow (by a factor four). The front has a complex structure with a transition layer and transient “temperature islands”. The inset above the right panel shows the dependence of the crystallisation front velocity on the dimensionality. Only the 3D simulations provide quantitative agreement with the experimental data (open circle).

The local order analysis performed for 3D simulations at the initial stage of crystallization yields the result that only a few percent of the particles in the crystalline regime organize themselves in a (presumably ground-state) fcc lattice. Most particles in the vicinity of the front form the metastable hcp phase.

of non-Newtonian fluids, whose viscosity is a strong function of the shear rate (macromolecular fluids, soap solutions, etc.), and complex fluids characterized by the dependence of their viscosity on the density or concentration of either particles or other inclusions (particle suspensions, two-phase fluids, colloids, etc.). Complex plasmas in their liquid

phase are an excellent medium to study the (hydro)dynamics of such fluids at the kinetic level. It was shown that there exists a novel instability of the shear flow which can be triggered in non-Newtonian and complex fluids. The instability mechanism is generic: It requires density- and/or shear-dependent viscosity and a two-dimensional flow topology. These “ingredients” ensure coupling between stream-wise and transverse velocity components via density and/or shear variations. The instability can occur in any compressible fluid, provided the shear rate exceeds a critical value. The only factor stabilizing the instability is fluid elasticity (sound).

Kinetic investigations near the critical point: New possibilities

The curve separating liquid and vapor phases on a phase diagram of a given substance can terminate at some point. At this point, called critical point, the two phases are no longer distinguishable, and in a wide domain around it important parameters obey universal scaling laws. This situation applies to many different substances. Self-organisation and universality classes are described using renormalisation group theory (Nobel Prize K. Wilson, 1982).

To understand near-critical fluids at the most elementary level, measurements of many individual interacting particles are required. Only then can we

determine which properties of the distribution function are responsible for the scale-free behaviour of the thermodynamic quantities. Such a level of detail is, however, not attainable in conventional atomic systems. For this reason we propose an alternative system for such studies – complex plasmas, which consists of charged micrograins in a neutralizing plasma background.

Our starting point is the qualitative similarity in interactions between the grains as compared to interatomic interactions in fluids: both exhibit repulsion (attraction) at short (long) distances. There is, however, an important difference: The characteristics of the interaction potential are not fixed, but depend on a variety of complex plasma parameters. The question is, therefore, whether the critical point of these systems could occur for realistic plasma parameters, i.e., whether it is observable. Theoretical estimates give a positive answer to this question. It can also be demonstrated that existing measurements in complex plasmas under microgravity conditions onboard ISS, not designed with critical point research in mind, are close to the needed conditions already. If supported by future experiments on ISS, our finding can open a new direction of research – kinetic investigations near the critical point.

[KHRAPAK, RUBIN-ZUZIC, STEINBERG ET AL.]

2.5.3 Plasmatechnologie und ihre Einsatzmöglichkeiten / Plasma Technology and Applications

Homoepitaxiales Wachstum von Diamanten auf Diamantpartikel

Diamanten haben viele industrielle Anwendungen, wie in der Hochleistungs- und Hochfrequenzelektronik, bei ultraviolettemittierenden Dioden, Flachbildschirmen, usw. Während im Allgemeinen industrielle Diamantenkristalle während der Plasmadeposition auf 2D-Substraten wachsen, untersuchen wir 3D Kristallwachstum eher in dem „wohlwollender“ Hauptplasma als in der Plasmarandschicht. Wir benutzen kommerziell erhältliche Diamantpartikel als Keimkristalle, die oberhalb der Plasmarandschicht levitieren. Dies ist eine wissenschaftlich und technisch interessante Thematik und kann so zu einer preiswerten Herstellung von hoch qualitativen künstlichen Diamanten führen.

Bislang haben wir es geschafft, Kristalle auf den Partikeln bei Benutzung von Methan-Wasserstoff RF-Plasmen wachsen zu lassen. Unser nächster Schritt ist es, sowohl die Kristallisation zu kontrollieren, als auch die Wachstumsrate zu verbessern. Um dies zu erreichen, haben wir eine Heißfilament-Methode auf unser System angewendet, bei der die Gaszerlegung an der Oberfläche eines Wolfram-Glühdrahtes auftritt, der auf 2000°C auf-

geheizt wird. Das hat den zusätzlichen Vorteil, dass die levitierten Partikel auch ausreichend geheizt werden, was der entscheidende Parameter für Diamantenwachstum ist. Außerdem trägt es dazu bei, die Wachstumsrate bei unseren Betriebsbedingungen zu verbessern. Derzeitig werden die Gasphasenbedingungen untersucht, z.B. Betriebsdruck und Gasdurchflussrate. Ferner ist es für ein erfolgreiches homoepitaxiales Wachstum unerlässlich, Keimpartikel mit atomar sauberen und glatten Oberflächen zu benutzen, was eine sachgerechte anfängliche Behandlung erfordert.

Homoepitaxial growth of diamond on diamond particles

Diamonds have many industrial applications, such as high power and high frequency electronics, ultraviolet-emitting diodes, flat panel displays, etc. While in general, industrial diamond crystals are grown in plasma deposition on 2-dimensional substrates, we are investigating 3-D crystal growth in the more “benign” main plasma rather than the plasma sheath region. We use commercially available diamond particles as seed crystals levitating above the plasma sheath region. This is a scientifically and technically interesting topic, and may

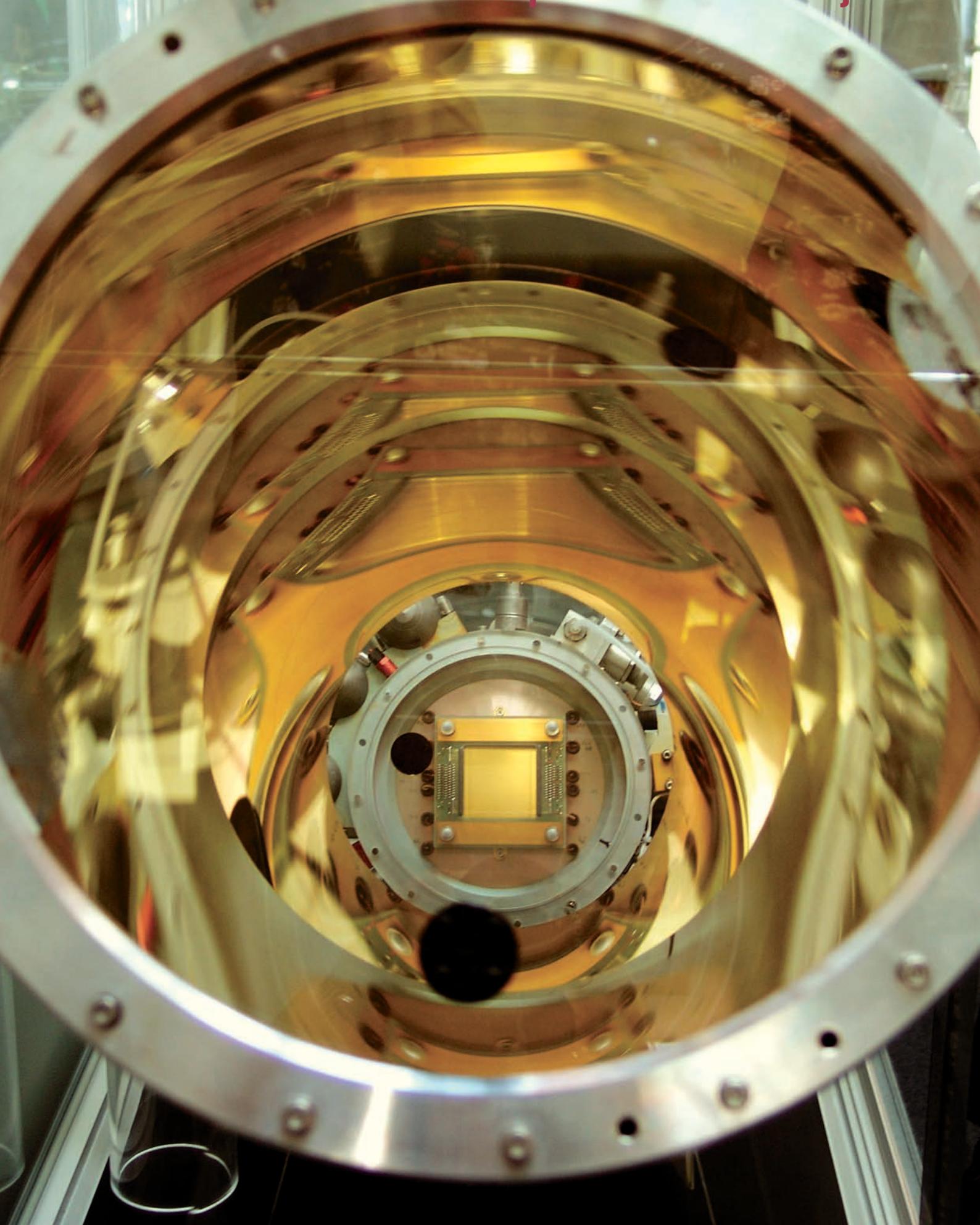
contribute to a low cost fabrication of high quality artificial diamonds.

So far, we have succeeded in crystal growth on the particles using a methane-hydrogen RF-plasma. Our next step is to control crystallization as well as improve the growth rate. To accomplish this, we have applied a hot-filament method to our system where gas decomposition occurs at the surface of a tungsten filament heated up to 2000°C. This has the added advantage that the levitating particles

are also sufficiently heated, which is the important parameter for diamond growth. Moreover, it contributes to improve the growth rate under our operating conditions. Currently, the gas-phase conditions are investigated, i.e. working pressure and gas flow rates. Furthermore, it is necessary and essential for successful homoepitaxial growth to use seed particles with atomically clean and smooth surfaces, requiring proper initial treatment.

[SHIMIZU ET AL.,]

3 Experimente und Projekte Experiments and Projects



3.1 Physik des erdnahen Weltraums / Space physics of the near-earth environment

In diesem Arbeitsbereich des Instituts werden plasmaphysikalische Vorgänge im Sonnensystem untersucht. Dazu werden Experimente eingesetzt, die das Studium solcher Vorgänge „in-situ“ gestatten, vor allem in der Magnetosphäre der Erde und im interplanetaren Raum.

Zur Zeit sind mehrere Experimente zur Bestimmung der Plasmaparameter und der Energie-, Massen- und Ladungszusammensetzung energetischer Ionen mit Beteiligung des MPE auf den Satelliten SAMPEX, FAST, und Cluster, sowie auf der SOHO Raumsonde im aktiven Betrieb. Die Cluster Mission ist, zusammen mit SOHO, der erste „Cornerstone“ des wissenschaftlichen Programms „Horizon 2000“ der ESA. Die Aufgabe von Cluster ist die Untersuchung von Prozessen an Plasma-Grenzschichten in der Magnetosphäre der Erde. Mit insgesamt vier Satelliten mit identischer Instrumentierung, die in einer variablen Tetraeder-Konfiguration fliegen, ist es zum ersten Mal möglich, die Dynamik dieser Grenzschichten, wie z.B. der Bugstoßwelle oder der Magnetopause zu untersuchen, da mit vier Satelliten räumliche und zeitliche Variationen unterschieden werden können (s.a. Kapitel 2.1).

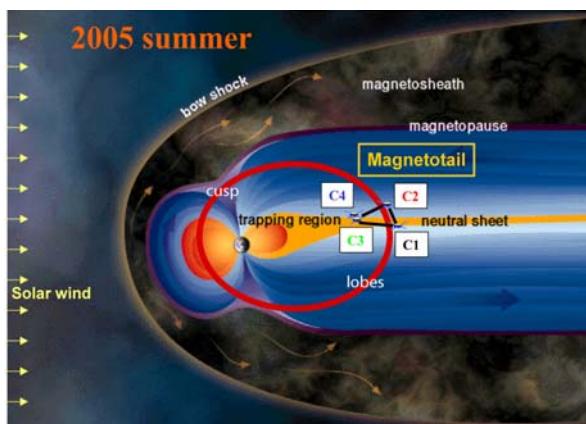


Abb. 3-1: Cluster Umlaufbahn im Sommer 2005

Fig. 3-1: Cluster orbit in summer 2005

Cluster Umlaufbahn: Der Abstand der Cluster-Satelliten wird im Laufe der Mission variiert, um physikalische Phänomene auf unterschiedlichen Skalenlängen in den verschiedenen Gebieten der Magnetosphäre untersuchen zu können. Ab Sommer 2005 wurde eine neue Konfiguration der Satelliten gewählt, in der die Satelliten Cluster 1, 2 und 4 in einer Dreiecksformation großer Skalenlänge (~10000 km) angeordnet sind, wobei die Ebene des Dreiecks im Schweif der Magnetosphäre parallel zur Neutralenschicht orientiert ist (Abb. 3-1). Cluster 3, in einem Abstand von nur

In this branch of the institute we are investigating plasma physical processes inside the solar system. For these studies, we develop scientific instruments for the in-situ investigation of these processes, for example in the magnetosphere of the Earth and in interplanetary space.

Presently we are involved in several active instruments for the determination of plasma parameters and for the measurement of energy-, mass-, and ionic charge distributions of energetic ions onboard the Earth orbiting satellites SAMPEX, FAST, Cluster, and Double Star, and onboard the SOHO observatory. The Cluster mission, together with SOHO, is the first “cornerstone” of ESA’s scientific program “Horizon 2000”. The prime purpose of Cluster is the identification and detailed study of the processes at plasma boundaries of the Earth’s magnetosphere. The four Cluster spacecraft with identical instrumentation fly in a tetrahedral formation when crossing regions of interest. This enables scientists for the first time to study the dynamic of boundaries, like the Earth’s bow shock and magnetopause, because the 4-spacecraft measurements make it possible to distinguish between spatial and temporal variations (e.g. chapter 2.1).

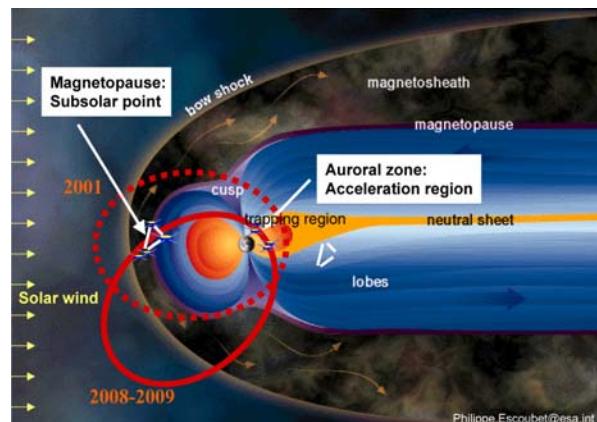


Abb. 3-2: Cluster Umlaufbahn in den Jahren 2008 und 2009.

Fig. 3-2: Cluster orbit in 2008 and 2009.

Cluster Orbit: The distance of the 4 Cluster spacecraft is being varied during the mission to investigate space plasma phenomena on different length scales in different regions of the magnetosphere. Since summer 2005 a new configuration is used in the tail, with Cluster 1, 2 and 4 in a large scale (~10000 km) triangular configuration along and across the neutral sheet (Fig. 3-1). Cluster 3, at a distance of only ~1000 km from Cluster 4, provides at the same time measurements on much smaller scales, perpendicular to the plane defined by the other 3 spacecraft.

1000 km von Cluster 4, ermöglicht gleichzeitig die Untersuchung klein-skaliger Phänomene senkrecht zur Ebene der anderen Satelliten.

Cluster Mission Extension: Wegen des insgesamt guten technischen Zustands von Satelliten und Instrumentierung, der bisher noch nicht ausreichend abgedeckten großen Skalenlängen von ~10000 km und mehr, sowie der neuen Gebiete (z.B. die sub-solare Magnetopause und die erdnahen Beschleunigungsregion in der Aurora), die in der Spätphase der Mission zugänglich werden (Abb. 3-2), wurde die Cluster Mission grundsätzlich um weitere vier Jahre bis Ende 2009 verlängert, wobei für das Jahr 2007 eine weitere Evaluierung vorgesehen ist.

Double Star: Mit der Mission Double Star wurde die Cluster Flotte in den Jahren 2003 und 2004 im Rahmen eines Kooperationsvertrages zwischen ESA und CNSA (Chinese National Space Administration) um zwei weitere Satelliten (TC-1, TC-2) erweitert. Mit den vier Cluster Satelliten und zwei Double Star Satelliten können nun erstmals koordinierte Messungen in der Magnetosphäre mit bis zu 6 Satelliten durchgeführt werden. Der Betrieb der beiden Double Star Satelliten wurde in diesem Jahr bis Dezember 2006 (TC-1) und Juli 2006 (TC-2) verlängert.

Das MPE ist an zwei Instrumenten der wissenschaftlichen Nutzlast von Cluster wesentlich beteiligt, und zwar beim Elektronendrift-Instrument EDI und beim Cluster-Ionen-Spektrometer CIS, wobei einer der beiden CIS Sensoren auch auf dem äquatorialen Double Star Satelliten TC-1 eingesetzt ist (s. a. Jahresbericht 2004).

Cluster Archiv: Dieses Cluster Langzeit-Archiv (CAA: *Cluster Active Archive*) wird von ESA im Rahmen des *International Living with a Star (ILWS)* Programms finanziert und in den Jahren 2004 bis 2007 aufgebaut. Ziel ist, alle relevanten Cluster Daten, insbesondere zur Untersuchung von Sonne-Erde Wechselwirkungen, einer möglichst großen internationalen wissenschaftlichen Gemeinde zur Verfügung zu stellen. In diesem Jahr wurde nach dem Implementation Review mit der Archivierung der EDI Daten begonnen. Bis zum Jahresende werden alle EDI Daten aus den Jahren 2001 und 2002 an das CAA übergeben.

Deutsches Cluster Datenzentrum: Das *Deutsche Cluster Science Data Center (GCDC)* am MPE ist eines der acht europäischen Datenzentren des *Cluster Science Data Systems (CSDS)*. Das GCDC verarbeitet die wissenschaftlichen Daten für die beiden in Deutschland beheimateten Instrumente, *RAPID (Research with Adaptive Particle Imaging Detectors)* des MPS und EDI unseres Instituts. Die resultierenden Datensätze werden mit den anderen Datenzentren ausgetauscht, so dass jedes der Zentren im Besitz der Daten aller Cluster Instrumente ist. Diese Da-

Cluster Mission Extension: In February 2005, the Science Program Committee (SPC) of ESA accepted the proposal for a second extension of the Cluster mission by four years to 2009. This extension will (1) provide more measurements at so far not sufficiently covered large distances of ~10.000 km and more, and (2) provide access to new regions in Earth's magnetosphere in 2008 and 2009, e.g. to the sub-solar magnetopause and to the auroral acceleration region (Fig. 3-2). The final decision for the full extension will depend on the results of a mid-term review in 2007.

Double Star: Based on an agreement between ESA and the Chinese National Space Administration (CNSA), the Cluster fleet has been complemented by two spacecraft of the *Double Star* mission (TC-1, TC-2) in 2003 and 2004. With Cluster and Double Star coordinated measurements with up to 6 spacecraft in the same region of the magnetosphere are now becoming possible for the first time. The operation of the two Double Star spacecraft has been extended this year to December 2006 (TC-1) and July 2006 (TC-2).

MPE has been heavily involved in two instruments of the Cluster science payload: the *Electron-Drift Instrument, EDI*, and the *Cluster Ion Spectrometer, CIS*. One of the two CIS sensors is also implemented onboard the equatorial Double Star spacecraft TC-1.

Cluster Active Archive: The long-term *Cluster Active Archive (CAA)* is supported by ESA in the framework of the *International Living with a Star (ILWS)* program and it will be implemented in the years 2004 to 2007. The purpose of the CAA is, to make all relevant Cluster data available for a large international scientific community, in particular data relevant for the study of sun-earth connections. This year, after the Implementation Review, archiving of EDI data was started and all EDI data sets for the years 2001 and 2002 have been processed and submitted to the CAA.

German Cluster Data Center: The *German Cluster Science Data Centre (GCDC)* located at MPE is one of the 8 National Data Centres building the *Cluster Science Data System (CSDS)*. The GCDC is responsible for processing the scientific data for the German instruments, *RAPID (Research with Adaptive Particle Imaging Detectors)* from the MPS and EDI from our institute. The resulting datasets are distributed among the various data centres such that each centre is in the possession of the data from all Cluster instruments. These data, presently ~50 Gbyte, can then be retrieved from any scientist in Germany participating in the Cluster data analysis via a web-based interface. Currently, there are on average about 1500 requests to the GCDC per month with a total data transfer of about 1 GByte. The GCDC is also responsible for the production of survey plots of all

ten im Umfang von zur Zeit ~50 GByte können dann von allen an der Cluster Mission beteiligten Wissenschaftlern in Deutschland über ein Internet-Interface abgerufen werden. Zur Zeit verzeichnet das GCDC durchschnittlich 1500 Zugriffe pro Monat mit einem Datentransfer von insgesamt ~1 GByte. Das GCDC stellt außerdem Übersichtsplots der Daten aller Cluster Instrumente her, die an die anderen Zentren verteilt werden.

Cluster instruments that are distributed to the other data centres.

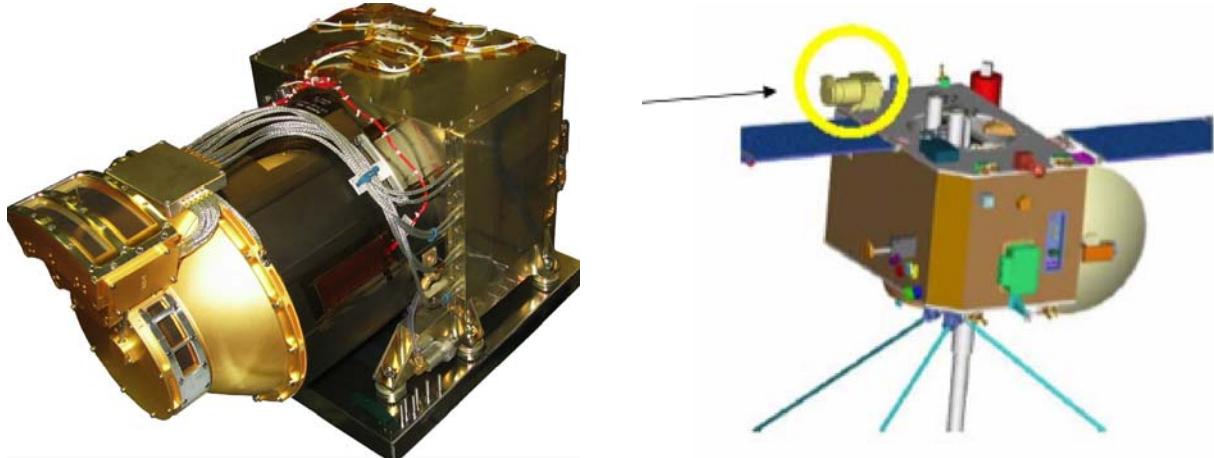


Abb. 3-3: (links) PLASTIC Experiment in Flugkonfiguration; (rechts) Schemabild der STEREO Raumsonde und Montage des PLASTIC Sensors.

Fig. 3-3: (left) PLASTIC sensor in flight configuration; (right) STEREO spacecraft and location of the PLASTIC sensor.

STEREO: Das Experiment *PLASTIC (Plasma und Supra-Thermal Ion Composition)* ist der primäre Sensor für die Untersuchung des solaren Windes und suprathermischer Ionen bei der Mission *STEREO (Solar Terrestrial Relations Observatory)*. Der PLASTIC Sensor basiert auf dem *CIS-CODIF* Sensor auf Cluster, mit wesentlichen Verbesserungen, um Masse, Ionenladung und Energie des solaren Windes und von suprathermischen Ionen im Energiebereich 0.2-100 keV/e bestimmen zu können. In diesem Jahr wurden die Kalibrierung, die Qualifikationstests und die Integration der beiden Flugeinheiten in die STEREO Satelliten abgeschlossen (Abb. 3-3). Der Start von STEREO ist derzeit für Mai 2006 geplant.

STEREO: The *Plasma and Supra-Thermal Ion Composition (PLASTIC)* experiment is the primary sensor on the *Solar Terrestrial Relations Observatory (STEREO)* for studying the Solar Wind and suprathermal particles. STEREO will enable us to study the sun, the solar wind and solar energetic particles from two vantage points, separated in solar longitude by 45° after the first year of operation. PLASTIC is based on the design of the *CIS-CODIF* sensor onboard Cluster, with significant improvements to provide mass, ionic charge, and energy of solar wind ions and of suprathermal particles in the energy range 0.2-100 keV/e. This year the calibration of the 2 flight units, the instrument qualification tests and the integration into the spacecraft was successfully completed (Fig. 3-3). The launch of the 2 STEREO spacecraft is scheduled for May 2006.

The projects Cluster/EDI-CIS (1501073-2499) and Cluster Active Archive (18069/04/NL/NR) have been supported by ESA. The projects Cluster/GCDC (50.OC.0104) and EDI-CIS (50.OC.0001) have been supported by DLR.

Die Projekte Cluster/EDI-CIS (1501073-2499) und Cluster Active Archive (18069/04/NL/NR) wurden von ESA unterstützt. Die Projekte Cluster/GCDC (50.OC.0104) und EDI-CIS (50.OC.0001) wurden von dem DLR unterstützt.

3.2 Infrarot/Submillimeter Astronomie / Infrared/Submillimeter Astronomy

Mit der Installation des PARSEC-Lasers am VLT hat unsere Entwicklung hochauflösender Nahinfrarotinstrumente einen weiteren wichtigen Schritt gemacht. Er folgt der Inbetriebnahme unserer Kamera mit Spektrometer NACO 2002 und unseres feldabbildenden Spektrographen SINFONI 2004 und erhöht deren Leistung weiter. Neue Instrumentenentwicklungen für das Large Binocular Telescope, das 2005 erstes Licht hatte, und für das VLT und seine Interferometrioption sind im Gang. Größte Instrumententwicklung am MPE ist weiterhin die Kamera mit Spektrometer PACS für ESAs Weltraumobservatorium Herschel. So wohl PACS als auch das verwandte Spektrometer FIFI-LS für das Flugzeugobservatorium SOFIA sind in der Testphase.

With the installation of the PARSEC laser at the VLT, our near-infrared high resolution instrumentation program has made another important step, following the commissioning of our adaptive optics camera/spectrometer NACO in 2002 and our integral field spectrograph SINFONI in 2004 and extending the power of these instruments. New instrument developments are underway both for the Large Binocular Telescope which saw first light this year, and for the VLT and its interferometric facility. The largest instrument development effort at MPE continues to be the far-infrared camera/spectrometer PACS for ESA's Herschel Space Observatory. Both PACS and the related FIFI-LS spectrometer for the SOFIA airborne observatory are in instrument testing.

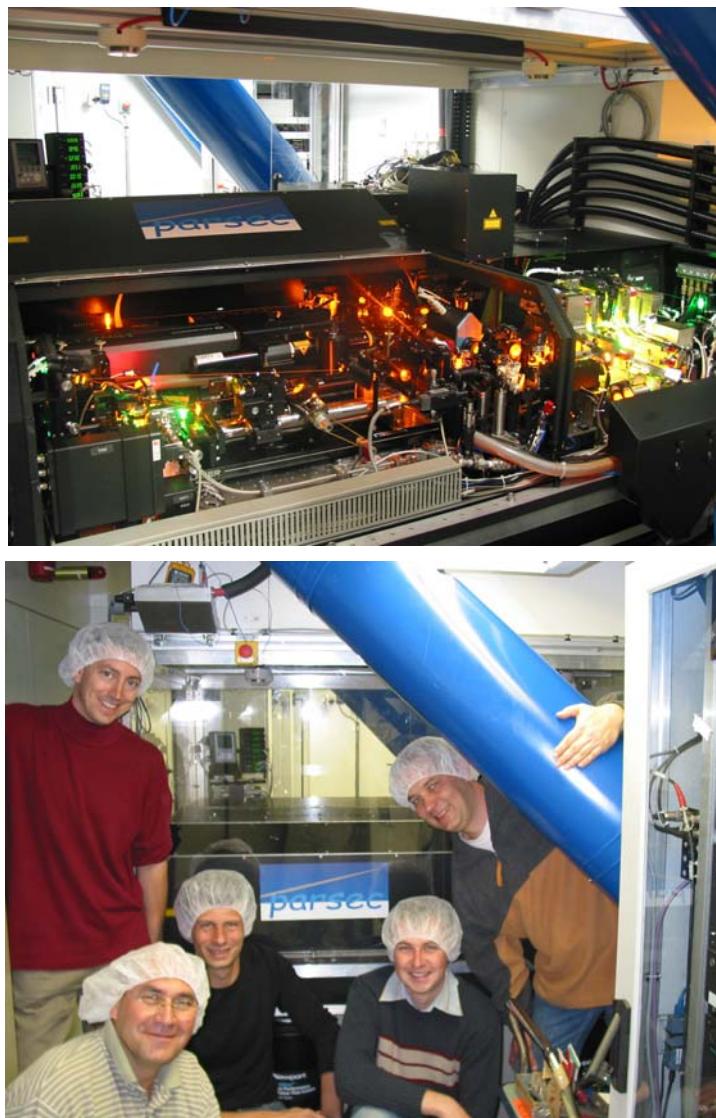


Abb. 3-4: Oben: Der PARSEC-Laser in Betrieb im Reinraum unter der Nasmyth-Plattform des VLT UT4. Unten: Das Team des MPE nach erfolgreicher Installation.

Fig. 3-4: Top: The PARSEC laser operating in the Clean Room under the Nasmyth platform of the VLT UT4. Bottom: The MPE team after successful installation.

In einer 3-wöchigen Kampagne am Paranal-Observatorium im Herbst 2005 haben wir erfolgreich unseren **PARSEC**-Laser installiert, der das Herz der Laserleiterneinrichtung (LGSF) am VLT UT4 ist (Abb. 3-4). Der stabile und leistungsstarke Laserstrahl erzeugt nach Projektion in die mesosphärische Natriumschicht einen künstlichen Leitstern, der es den Instrumenten mit adaptiver Optik NACO und SINFONI erlauben wird, hohe räumliche Auflösung selbst bei schwachen Objekten zu erzielen. Den größten Teil des Jahres war PARSEC im Labor am MPE für ausführliche Tests und Verbesserungen des Strahltransports und des Projektionsteleskops, die von ESO entworfen und gebaut wurden. Nach der Abnahme der gesamten LGSF durch ESO wurde PARSEC in 23 Kisten mit einem Gesamtgewicht von fast 3 Tonnen nach Chile versandt. Nach Installation im Laserreinraum am Teleskop lieferte PARSEC wiederum 14W Laserleistung in der gelben Natriumlinie, und absolvierte erfolgreich Tests der ferngesteuerten Ausrichtung. Die LGSF selbst soll im Januar 2006 in Betrieb gehen; danach folgen Tests mit den beiden Instrumenten mit adaptiver Optik mit dem Ziel, dass allgemeine Beobachtungen mit der LGSF später im Jahr beginnen können.

During an intensive 3 week mission at the Paranal Observatory in autumn 2005 we successfully installed at the telescope our **PARSEC** laser, which forms the heart of the Laser Guide Star Facility (LGSF) on the 8-m VLT UT4 (Fig. 3-4). The laser provides a stable high power laser beam which, when projected into the mesospheric sodium layer, creates an artificial guide star that will allow the adaptive optics instruments NACO and SINFONI to achieve very high spatial resolution even on faint science targets. During most of 2005, PARSEC was used in the laboratory at MPE for extensive tests and optimization of the Beam Relay System and Launch Telescope, which were designed and built by ESO. Following the acceptance by ESO of the LGSF as a whole, PARSEC was shipped to Chile in 23 crates which together weighed nearly 3 tonnes. When it had been installed in the Laser Clean Room on the telescope, PARSEC was once again able to produce 14W of laser power in the yellow sodium line, and performed well during the remote alignment tests. Commissioning of the LGSF by itself is planned for the end of January 2006 followed by initial tests involving both adaptive optics systems, with the aim that general observing with the LGSF might begin later in the year.

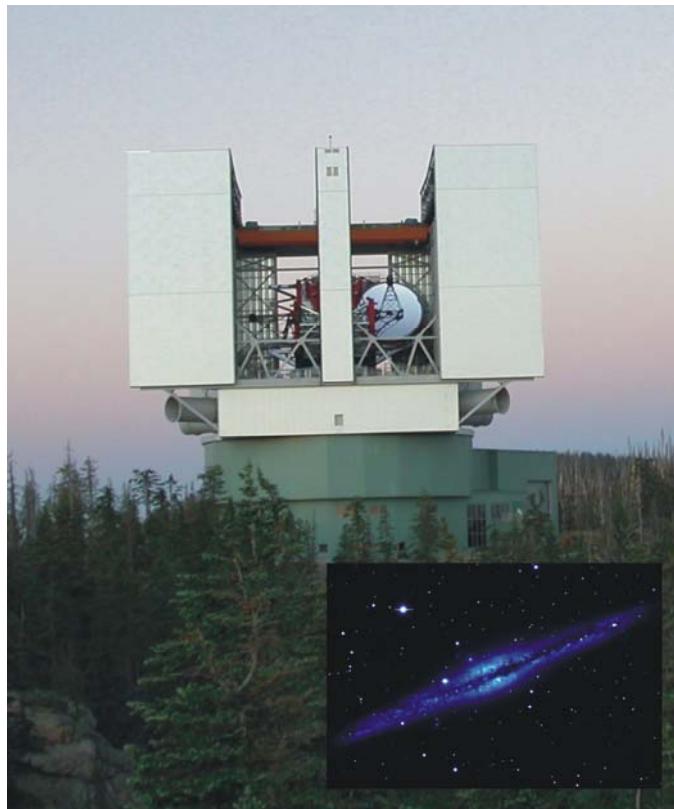


Abb. 3-5: Das Large Binocular Telescope mit dem ersten 8,4m-Spiegel bei Sonnenuntergang. Einsetz: Das mit der Large Binocular Camera aufgenommene „Erstes Licht“-Bild der Spiralgalaxie NGC891.

Fig. 3-5: The Large Binocular Telescope at sunset showing the first 8.4m primary mirror. Inset: The “first light” image of the spiral galaxy NGC 891 taken with the Large Binocular camera.

Das Large Binocular Telescope (LBT) hatte am 12. Oktober 2005 „erstes Licht“, einen wichtigen Schritt auf dem Weg zu exzellenter Astrophysik mit dem LBT (Abb. 3-5). Seine Sammelfläche wird größer als bei jedem existierenden oder geplanten Einzelteleskop sein. Noch wichtiger ist, dass das „zweiäugige“ LBT einzigartige Möglichkeiten für hochauflösende Infrarotaufnahmen bieten wird, schärfer als die Bilder des Hubble Space Telescope. MPE und andere deutsche Institute haben einen 25%-Anteil am LBT.

LUCIFER kombiniert Kamera und Spektrograph für das nahe Infrarot (1 bis 2.5 µm) für beugungs- und seeing-begrenzte Beobachtungen am LBT. Zwei identische Versionen des Instruments sollen an den beiden Teleskopen betrieben werden. LUCIFER wird von einem deutschen Konsortium unter Führung der Landessternwarte Heidelberg gebaut. Das MPE ist für die Multi-Objekt-Spektroskopie Einheit (MOS-Einheit) des Spektrographen zuständig.

Ein wesentliches Merkmal von LUCIFER ist die Fähigkeit zur Multi-Objekt-Spektroskopie, von gleichzeitig 20 bis 40 Objekten innerhalb des Gesichtsfeldes von 4x4 Bogenminuten. Dafür werden Masken benötigt, in die am Ort der Bilder der zu beobachtenden Objekte kurze Spalte geschnitten werden. Die MOS-Einheit wechselt im -200°C kalten Instrument die Spaltmasken zwischen einem Magazin mit bis zu 23 Masken und der Fokalebene des Teleskops aus und erlaubt außerdem den Austausch eines mit Masken gefüllten Magazins ohne den Kryostaten aufwärmen und das Vakuum brechen zu müssen.

Alle Komponenten der MOS-Einheit für das erste LUCIFER-Instrument konnten in diesem Jahr fertig gestellt werden, ebenso die beiden Hilfskryostaten. Auch Komponenten für LUCIFER 2 wurden bereits gefertigt bzw. beschafft. Die Klemmvorrichtung in der Fokalebene und der Roboter wurden bei Zimmertemperatur und bei -200°C in einem Testkryostaten ausführlich getestet. Die anderen Komponenten können erst nach der endgültigen Verkabelung der MOS-Einheit im LUCIFER-Kryostaten getestet werden, der Anfang 2006 von der Landessternwarte Heidelberg an das MPE geliefert werden soll.

KMOS, ein abbildender Multiobjektspektrograph für das nahe Infrarot wird als Instrument der zweiten Generation für das VLT mit Beteiligung der Infrarotgruppe und der Gruppe für interpretative Astronomie des MPE gebaut. Um Entstehung und Entwicklung von Galaxien bei hoher Rotverschiebung untersuchen zu können, umfasst das Instrument 24 kleine feldabbildende Einheiten, die über ein Gesichtsfeld von 7.2 Bogenminuten verteilt werden können. Mit einer spektralen Auflösung R~3500 kann das J-, H- oder K-Band vollständig abgedeckt werden. Aufbauend auf

The **Large Binocular Telescope (LBT)** achieved “first light” on 12 October 2005. “First light” is an important milestone towards using the LBT for outstanding astrophysical research (Fig. 3-5). The LBT will have a collecting area larger than any existing or planned single telescope. More importantly, the binocular configuration provides unique capabilities for high resolution near-infrared imaging, exceeding the resolution of the Hubble Space Telescope. MPE and other German institutes hold a 25% share in LBT.

LUCIFER combines a near-infrared (1 to 2.5 µm) camera and a spectrograph for seeing and diffraction limited observations at the LBT. Two identical versions of the instrument are being built, one for each of the two telescopes. LUCIFER is being built by a German consortium led by the Landessternwarte Heidelberg. MPE is responsible for the multi-object-spectroscopy unit (MOS-unit).

An essential feature of LUCIFER is the multi-object-spectroscopy ability permitting to take spectra of typically 20 to 40 objects within the field of view of 4x4 arcmin simultaneously. Special field masks are required for MOS observations, with slitlets at the image location of the objects to be observed. In the inside instrument cooled to -200°C, the MOS unit exchanges the slit masks between a storage cabinet with up to 23 masks and a clamp mechanism in the telescope focal plane area. It also handles the mask cabinet exchange between the LUCIFER cryostat and an auxiliary cryostat without warming up and breaking the vacuum of LUCIFER.

All MOS-unit components for the first LUCIFER instrument have been completed during this year, including the two auxiliary cryostats. Also, several components for LUCIFER 2 have been manufactured or procured. Extensive warm and cold tests of the focal plane clamp unit and the robot have been done in a test cryostat. The other components can be tested only after final wiring of the MOS-unit which requires an original LUCIFER cryostat. This cryostat is planned to be delivered by the Landessternwarte in Heidelberg to MPE early 2006.

KMOS, a second generation instrument for the VLT, is a near infrared multi-object integral field spectrograph in which MPE is participating through both the Infrared Group and the Optical and Interpretative Astronomy Group. In order to study the formation and evolution of high redshift galaxies the instrument comprises 24 small integral field units, which can be deployed freely within a 7.2 arcminute patrol field. Spectrally, any of the J, H, or K bands can be covered fully at a resolution of R~3500. Building on our success with SINFONI, the Infrared Group is designing

unserem Erfolg mit SINFONI entwickelt die Infrarotgruppe die Datenanalysesoftware. KMOS wird die vorläufige Entwurfsprüfung im März 2006 durchlaufen und soll 2010 in Betrieb gehen.

Zur Erweiterung unserer hochauflösenden Infrarotbeobachtungen haben wir Entwicklungen interferometrischer Instrumente begonnen. 10m-Teleskope können keine Objekte kleiner als 0.05 Bogensekunden auflösen. Die Grenze kann durch interferometrische Zusammenführung des Lichts zweier oder mehrerer Teleskope überwunden werden. Die Auflösung ist dann durch den Abstand der Teleskope statt durch ihre Größe bestimmt. Das ehrgeizigste Projekt der bodengebundenen optischen Interferometrie ist das Very Large Telescope der ESO. Es kann das Licht von bis zu vier 8m-Teleskopen zusammenführen um eine Winkelauflösung von etwa 0.005 und eine Positionsgenauigkeit von weniger als 0.0001 Bogensekunden zu erreichen. Die Max-Planck-Gesellschaft war stets an diesem Unternehmen beteiligt. Im letzten Jahr hat die Infrarotgruppe ihre Rolle durch Teilnahme am PRIMA-Projekt wesentlich ausgedehnt. Sein Ziel sind interferometrische Beobachtungen schwacher Objekte durch Nachführung der Beugungsstreifen. Für Tests des dazu nötigen „Fringe Trackers“ haben wir einen Laboraufbau entwickelt. Dieses „**PRIMA Testbed**“ stellt die Funktion zur Kompensation optischer Weglängenunterschiede zwischen den Strahlen zweier Teleskope und Elemente zur Simulation atmosphärischer Störungen und instrumenteller Effekte zur Verfügung. Ab 2006 wird ein gemeinsames Team ESO/MPE die Fringesensoren von PRIMA testen.

Parallel dazu haben wir die wissenschaftliche Nutzung dieser Technik durch Modellierung von Beobachtungen des schwarzen Lochs im galaktischen Zentrum fortgesetzt. Mit der Genauigkeit der Infrarotinterferometrie kann die Physik nahe am Schwarzschild-Horizont untersucht werden. Da die Anforderungen noch zehnfach über den bisherigen Spezifikationen liegen, hat das MPE zusammen mit dem Pariser Observatorium und der Universität Köln die Entwicklung eines neuen **GRAVITY** genannten Instruments begonnen. Das Instrument wurde ESO Anfang 2005 vorgeschlagen, eine Phase-A-Studie soll 2006 folgen.

Eine weitere Möglichkeit, die Winkelauflösung eines Teleskops zu erhöhen, ist zwei Spiegel in einer Montierung zu kombinieren. Diese Technik wird im Large Binocular Telescope verfolgt. Die Kombination seiner beiden 8m-Spiegel wird die Winkelauflösung um einen Faktor 4 gegenüber dem Einzelteleskop erhöhen. Im Vergleich zum VLT wird die Interferometrie mit dem LBT die Abbildung wesentlich größerer Felder erlauben. Sie ist deshalb ideal für abbildende Spektroskopie kleiner Objekte geeignet, ähnlich unserem

and implementing the data reduction software. KMOS will have its Preliminary Design Review in March 2006, and is planned to be commissioned in 2010.

We have started developments of interferometric instruments in order to extend our near-infrared high spatial resolution studies. Present 10m-class telescopes cannot resolve objects smaller than 0.05 arcseconds. This limitation can be overcome by interferometric combination of the light from two or more telescopes. The angular resolution is then determined by the distance between the telescopes instead of their size. The most ambitious project for ground-based optical interferometry is the ESO Very Large telescope. Here the light of up to four single 8m Telescopes can be combined to achieve an angular resolution of approx. 0.005 arcseconds, and a position accuracy of better than 0.0001 arcsec. The Max-Planck-Society is engaged from the very beginning in this endeavor. During the last year the infrared group significantly extended its role through the participation in the PRIMA project. The PRIMA project aims at enabling interferometric observations of faint objects by the technology of fringe tracking. For the purpose of testing and characterizing the so-called PRIMA fringe-tracker we have built a dedicated laboratory setup. This “**PRIMA Testbed**” provides the functionality for compensation of optical path length between the beams from two telescopes, and elements to simulate atmospheric disturbance and instrumental limitations. Starting in 2006, a joint ESO/MPE team will then test the PRIMA fringe-sensors.

In parallel the planning for the scientific use of this new technique has been pushed forward with modeling of observations of the black hole in the galactic center. With the accuracy of infrared interferometry we will be able to directly probe the physics close the Schwarzschild horizon. Since the requirements are another factor ten beyond the present specifications, MPE in collaboration with the Paris Observatory and the Cologne University has started the development of a new instrument called **GRAVITY**. The instrument was proposed to ESO in the beginning of 2005, and a detailed phase-A study will follow in 2006.

Another possibility to enhance the angular resolution of a telescope is to combine two mirrors in a single mount. This technique has been followed in the Large Binocular Telescope. Combining the light from its two 8m mirrors will improve the angular resolution by a factor 4 compared to a single telescope. Compared to the VLT, the LBT interferometry will allow the imaging of much wider fields. It is therefore ideally suited for the imaging spectroscopic study of small objects, similar to our adaptive optics assisted integral field spectrometer SINFONI. MPE and the Co-

von adaptiver Optik unterstützten feldabbildenden Spektrometer SINFONI. MPE und die Universität Köln haben deshalb eine gemeinsame Studie zur Ausrüstung des interferometrischen Fokus des LBT mit einem feldabbildenden Spektrometer begonnen, mit dem Ziel eines Grobentwurfs bis Ende 2006.

logne University have therefore started a joint study to enhance the interferometric focus of the LBT with an integral field spectrometer with the goal to have a conceptual design by the end of 2006.

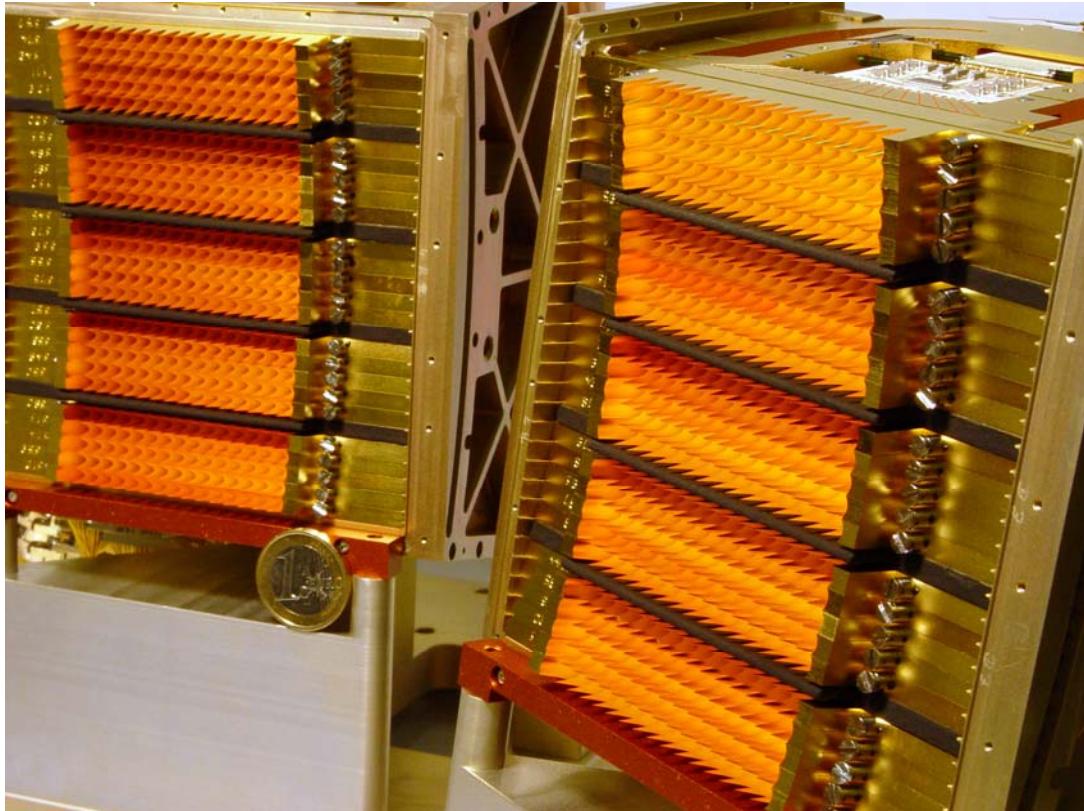


Abb. 3-6: Die weltgrößten Anordnungen von Photoleitern für das ferne Infrarot, fertiggestellt 2005 für unser Spektrometer in PACS.

Fig. 3-6: The worldwide largest far-infrared photoconductor arrays, completed in 2005 for our PACS spectrometer.

Für das **Herschel Space Observatory** der ESA trägt das MPE als PI-Institut eines europäischen Konsortiums aus 15 Instituten in 6 Ländern die Verantwortung für Bau und Betrieb eines der drei Fokalebeneninstrumente. **PACS** (Photodetector Array Camera & Spectrometer) ist ein abbildendes, kombiniertes Photo/Spektrometer für den Wellenlängenbereich 57–210 µm. Wir verfolgten 2005 hauptsächlich Integration und Tests des bereits fertigen Qualifikationsmodells in einem weitgehend flugrepräsentativen Kryostaten beim Satelliten-Hersteller Astrium (Ottobrunn) sowie Bau und Integration des Fluginstruments und Charakterisierung seiner Untereinheiten (Abb. 3-6 und 3-7).

Fertigung und Integration der Baugruppen ergeben einige Überraschungen, die eigentlich nach der Erfahrung mit dem Qualifikationsmodell nicht mehr hätten auftreten sollen. Besonders betroffen waren beide Arten von Detektoren an Bord, die von uns zusammen mit ASTEQ (Kelkheim, D) und IMEC (Leuven, B) für das PACS

For ESA's **Herschel Space Observatory**, MPE as the PI-institute in a European consortium of 15 institutes from 6 countries is taking the lead in the construction and operation of one of the three focal plane instruments. **PACS** (Photodetector Array Camera & Spectrometer) is a combined imaging photo/spectrometer for the wavelength range 57–210 µm. In 2005, we were mainly pursuing integration and tests of the completed qualification model inside a largely flight-representative cryostat at the manufacturer of the satellite, Astrium (Ottobrunn), as well as manufacturing and integration of the flight model and characterization of its subunits (Fig. 3-6 and 3-7).

Manufacturing and integration of the subunits have triggered some surprises, which in principle should not have occurred given the experience with the qualification model. In particular affected were both types of detectors on board, the photoconductor arrays built by us in collaboration with ASTEQ (Kelkheim, D) and IMEC (Leuven, B) for the PACS spectrometer as well as the Bolometer

Spektrometer gebauten Photoleiterarrays wie auch die von CEA (Saclay, F) für das PACS Photometer beigestellten Bolometerarrays.

arrays provided by CEA (Saclay, F) for the PACS photometer.



Abb.: 3-7: PACS beim Einbau in den Kryostaten für den EQM-Test.

Fig. 3-7: PACS during installation into the cryostat for EQM testing.

Für die Photoleiterarrays des Flugmodells hat IMEC eine neue Generation kryogener CMOS-Ausleselektronik entwickelt, die gegenüber dem Qualifikationsmodell das Eingangrauschen entscheidend verringert. Die verwendeten Methoden machen den Schaltkreis aber anfälliger für Schäden durch elektrostatische Aufladung. Nachdem über die Hälfte der fertigen Detektormodule defekt waren, musste jeder Handhabungsschritt auf Gefahrenmomente untersucht werden. Durch Einführung vieler Präventionsmaßnahmen unter extremem Zeitdruck konnten schließlich gegen Ende des Jahres die Arrays erfolgreich fertig gestellt werden, gerade noch rechtzeitig zur Integration in das Instrument. Erfreulicherweise ist mit dem neuen Schaltkreis die Empfindlichkeit der Detektoren nun hauptsächlich durch das fundamentale Photonerauschen limitiert; die besten gemessenen Rauschwerte waren einige 10^{-18} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$.

Ebenfalls unerwartet entwickelte sich der Bau der Bolometereinheit für das Flugmodell zur Zitterpartie. Nach den Messungen am Qualifikations-

For the flight model photoconductor arrays, IMEC has developed a new generation of cryogenic CMOS readout electronics, which has lowered the input noise decisively with respect to the qualification model. The measures taken have made the circuit more sensitive to damage by electrostatic discharge, however. With more than half of the completed detector modules found damaged, each handling step had to be scrutinized for risk factors. By introducing many preventive measures under extreme schedule pressure it was finally possible to successfully complete the arrays at the end of the year, just in time for integration into the instrument. Reassuringly, with the new circuit the sensitivity of the detectors is now in fact mainly limited by the fundamental photon noise, the best noise values measured were several 10^{-18} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$.

Equally unexpected, the manufacturing of the flight model bolometer unit developed into a tight match. After measurements for the qualification model an optimisation of the thermometer elements in the bolometers was deemed necessary,

modell wurde eine Optimierung der Thermometerelemente in den Bolometern angestrebt und die Siliziumwafer entsprechend von unseren Partnern bei CEA in Fertigung gegeben was eine komfortable Zahl von Bolometerelementen ergeben sollte. Umso größer war die Besorgnis, als sich nach ersten Tests herausstellte, dass nur ein einziger Wafer mit 11 Bolometerelementen innerhalb der Spezifikation lag, genau eines mehr als zur Bestückung beider Arrays benötigt wird! So kann man fast von einem kleinen Wunder sprechen, dass unseren französischen Kollegen unter diesem Erfolgsdruck die vollständige Bestückung beider Arrays gelang – wenn auch erst nach einer risikanten „Bypass-Operation“ am bereits fertig integrierten Array. Und so wird PACS über das mit 32x64 Pixeln größte je gebaute Ferninfrarot-Bolometerarray verfügen können.

Nach der Ablieferung des Qualifikationsmodells von PACS an ALCATEL/ASTRIUM Ende 2004 begann dieses Jahr mit der Integration der warmen Elektronik in das EQM Payload-Modul und der Fokaleinheit in den Herschel-Kryostaten. Die Verbindung der Fokaleinheit mit der Elektronik wurde erstmals mit dem EQM Satellitenkabelbaum aus mehr als 1200 Leitungen durchgeführt. Unmittelbar zu Beginn des „Integrated Module Test“ wurde ein rätselhaftes thermisches Verhalten der Fokaleinheit von PACS und später beim SPIRE-Instrument festgestellt. Durch zwei Lecks eindringende Helium bildete an den kältesten Stellen einen superflüssigen, thermisch leitenden Film, der den Thermalhaushalt der Instrumente dominierte. Durch eine schwierige Reparatur am Einfüllstutzen und Kühlung durch externen Heliumdurchfluss konnte schließlich ein akzeptables Thermalverhalten erreicht werden. Weitere Tests prüften die Empfindlichkeit des Instruments gegen elektromagnetische Störungen. PACS ist nicht für elektrische Felder empfindlich. Die Bolometer-Detektoren zeigten jedoch eine Beeinträchtigung durch magnetische Felder. Wir bestimmen zur Zeit die genauen Schwellwerte, während der Satellitenhersteller prüft, welche tatsächlichen Pegel im Flugmodell auftreten werden, denn die getesteten Felder hatten einen großen Sicherheitsaufschlag. Die Ursache eines unerwartet hohen Infrarothintergrunds im EQM Kryostaten konnte noch nicht voll geklärt werden, jedoch ist die Abweichung Grund genug für die ESA, den Flugkryostaten erneut zu analysieren.

Zum Einsatz auf dem Flugzeugobservatorium SOFIA, einer Boeing 747SP, die zur Aufnahme eines 2.7m Spiegelteleskops angepasst wird, bauen wir zur Zeit das abbildende **Ferninfrarot-Spektrometer FIFI LS** (Field-Imaging Far-Infrared Line Spectrometer). FIFI LS wird eines der bei den ersten Flugserien von SOFIA genutzten Instrumente sein.

and the silicon wafers production started accordingly by our partners at CEA. By all expectations, this should have provided a comfortable number of bolometer elements. The bigger the worries were when first tests showed that only a single wafer with 11 bolometer elements was found inside specifications, exactly one more than needed to equip both arrays! Hence it can be almost considered a minor miracle that our French colleagues succeeded under this pressure in complete assembly of both arrays – if only after a risky “bypass operation” for an already completely integrated array. Finally, PACS will be equipped with the largest far-infrared bolometer array ever assembled, with 32x64 pixels.

After delivery of the qualification model of PACS to ALCATEL/ASTRIUM end of 2004 we started this year with the integration of the warm electronics into the EQM payload module and of the focal plane unit into the Herschel cryostat. Connection of the focal plane unit with the warm electronics was for the first time realised with the EQM harness including more than 1200 wires. Right after the start of the “Integrated Module Test”, an enigmatic thermal behaviour was noticed for the focal plane unit of PACS and later also for the SPIRE instrument. Helium entering the cryostat through two leaks formed a superfluid, thermally conducting film at the coldest spots, which dominated the thermal budget of the instruments. Through a difficult repair of the filler neck by industry and cooling by external helium flow an acceptable thermal behaviour could finally be reached. Further tests probed the susceptibility of the instrument to electromagnetic interference. PACS is not sensitive to electric fields. Bolometer data indicate, however, adverse effects by magnetic fields, as already seen at instrument level. We are currently determining the exact thresholds while the satellite manufacturer is investigating the actual levels expected for the flight model – the tested fields had a large safety margin. The origin of an unexpectedly high infrared background inside the EQM cryostat could not yet be identified fully. The deviations are sufficient reason for ESA, however, to reanalyse the flight cryostat.

We are presently building the **far-infrared spectrometer FIFI LS** (Field-Imaging Far-Infrared Line Spectrometer) for use on the airborne observatory SOFIA. SOFIA is a Boeing 747 SP which has undergone extensive modifications to host a 2.7m reflective telescope. FIFI-LS will be one of the instruments used during the first SOFIA flight series.

FIFI-LS kann Bilder in wählbaren Spektrallinien im fernen Infrarot aufnehmen. Zwei unabhängige Gitterspektrometer erlauben die gleichzeitige Beobachtung in einer Linie zwischen 42-110 μ m und 110-210 μ m. Die Bilder umfassen 5x5 „räumliche“ Pixel und für jedes dieser räumlichen 16 „spektrale“ Pixel. Jedes Spektrometer besitzt einen Detektor aus 16x25 Pixeln aus galliumdotiertem Germanium. Solche Ferninfrarotdetektoren sind nicht kommerziell erhältlich, sondern werden in Eigenentwicklung aus je 1x1x1.5mm großen Kris-tallen hergestellt.

Mittlerweile nähert sich die Entwicklung von FIFI LS dem Ende. In Laufe des Jahres wurden alle wichtigen Teile für das langwellige Spektrometer auf Komponentenebene getestet. Insbesondere haben wir die Optik im Kryostaten aufgebaut, justiert und einem Abkühltest unterzogen. Dabei haben wir außerdem gezeigt, daß die Gitter und Filter die geforderten optischen Eigenschaften aufwiesen. Parallel dazu wurde die Entwicklung der Detektoren und Ausleseelektronik vorangetrieben und die Entwicklung der Steuer- und Aus-lese-Software abgeschlossen.

Seit Mitte 2005 wird im Rahmen der Kooperation zwischen dem MPE und der Universität von Kalifornien, Berkeley, ein Labor vorbereitet, das FIFI LS während seiner Betriebsphase aufnehmen wird und von wo aus es für die Flüge zum Ames Research Center der NASA gebracht werden kann, in dem SOFIA stationiert ist.

Unsere Forschungsaktivitäten an **Photoleitern auf GaAs-Basis** verfolgen wir mit Unterstützung der NASA und in Zusammenarbeit mit der University of California Berkeley, Lawrence Berkeley National Laboratory und Naval Postgraduate School in Monterey. Das Ziel ist die bis jetzt unerreichte Herstellung eines Detektors mit einer Erweiterung des langwirrigen Ansprechvermögens bis auf 330 μ m. Nach langjährigen Anstrengungen wurde 2005 ein wesentlicher Entwicklungs-schritt reproduzierbar erreicht, nämlich die epitaktische Herstellung der für einen BIB (Blocked Impurity Band) Detektor notwendigen hoch-reinen Sperrsicht. Dieses wichtige Ergebnis wurde sowohl in einer kleinen Versuchskammer wie auch in der später für größere Arrays vorge-sehenen Zentrifugen-anlage erzielt. Die optimale Dotierung der infrarot-aktiven GaAs Absorptions-schicht haben wir bereits theoretisch und experi-mentell gefunden. Zur Zeit arbeiten wir an der noch zwingend notwendigen Reduzierung der Minoritäts-Ladungsträger in der aktiven Zone. Erste Vielfachschichten in BIB Struktur, herge-stellt mit ionenimplantierten Absorptionsschichten, sollen weitere Einsichten in die kritischen Materialeigenschaften vermitteln.

FIFI-LS can take images in freely selectable spectral lines in the far-infrared. Two independent grating spectrometers permit simultaneous ob-servations of a source in one line each in the wavelength ranges 42-110 μ m and 110-210 μ m. Each image includes 5x5 “spatial” pixels and for of these spatial 16 “spectral” pixels. Each spec-trometer contains a detector build of 16x25 gal-lium doped germanium pixels. Such far-infrared detectors are not commercially available but have to be assembled in an own development from single 1x1x1.5mm crystals.

In the meantime the development of FIFI-LS is approaching its end. This year, all major compo-nents for the long wave spectrometer have been tested on component level. In particular we have assembled and adjusted the optics inside the cryostat and completed a cold test. During the first tests we have also demonstrated the re-quired optical properties of the gratings and filters. In parallel we have continued development of the detectors and read-out electronics and completed development of the control and read-out software.

Since middle of 2005 we are preparing in the framework of the collaboration between MPE and University of California, Berkeley a laboratory which will host FIFI-LS during its operational phase and from which it will be brought for flights to the NASA Ames Research Center at which SOFIA is based.

Our research activities in the field of **GaAs based photoconductors** are aiming for the not yet achieved extension to 330 μ m of the long wave-length cut-off in photoconductive detectors. The collaboration is supported by NASA and includes the University of California Berkeley, Lawrence Berkeley National Laboratory and Naval Post-graduate School in Monterey. After a year-long basic work on epitaxial growth techniques we could reproducibly demonstrate in 2005 the im-portant step of manufacturing an ultra pure block-ing layer required for making a BIB (Blocked Im-purity Band) structured GaAs Detector. This im-portant result was achieved in both growth facil-ities, which we are presently using: in a small tipping boat chamber and in the big centrifugal growth facility that we intend to use later for pro-ducing larger arrays. We found already the optimum doping rate in the infrared-active GaAs ab-sorption layer by theoretical predictions as well as by experimental verification, and are currently concentrating on the required reduction of the minority charge carrier concentration in the active layer. We have already begun to produce the first multilayer BIB structures using ion implanted configura-tions. These devices should allow us to further investigate critical material properties.

Das **ISO-Spektrometerdatenzentrum** (ISOSDC) nimmt an der aktive Archivphasen (AAP) teil, die vom ISO-Datenzentrum in Villafranca (Spanien) geleitet wird und bis September 2006 dauert. In diesem letzten Abschnitt bereiten wir Daten des Kurzwellen-Spektrometers (SWS) für das ISO Daten-Archiv (IDA) und die astrophysikalische virtuelle Sternwarte (AVO) vor. Die Integration des IDA in das AVO erhöht die Sichtbarkeit der ISO-Daten und stellt die wissenschaftliche Analyse der SWS-Daten für die Zukunft sicher. Die hochentwickelten Datenprodukte, die von den ISOSDC Mitgliedern erzeugt werden, stellen einige der Standardprodukte dar, die von IDA und AVO Benutzern betrachtet werden. Dieses Jahr stieg die Zahl der referierten Publikationen mit direkter Nutzung von ISO-Daten über 1000, von denen SWS-Publikationen ein erheblicher Anteil sind. Wir bereiten auch zukünftige Missionen (Herschel, ASTRO-F, JWST) vor, indem wir unterstützen von ESA SWS und LWS-Datenprodukte hoher Qualität für Infrarot-Eichquellen erstellen.

DLR fördert Herschel/PACS (50 OF 9901 1 und 50 OF 0101) und das ISO-Spektrometerdatenzentrum (50 QI 0202). Die Europäische Union unterstützt EURO3D (HPRN-CT-2002-00305). Wir erhalten Unterstützung der Verbundforschung für LUCIFER (05 AL9EE1 7, 05 AL2 EEA1). Die Entwicklung von KMOS wird von ESO unterstützt.

The **ISO Spectrometer Data Centre** (ISOSDC) participates in Active Archive Phase (AAP) lead by the ISO Data Centre (ESAC, Spain) which will last until September 2006. In this final phase, we are preparing data from the Short Wavelength Spectrometer (SWS) for the final ISO Data Archive (IDA) and generate products that will be forwarded to the Astrophysical Virtual Observatory (AVO). The integration of the IDA into the AVO will enhance the visibility of ISO data and ensures the scientific analysis of the SWS data for years to come. Advanced data products generated by ISOSDC members will constitute some of the default products viewed by IDA and AVO users. This year has seen the total number of refereed publications with direct use of ISO data exceed 1000, of which SWS publications are a substantial fraction. We also make preparations for future missions (Herschel, ASTRO-F, JWST) using SWS and LWS data with support by ESA to produce high quality data products for infrared calibrators.

DLR supports Herschel/PACS (50 OF 9901 1 and 50 OF 0101) and the ISO spectrometer data center (50 QI 0202). The European Union supports EURO3D (HPRN-CT-2002-00305). We receive support from Verbundforschung for LUCIFER (05 AL9EE1 7, 05 AL2EEA1). KMOS development is supported by ESO.

3.3 Hochenergie-Astrophysik / High Energy Astrophysics

3.3.1 Röntgenastronomie / X-ray Astronomy

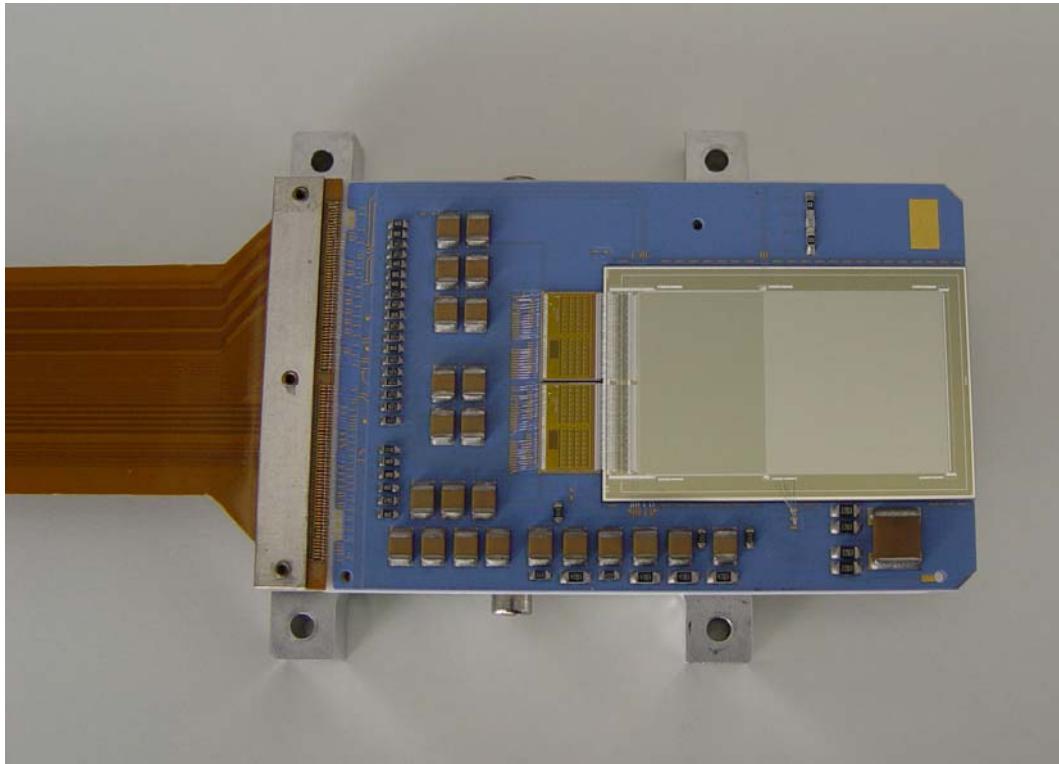


Abb. 3-8: Prototyp des CCD-Flugdetektors für die eROSITA Mission. Der neu entwickelte frame store pnCCD (rechts im Bild) und die beiden analogen Signalprozessoren sind in eine mehrfagige Leiterplatte auf einem Keramikträger integriert.

Fig. 3-8: Prototype of a CCD flight detector for the eROSITA mission. The newly developed frame store pnCCD (right in the picture) together with the two analog signal processors are integrated into a multi layer circuit board on a ceramic support.

Dieses Jahr konzentrierten sich die Forschungsaktivitäten der Röntgengruppe auf die Analyse der Daten, die die beiden Observatorien XMM-Newton und Chandra liefern. Das *Datenzentrum* der Gruppe unterhält Datenarchive insbesondere von den Instrumenten, an deren Entwicklung das MPE beteiligt war: das Chandra LETG und die EPIC-pn auf XMM-Newton. Die Archive wurden für einen leichten Zugang (über Netz) konzipiert und enthalten mit den neuesten Eichdaten prozessierte öffentliche Daten. Dies vereinfacht die Arbeiten zur Kreuzkalibration zwischen verschiedenen Instrumenten.

Mit dem Chandra „low energy transmission grating spectrograph“ ist es möglich, hoch aufgelöste Spektren von hellen Objekten bis zu niedrigen Energien von ~0.08 keV aufzunehmen. Zusammen mit den SRON und CXC LETG Teams bemühen wir uns weiter um die Eichung der Beiträge höherer Ordnungen in den beobachteten Spektren, was für helle Objekte und Quellen mit Kontinuumsspektren wichtig ist. Zur Unterstützung und Verbesserung der wissenschaftlichen Datenauswertung von EPIC-pn Daten trugen wir wesentlich

This year the research activities of the X-ray group at MPE concentrated on the analysis of data from the observatories XMM-Newton and Chandra. The *data center* of the group maintains data archives in particular from the instruments in which MPE was involved in their development: the Chandra LETG and EPIC-pn on board of XMM-Newton. The archives were built for an easy access (via the web) and contains all publicly available data, processed always using the most up-to-date calibration data set. This simplifies efforts of cross calibration between different instruments.

With the Chandra low energy transmission grating spectrograph it is possible to obtain high resolution spectra of bright objects down to low energies of ~0.08 keV. Further efforts together with the SRON and CXC LETG teams were put into the calibration of higher spectral order contributions to the observed spectra which is important for very bright objects and sources with continuum spectra. For the support and improvement of the scientific data analysis of EPIC-pn data we contributed to the extension of the XMM-SAS analysis soft-

zur Erweiterung der XMM-SAS Analyse-Software bei. Dazu wurden verbesserte Methoden zur Auswahl von niederenergetischen EPIC-pn Photonen entwickelt und deren Funktion an vielen Datensätzen verifiziert. Ein sehr altes Problem der EPIC-pn Kamera, bei dem die Frame-Zeit manchmal einen Sprung von mehreren Sekunden macht, wurde auf einen Hardware-Fehler im on-board Event-Analyser zurückgeführt. Als Abhilfe wurde Software entwickelt, welche die Sprünge erkennt und berichtet. Als Teil des XMM Survey Science Centers gehen die Vorbereitungen für die Produktion des 2XMM Quellkatalogs in die letzte Phase. Die Zahl der Publikationen, die aus mehr als sechs Jahren XMM-Newton Daten resultiert, steigt stark an. Von insgesamt mehr als 1000 referierten Veröffentlichungen im Jahr 2005 wurden etwa 21% mit Beteiligung des Instituts veröffentlicht. Zusätzlich bildete das ROSAT Datenarchiv, sieben Jahre nach Ende der Mission, die Basis für weltweit 140 ROSAT Veröffentlichungen im Jahre 2005.

XMM-Newton führt in erster Linie ein wissenschaftliches Programm durch, das auf pointierten Beobachtungen basiert. Die Teleskopdaten der SLEWS zwischen den einzelnen Targets wurden auf ihren potentiellen wissenschaftlichen Nutzen hin untersucht. Der große Wert des XMM-Newton Slew Surveys beruht zum einen aus der bereits jetzt großen Himmelsabdeckung von etwa 15%, aber auch aus der mit dem ROSAT All-Sky-Survey vergleichbaren Sensitivität im Energiebereich 0.5-2.0 keV, und einer zu früheren Missionen deutlich gesteigerten Empfindlichkeit und Auflösung im Bereich 2-12 keV. Mit diesen Daten wird im Augenblick ein erster Quellkatalog erstellt, der etwa Anfang 2006 veröffentlicht werden soll.

Im letzten Jahr des „German Astrophysical Virtual Observatory“ (GAVO) Projekts konzentrierten sich die Aktivitäten auf verschiedene Web-Dienste, welche nun unter dem neu entworfenen GAVO Web-Portal (www.g-vo.org) zugänglich sind. Der GAVO „cross-matcher“ wurde fortentwickelt und für verschiedene wissenschaftliche Anwendungen benutzt, wie die Identifikation und Klassifikation von XMM-Newton Slew Survey Quellen oder dem Studium von radio-lauten NLS1 AGN.

Die Datenbank der ROSAT Himmelsdurchmusterung (RASS) wird in gleicher Weise wie der SDSS Spiegel gespeichert. Diese Daten sind nötig für den „Cluster Finder“ – eine der wissenschaftlichen Anwendungen des „German Astronomy Community Grid“ (GACG) Projekts am MPE. Das GACG Projekt, das 14 Astronomie- und Informatik-Institute sowie Rechenzentren zusammenbringt, begann im Herbst.

Die Pilotphase von GAVO endete dieses Jahr. Ein neuer Vorschlag wurde dem BMBF unterbreitet

ware. An improved method to filter low energetic photons from electronic noise in the EPIC-pn data was developed and verified on many data sets from our internal archive. An old known problem of the EPIC-pn camera is that the frame time sometimes jumps by several seconds. This was identified with a hardware problem in the on-board event-analyser which can not be fixed. We developed software which recognizes the time jumps in the data and corrects them. As part of the XMM Survey Science Center the preparations for the production of the 2XMM source catalogue are in the final phase. The number of publications from the European X-ray satellite XMM-Newton, which is now in orbit for more than 6 years, is strongly increasing. Based on XMM observations altogether more than 1000 refereed papers were published. Our institute was involved in about 21% of them. In addition the ROSAT data archive, seven years after the end of the mission, provided the basis for world wide 140 ROSAT publications in 2005.

The main scientific program of the XMM-Newton observatory is based on pointed observations. The data obtained by the telescopes during the slews between different targets were investigated with respect to their potential scientific use. This XMM-Newton slew survey was found to be of high scientific value, resulting from a relatively large sky coverage of already 15% at the current state of the mission, but also from the sensitivity which is comparable to the ROSAT all-sky-survey in the energy band 0.5-2.0 keV and a much enhanced sensitivity and resolution in the 2-12 keV band compared to previous hard X-ray missions. A first source catalogue from this data is currently in preparation and planned to be published early 2006.

In the last year of the German Astrophysical Virtual Observatory (GAVO) project the activities concentrated around various web-services which are now available to the public under the newly designed GAVO web portal (www.g-vo.org). The generic GAVO cross-matcher tool was further developed and is used for various science applications like identification and classification of XMM-Newton slew survey X-ray sources and studying radio-loud NLS1 AGN.

The ROSAT all-sky survey (RASS) database is stored in the same way as the SDSS mirror. These data are necessary for the cluster finder – one of the science cases the German Astronomy Community Grid (GACG) project at MPE is going to use for the development of GRID-tools. The GACG project bringing together 14 astronomy and informatics institutes as well as computer centres started this autumn.

The pilot-phase of GAVO has ended this year. A new proposal was submitted to BMBF and eval-

und positiv beurteilt. Eine direkte Finanzierung von Projekten, die hauptsächlich von MPG Instituten vorgeschlagen wurden, ist jedoch nicht mehr möglich; deshalb wird das Astronomiezentrum Heidelberg das GAVO-II Projekt leiten.

Zur Vermessung astronomischer Instrumentierung für neue Projekte während der Entwicklungs- und Eichphasen, dient weiterhin unsere Röntgentestanlage *PANTER*. Beim Vermessen von Röntgenspiegeln hilft der große Abstand von etwa 130 m von der Quelle zur Optik um quasiparallele Vollausleuchtung zu erreichen. Außerdem ist der breite zugängliche Energiebereich von großem Nutzen: zum einen das Band 0.25-12 keV wie es z.B. für XMM-Newton wichtig ist, aber auch jenseits der Gold-L-Kante bis zu 40 keV, wo an der Anlage neuartige Multilayer-Spiegel kalibriert wurden. Dieser höhere Energiebereich wird für zukünftige Missionen (z.B. SIMBOL-X) immer wichtiger. Solche Multilayer-Spiegel (von OAB) wurden mehrmals erfolgreich vermessen und effektive Flächen sowie Punktbildfunktionen bis zu typisch 40 keV bestimmt.

Die EPIC-pn Kamera an Bord von XMM-Newton, entwickelt am MPE und dem MPI Halbleiterlabor (HLL), zeigte keine Probleme im Betrieb. Um die hohe Qualität der Daten zu gewährleisten überwacht die Röntgengruppe die Funktionen der Kamera und ist tief in die Kalibrationsaktivitäten eingebunden, wozu sowohl die Flugkamera als auch die Reservekamera in der *PANTER* Testanlage verwendet wird. Die Kamera in der Testanlage als XMM flight spare Instrument bietet den Vorteil, dass man ohne Verlust von wissenschaftlicher Beobachtungszeit für XMM-Newton die interessierenden Kamera-Parameter bestimmen kann und nur noch eine dedizierte Beobachtung im Orbit zum Abgleich durchführen muss.

Zur Eichung des Energieansprechverhaltens des Detektors untersuchten wir die Linien-Spektren der eingebauten radioaktiven Quelle und von Himmelsquellen. Die seit dem Start beobachtete langsame Abnahme der Ladungstransfer-Effizienz stimmt voll mit theoretischen Erwartungen überein. Als ein Beispiel seien die Kalibrationsbeobachtungen des Sterns Zeta Puppis erwähnt. Die Linienspektren sind insbesondere im unteren Energiebereich von 0.4 bis 1 keV von besonderem Wert. Es zeigte sich, dass die Detektor-Response-Matrix in diesem Energiebereich noch verbessert werden konnte. Untersuchungen von Messungen mit der internen Eichquelle ergaben, dass zwischen den 768 CCD-Spalten von EPIC-pn geringfügige, aber signifikante Unterschiede in den Peaklagen der Mn-K Fluoreszenzlinie auftreten. Zum besseren Verständnis dieses Effekts wurden diese Peaklagen aus allen langen Messungen, die nach dem Start von XMM-Newton mit der internen Eichquelle durchgeführt wurden, in einem auf-

ated positively. Due to governmental rules which do not allow anymore directly financing projects mainly proposed by MPG institutes the Heidelberg centre for Astronomy (ZAH) will be leading the GAVO-II project.

To measure the astronomical instrumentation for new projects during the development and calibration phases we continue to use our X-ray test facility *PANTER*. The large distance of about 130 m between X-ray source and optics is of great advantage for measuring X-ray mirrors with a quasi parallel beam over a large area. In addition the wide accessible energy band is very useful: on one hand the band 0.25-12 keV is important e.g. for XMM-Newton, but also energies beyond the Gold-L-edge up to 40 keV are required to calibrate newly developed multi-layer mirrors. This high energy range becomes more and more important for future missions (e.g. SIMBOL-X). Several of such multilayer mirrors (manufactured by OAB) were successfully measured at *PANTER* and effective areas and point spread functions determined up to typical energies of 40 keV.

The EPIC-pn CCD camera on board *XMM-Newton*, developed by the MPE and the MPI semi-conductor laboratory (HLL), was operating without problems. To maintain the high quality of the scientific data the X-ray group monitors the health of the pn camera and is strongly involved in the calibration activities, both in-flight and also on ground at the *PANTER* test facility using the spare camera. The camera in the test facility has the advantage that instrument parameters can be determined in detail on ground without loss of valuable scientific exposure time. Only a dedicated XMM-Newton observation is then necessary to level out the slight differences between the detectors.

To calibrate the energy response of the detector we used the built-in radio active source and emission line rich spectra of celestial sources. The observed slow degradation of the charge transfer efficiency since launch is fully consistent with theoretical expectations. As an example the calibration observations of the star Zeta Puppis are mentioned. The emission line spectra are particularly useful in the lower energy band between 0.4 and 1 keV. It was found that the detector response matrix could be improved in this energy band. Investigations of calibration measurements using the internal radio active calibration source have shown small but significant differences in the peak positions of the Mn-K fluorescence line for the 768 CCD columns of the EPIC-pn detector. For a better understanding of this effect the peak positions were determined from all long exposed measurements which were performed since launch with the internal calibration source. In a sophisticated way more than 21000 spectral fits were system-

wändigen Verfahren systematisch bestimmt (über 21000 spektrale Fits). Es stellte sich heraus, dass die Peaklagen in den einzelnen Spalten voneinander unterschiedliche zeitliche Variationen aufweisen – ein Effekt, dessen Ursache noch nicht verstanden ist.

Innerhalb des Cosmic Vision Programms der ESA, „Space Science for Europe 2015-2025“, ist die Notwendigkeit eines Röntgenobservatoriums mit großer Spiegelfläche ausdrücklich erwähnt. *XEUS* wird als Meilenstein zur Untersuchung aktuellster astrophysikalischer Fragen angesehen. Zusätzlich zu den wissenschaftlichen Aspekten schreitet die Entwicklung der erforderlichen Technologien fort. Im Hinblick auf leichtgewichtige, segmentierte Röntgenoptiken befassen wir uns seit einigen Jahren mit der Entwicklung einer neuartigen Röntgenspiegel-Technologie, die auf der thermischen Verformung (Absenken auf Keramikform) dünner Glasscheiben beruht. Die Entwicklung dieses in industrieller Fertigung (und Kunsthandwerk) bewährten Verfahrens hin zu der benötigten Präzision und Reproduzierbarkeit stellt einen technologischen Sprung dar, den wir durch systematische Untersuchung aller Faktoren bewältigen wollen. Zusammen mit der Firma Carl Zeiss haben wir den Prozess des Glasabsenkens untersucht und soweit verbessern können, dass wir erstmals in der Lage sind, Spiegelsegmente mit wenigen μm Abweichung von der Senkform herzustellen. Neben dem Absenkprozess selbst ist eine aufwändige Metrologie erforderlich. Bereits die Halterung der abgesenkten Glasplatten zum Zwecke der Messung ist komplex, weil die Verformungen der nur 0,55 mm dicken Glassegmente durch Eigengewicht kompensiert werden müssen.

Für die Röntgenoptik von *XEUS* verfolgt die ESA eine andere neuartige Technologie auf der Basis von Si-Wafern. In der jetzigen Entwicklungsphase, in der die Fertigung von Porenoptiken hinsichtlich des Auflösungsvermögens optimiert und das präzise Zusammenfügen der optischen Einheiten erprobt werden muss, sind Röntgentests von großer Wichtigkeit. Ergänzend zu Pencilbeam-Messungen am Synchrotron entwickeln wir ein Messprogramm in der Testanlage PANTER, in der auch die großflächige Ausleuchtung der Optik möglich ist. Ein erster Test des experimentellen Aufbaus mit einer Porenoptik-Komponente fand im November 2005 statt.

Für den wide field imager von *XEUS* wurde die Entwicklung von aktiven Pixelsensoren mit DEPFET (DEPFET APS) im Halbleiterlabor vorangetrieben. Dabei stand in diesem Jahr der Test verschiedener gefertigter Prototyp-Versionen des DEPFET APS im Vordergrund.

Der in einer europäischen Kollaboration studierte Hochenergie-Röntgensatellit SIMBOL-X hat im vergangenen Jahr erfolgreich die Phase 0 be-

atically performed. It was found that the peak positions of the Mn-K line exhibit different temporal variations in the individual columns – the origin of this effect is not yet understood.

Within ESA's Cosmic Vision programme, Space Science for Europe 2015-2025, the need for a large-aperture X-ray observatory is explicitly mentioned. *XEUS* will be a milestone to investigate astrophysical aspects of the highest priority. In addition to the important science aspects, progress has also been made in designing the required technology aspects. With respect to low-weight, segmented X-ray optics we investigate since several years the development of a new X-ray mirror production technology, which utilizes the thermal shaping (slumping into a ceramic form) of thin glass plates. The development of this process which is successfully used in industrial production (and arts and crafts) to the required accuracy and reproducibility will be a technological leap forward, which we want to achieve with a systematic study of all contributing factors. In collaboration with the Carl Zeiss Company we have investigated the parameters of the glass slumping process and improved the process so that we were able for the first time to produce mirror segments with only few μm deviation from the slump form. Apart from the slumping process large efforts are required for the metrology. Already the mounting support for the slumped glass plates for the accurate measurements is very complex because the deformation of the only 0.55 mm thick glass segments due to their own weight must be compensated.

ESA studies a different new technology for the X-ray optics of *XEUS* which is based on Si-wafers. In the current development phase in which the production of pore optics must be optimized with regards to its angular resolution and the precise arrangement of the optical units must be proven, X-ray tests are of great importance. Complementary to pencil beam measurements of pore optic components at the synchrotron we develop a program of measurements at the PANTER X-ray test facility. There the possibility of a large-area illumination of the optic is of great importance. A first test of the experimental setup with a pore optic component took place in November 2005.

The development of active pixels sensors with DEPFET (DEPFET APS) for the wide field imager of *XEUS* was advanced at the semiconductor laboratory. This year was largely devoted to the tests of the different manufactured prototype versions of the DEPFET APS detector.

In a European collaboration the high energy X-ray satellite SIMBOL-X was studied and successfully passed the phase 0 investigations. The project is

standen. Das Projekt soll den Formationsflug zweier Satelliten erproben und trägt als wissenschaftliche Nutzlast ein hochverschachteltes Wolterteleskop für den Energiebereich bis 80 keV auf einem Satelliten. Der zweite Satellit wird mit einem Sandwich-Detektor, bestehend aus einem Pixeldetektor für den Energiebereich von 0.5 bis 20 keV und einem Cd(Zn)Te Detektor für den Bereich von 5 bis 80 keV bestückt. Unser Beitrag wird, außer der Vermessung des Spiegelsystems in der PANTER Testanlage, die Entwicklung und das Austesten des Pixeldetektors sein. Ein Großteil der Digitalelektronik wird in Zusammenarbeit mit dem IAA Tübingen aufgebaut. SIMBOL-X ist für eine Phase A Studie vorgesehen, welche im Jahr 2006 durchgeführt wird.

planned to test the formation flight of two satellites with "scientific return". As payload one satellite carries a highly-nested Wolter type telescope for the energy range up to 80 keV. The second satellite will be equipped with a sandwich detector which comprises a pixel detector for the energy band from 0.5 to 20 keV and a Cd(Zn)Te detector sensitive for photons with energies from 5 to 80 keV. Our contributions will be apart from the calibration measurements of the mirror system at the PANTER test facility, the development and testing of the pixel detector. A large part of the digital electronics will be built in collaboration with the IAA Tübingen. SIMBOL-X is the only project accepted for a phase A study which will be performed during the year 2006.

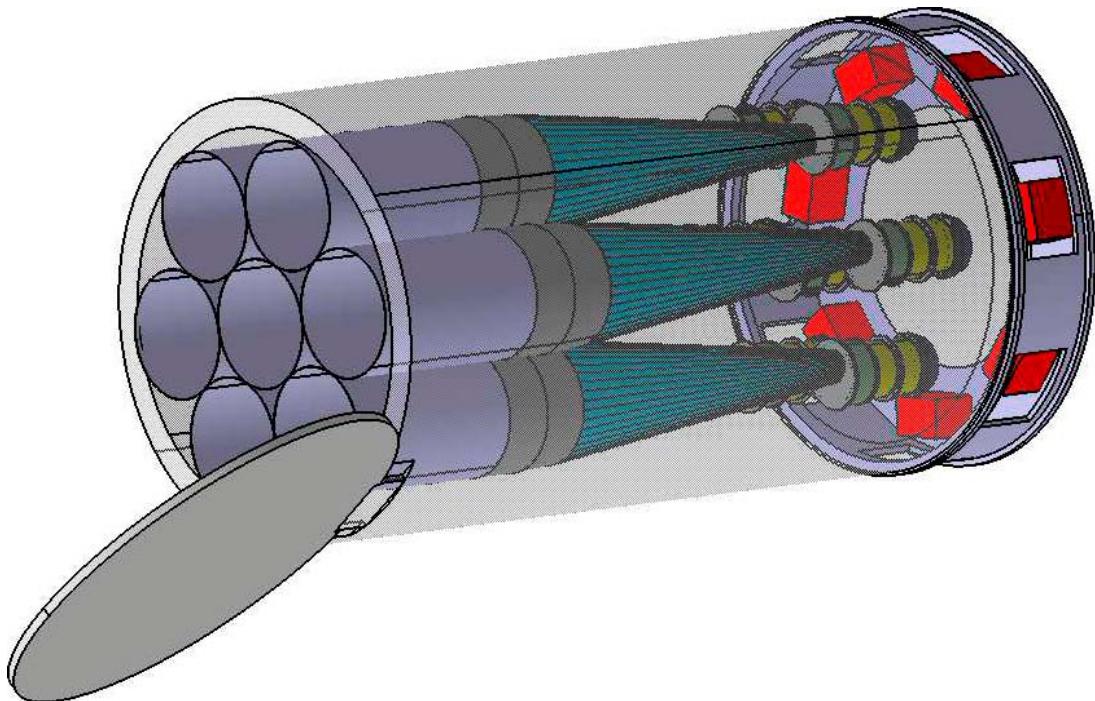


Abb. 3-9: Skizze der geplanten Röntgenmission eROSITA.

Fig. 3-9: Sketch of the eROSITA X-ray observatory.

Die NASA hat unseren zusammen mit amerikanischen Kollegen gemachten Vorschlag DUO (Dark Universe Observatory) zu Beginn des Jahres abgelehnt, so dass wir uns nun wieder verstärkt auf unser ursprüngliches Ziel ROSITA konzentrieren. Allerdings möchten wir die mit DUO geplante Untersuchung der Dunklen Energie in die wissenschaftliche Zielsetzung von ROSITA mit aufnehmen. Die erweiterte Version *eROSITA besitzt*, wie ROSITA und DUO, sieben Wolterteleskope, aber durch zusätzliche Spiegelschalen erheblich vergrößerte Sammelfläche bei niedrigen Energien (Abb. 3-9). Damit können dann etwa 100.000 Galaxienhaufen entdeckt und deren dreidimensionale Verteilung im Universum bestimmt werden.

Glücklicherweise ergab sich 2005 die Option, eROSITA auf dem russischen Satelliten Spectrum-X-Gamma zu installieren. Dieser sollte be-

Since NASA has not accepted our proposal DUO (Dark Universe Observatory), which we have made together with U.S. colleagues, we now concentrate again on our original goal ROSITA. However, we would like to combine ROSITA's scientific goals with those of DUO, i.e. the investigation of the Dark Energy. Like DUO and ROSITA, the extended version eROSITA will have seven highly nested Wolter telescopes. By adding mirror shells, we will increase the collecting area substantially at low energies (Fig. 3-9). Thus we can detect about 100.000 clusters of galaxies and determine their three-dimensional distribution in the universe.

Fortunately the opportunity of installing eROSITA on the Russian space platform Spectrum X-Gamma arose in 2005. This satellite was planned for a launch in 1996 in a completely different configuration. The project was stopped due to the

reits 1996 in völlig anderer Konfiguration gestartet werden, was aufgrund der damaligen Situation in Russland fehl schlug. Das neue Konzept beinhaltet eROSITA als Hauptinstrument. Gegenwärtig werden die technischen Randbedingungen der Mission, auch im Rahmen einer Industriestudie geklärt. Der Start soll um 2010 mit einer Sojus-Rakete von Kourou aus stattfinden.

Die technische Realisierung der Detektoren auf der Basis der neuen framestore-pnCCDs Abb. 3-8) – eine Weiterentwicklung des bei XMM-Newton im Einsatz befindlichen pnCCDs – lief weiterhin unabhängig von der aktuellen Projektplanung und machte weiterhin große Fortschritte.

In Zusammenarbeit mit der Firma Carl Zeiss haben wir ein Messverfahren für EUV-Kollektoren entwickelt. Diese vielschaligen Röntgenoptiken sollen in Zukunft für die Photolithographie in der Halbleiterindustrie verwendet werden. Zu diesem Zweck betreiben wir eine monochromatische Röntgenquelle für Si-L Strahlung (92 eV) und extrem großem Raumwinkel (1.6 sterad). Zunächst wurde ein vierseitiger, später dann ein vollständiger 8-schichtiger Kollektor vermessen. Seine Eigenschaften hinsichtlich Effizienz und Abbildung entsprachen den Erwartungen.

Im Zuge der Weiterentwicklung theoretischer Konzepte künftiger höchstauflösender Röntgenteleskope wurden erstmals dispersionskorrigierte Multiband-Objektive aus speziell abgestimmten Fresnel-Hybrid-Segmenten implementiert, die mehrere Energiebänder gleichzeitig in einen gemeinsamen Fokus abbilden. Mit Brennweiten von wenigen 100 km und einer Winkelauflösung von etwa 1 Millibogensekunde erreichen solche Teleskope die Nachweisempfindlichkeit von Chandra.

Für das CAST Experiment (CERN Axion Solar Telescope) wurde ein fokussierendes Röntgenteleskop vom MPE bereitgestellt. Mit CAST soll die Existenz des Axions nachgewiesen, bzw. die Axion-Masse und -Kopplungskonstante eingeschränkt werden. Der Vorteil von CAST gegenüber bisherigen Experimenten zur Suche nach solaren Axionen resultiert aus dem Zusammenwirken des 9,26 m langen supraleitenden Dipolmagneten hoher Feldstärke (9 Tesla), der von CERN für die Entwicklung der LHC Magneten gebaut wurde, mit dem Röntgenteleskop.

Die ersten Messphasen von CAST haben die obere Grenze der Kopplungsstärke leichter Axionen an zwei Photonen um einen Faktor 5 gegenüber dem bislang empfindlichsten Experiment verschärft, aber ein signifikantes Axionensignal konnte nicht festgestellt werden. Die endgültige Auswertung der Messungen aus dem Jahre 2004 steht noch aus, wir erwarten jedoch, dass es zum ersten Mal möglich sein wird, im Massenbereich $m_a < 0,02$ eV astrophysikalische Schranken aufgrund der Entwicklung alter Sterne in Kugelhaufen

situation in Soviet Union at that time. The new concept comprises eROSITA as core instrument. Currently the technical constraints of the mission are investigated, also in the framework of an industry study. A launch is envisaged on a Soyuz-rocket from Kourou in 2010.

The technical development of the detectors on the basis of the new framestore-pnCCDs (Fig. 3-8) – a further improved version of the pnCCDs which are in operation on board of XMM-Newton – is almost independent from the actual project planning and has made further good progress.

Within collaboration with the company Carl Zeiss we have developed a metrology method for EUV collectors, highly nested X-ray optics which will be used in future for photolithography in semiconductor industry. For this purpose we are operating a monochromatic X-ray source with Si-L radiation at 92 eV and extremely large solid angle (1.6 sterad). First a fourfold nested collector, later on a complete 8-fold nested collector have been tested. Their performances with regard of efficiency and imaging quality are consistent with expectations.

On the way to new theoretical concepts of upcoming ultra-high resolution X-ray telescopes dispersion-corrected multiband objectives have been implemented for the first time. The annular partial apertures consist of especially tuned hybrid Fresnel segments, which image simultaneously several energy bands to a common focus. With focal lengths of a few 100 km and angular resolution of about 1 mas such telescopes reach the sensitivity of Chandra.

A focussing X-ray telescope was provided by MPE for the CAST experiment (CERN Axion Solar Telescope). With CAST one tries to prove the existence of the Axion or at least to constrain the mass of the axion and the coupling constant. The superiority of CAST in comparison to previous experiments for searching solar axions results from the interaction of the 9.26 m long super conducting dipole magnet with very high field strength (9 Tesla), which was built by CERN for the development of the LHC magnets, with the X-ray telescope.

The first phases of measurements of CAST have reduced the upper limit for the coupling strength of light-weight axions on two photons by a factor of 5 with respect to the previously most sensitive experiment. However, a significant signal of axions could not be detected. The final analysis of the measurements from the year 2004 is still in progress. However, we expect that it will be possible for the first time in the mass range $m_a < 0,02$ eV to verify astrophysical constraints which were derived from the evolution of old globular cluster

in einem Laborexperiment zu überprüfen.

Für die Phase II des CAST Experiments wird das Innere des Magneten mit He⁴ bzw. mit He³ gefüllt, um durch Variation der Dichte den Massenbereich $10^2 \text{ eV} < m_a < 0,8 \text{ eV}$ möglichst lückenlos zu überdecken. Die Modifikation des Experimentaufbaus hat das ganze Jahr 2005 in Anspruch genommen und im November wurde mit den ersten Messungen zur Phase II begonnen.

Die Projekte der Röntgenastronomie wurden wie folgt gefördert: Das DLR unterstützte XMM (50.OX.0001), eROSITA (50QR.0502) und GACG (01AK804D). ESA/ESTEC förderte XEUS (15851/01/NL/HB). DESY unterstützte CAST (05CC2EEA/9) und GAVO (05Ä2EE1/4). Wir erhielten auch Mittel von der Verbundforschung (50.OR.0207), von der Dr. Johannes Heidenhain Stiftung und aus der EU-Förderung (FMGE-CT98-0106).

stars in a laboratory experiment.

For the phase II of the CAST experiment it is planned to fill the interior of the magnet with He⁴ and He³. By varying the density it will be possible to cover the mass range $10^2 \text{ eV} < m_a < 0,8 \text{ eV}$ without gaps. The modification of the experimental setup lasted almost the whole year 2005 and in November 2005 the first measurements for phase II have started.

The projects of the X-ray astronomy group were supported as follows: DLR is funding XMM (50.OX.0001), eROSITA (50QR.0502) and GACG (01AK804D). ESA/ESTEC supports XEUS (15851/01/NL/HB). DESY supports CAST (05CC2EEA/9) and GAVO (05Ä2EE1/4). We also received funds from the Verbundforschung (50.OR.0207), from the Dr. Johannes Heidenhain Stiftung and from EU-projects (FMGE-CT98-0106).

3.3.2 Gamma-Astronomie / Gamma-ray Astronomy

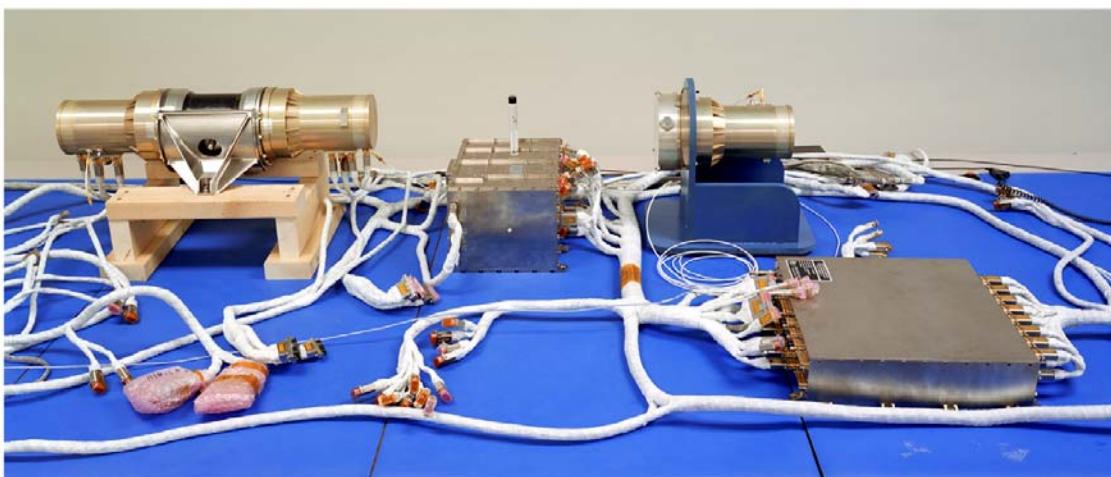


Abb. 3-10: Ein BGO-Detektor (links hinten) und ein NaI-Detektor (rechts hinten), sind über den Testkabelbaum mit der Steuerungselektronik (DPU; rechts vorne) verbunden. Zwischen den Detektoren befindet sich für Testmessungen eine Gammastrahlenquelle.

Fig. 3-10: A BGO detector (left in the back) and a NaI detector (right in the back) are connected via a test harness with the Digital-Processing Unit (DPU; right in the front). Between the detectors a gamma-ray source is mounted for test measurements.

Die wichtigste Datenquelle für die Gamma-Gruppe ist nach wie vor INTEGRAL. Seit nun mehr als 3 Jahren in Betrieb, liefern die beiden Hauptinstrumente IBIS und SPI sehr schöne Ergebnisse. Die spektrale Auflösung wird seit dem Start mit halbjährlichen Heizphasen der Detektoren erfolgreich auf konstant gutem Niveau gehalten. Zwei Ge-Detektoren sind leider im Dez. 2003 bzw. Juli 2004 ausgefallen, und führen zu einer ca. 10%igen Einbusse der Empfindlichkeit. Das im Auftrag des MPE gebaute Antikoinzidenzsystem erfüllt dagegen seine Aufgaben zu 100%. Dem Interesse an INTEGRAL (Überbuchung der Messzeit um einen Faktor 4) hat die ESA durch Beschluss der Missi-

The most important source of data for the gamma-ray group continues to be INTEGRAL. Now 2 years in operation, the two main instruments IBIS and SPI are providing very significant results. The spectral resolution of SPI has been successfully kept at a constant high level, by half-yearly heating of the detectors. Two Ge-detectors have unfortunately failed, in December 2003 and July 2004, and this leads to a 10% reduction in sensitivity. The anticoincidence system, built under the responsibility of MPE, continues to fulfill its task to 100%. As a consequence of the interest in INTEGRAL (fourfold overbooking of the observation time) ESA ratified an extension of the mission by a

onsverlängerung um weitere zwei Jahre Rechnung getragen; die Mission wird voraussichtlich bis in das nächste Jahrzehnt ausgedehnt werden.

Hauptschwerpunkte bei der experimentellen Arbeit waren die Arbeiten an der Flug-Hardware von **GBM** (*Glast Burst Monitor*) sowie die Entwicklung der ersten Komponenten von **GROND**. Beim GBM-Projekt, für das das MPE die Detektoren und die komplette Spannungsversorgung baut, und an dem das MPE mit sechs Wissenschaftlern beteiligt ist, war das Jahr 2005 trotz anfänglicher Schwierigkeiten recht erfolgreich. Es konnten von Jenaoptronik alle 14 Flugdetektoren fertig gestellt und im Laufe des Sommers und Herbstanfang an die NASA ausgeliefert werden. Zuvor waren die Detektoren am MPE mit radioaktiven Quellen und am Bessy-Beschleuniger in Berlin mit Synchrotronstrahlung geeicht worden. Auch die Stromversorgungseinheit wurde von Astrium fertig gestellt und nach einem TV-Test am MPE im August an die NASA ausgehändigt. Somit konnte die Hardware, für die das MPE verantwortlich war, zeitgerecht übergeben werden. Bei der NASA laufen derzeit Systemtests, bei denen die gelieferte Hardware ihre Bewährungsprobe gut bestanden hat.

Für GROND (Gamma-Ray Burst Optical and Near-Infrared Detector) wurden im vergangenen Jahr faktisch alle Komponenten gefertigt und zum Großteil erfolgreich getestet, darunter die neu entwickelte IR-Detektoreinheit mit motorisch verstellbarem Fokus, die Linsenhalterungen, der interne Flipspiegel zum K-Band-Dithering, sowie die auch neu entwickelten CCD-Detektoreinheiten. Mittlerweile haben die Systemtests begonnen, bei denen das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten geprüft wird. Seit Juni 2005 haben wir in regelmäßigen Abständen technische Nächte am 2.2m Teleskop auf La Silla, um die Infrastruktur für GROND aufzubauen und die Integration in das Teleskop- und Steuersystem vorzubereiten. Ein wichtiger Meilenstein dabei war der Bau und die Integration eines M3-Spiegels, der innerhalb von 15 Sekunden eingeschwenkt werden kann und das Licht vom Cassegrain-Fokus weg Richtung GROND reflektieren wird. Außerdem konnte die neue ESO-Version der technischen CCDs für die Guide Camera installiert und erfolgreich getestet werden.

Der *Swift* Satellit, für den das MPE die Kalibration des Röntgenteleskops an der PANTER-Anlage durchgeführt hatte, hat nach seinem erfolgreichen Start am 20. November 2004 ein eindrucksvolles erstes Jahr absolviert. Ausser der Kühlung des Röntgendetektors arbeiten alle Systeme einwandfrei. Obwohl die nominelle Missionsdauer zunächst für zwei Jahre geplant ist, wird eine Verlängerung um mindestens zwei weitere Jahre erwartet. MPE Kollegen sind an der Auswertung

further two years; it will probably continue into the next decade.

The main focus of experimental work was the flight hardware of **GBM** (*Glast Burst Monitor*) and the development of the first components of **GROND**. For the GBM project, for which MPE built the detectors and the complete power supply, six scientists are involved at MPE. The year 2005 was very successful despite some problems at the beginning of the year. The MPE team was able to complete all 14 flight detectors and to deliver them to NASA during summer and autumn. Before that the detectors were calibrated at MPE with radioactive sources and with synchrotron radiation at the accelerator Bessy in Berlin. Also the power-supply box was finished by Astrium and was handed over to NASA in August after a TV test had been performed at MPE. Consequently the hardware for which MPE was responsible could be delivered to NASA within the agreed time frame. In the moment system tests are being performed at MSFC during which the delivered hardware is working perfectly and is in compliance with the expectations.

For GROND (Gamma-Ray Burst Optical and Near-Infrared Detector) basically all mechanical components have been manufactured, and mostly successfully tested. This includes the newly-developed IR detector unit with motor-driven focus, the lens mounting, the internal flip-mirror for K-Band dithering, as well as newly-developed CCD-detector units. Meanwhile system tests have begun, in which the combined operation of the different components will be tested. Since June 2005 we have had technical nights at the 2.2m telescope on La Silla at regular intervals, to build up the infrastructure of GROND and to prepare the integration in the telescope and pointing system. An important milestone here was the construction and integration of an M3-mirror, which can be swung in within 15 seconds and reflect the light away from the Cassegrain focus towards GROND. In addition, the new ESO version of the technical CCDs for the Guide Camera could be installed and tested successfully.

The *Swift* satellite has been successfully launched on November 20, 2004. MPE has participated in the project with the calibration of the X-ray telescope (XRT) at the PANTER facility. Presently (8 weeks later), the GRB detector BAT, the XRT and the UV/optical telescope have been successfully switched on. Also the autonomous re-pointing which is the main technological challenge of *Swift*, has been successfully tested. With our additional MPE participation in the software development for

des BAT-all-sky survey im 15-150 keV Bereich sowie als sog. Burst Advocates (Unterstützung bei der organisatorischen Abwicklung des Beobachtungsbetriebes) aktiv an der wissenschaftlichen Arbeit beteiligt.

BAT and the organisational help in the mission operation (so-called Burst Advocates) we foresee exciting times for GRB research.

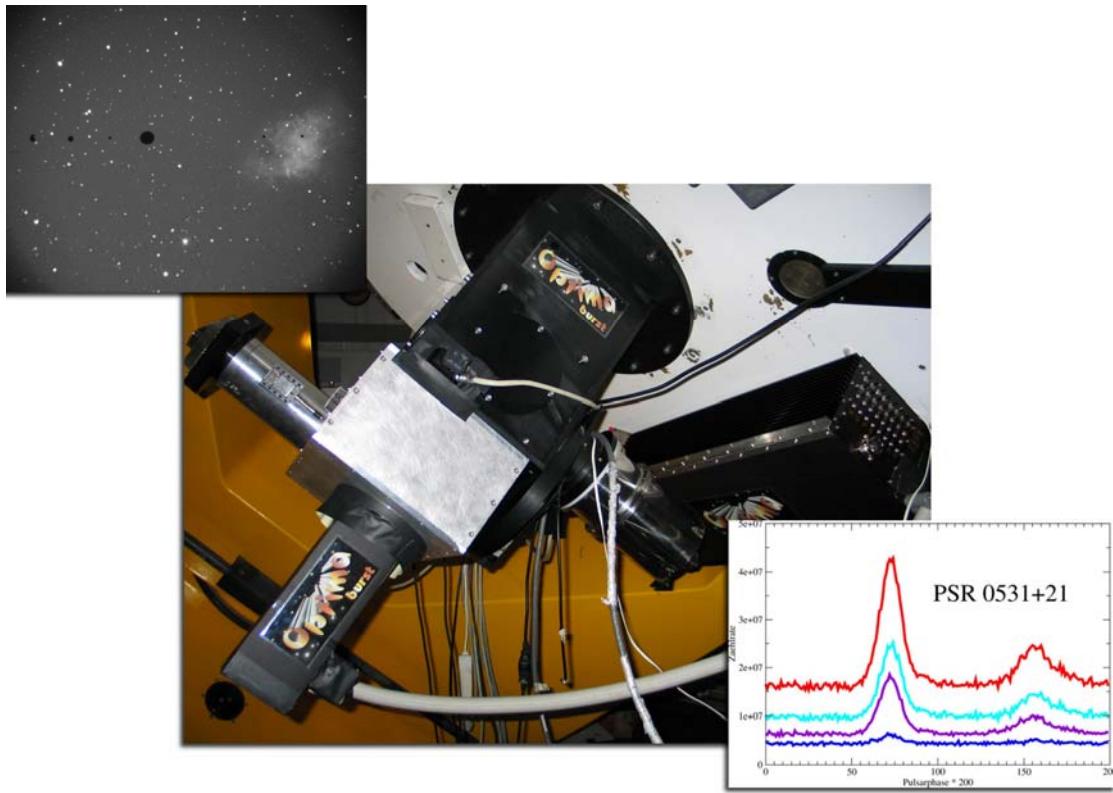


Abb. 3-11: Photo-Polarimeter OPTIMA-Burst am 1.3m Teleskop Skinakas, Kreta. Eine Aufnahme des Messfeldes mit dem Krebsnebel und Lichtkurven des Crab Pulsars aus dem Polarimeter wurden bei der Inbetriebnahme im November 2005 gemessen

Fig. 3-11: The fast timing photo-polarimeter OPTIMA-Burst mounted on the 1.3m telescope of Skinakas observatory. The insets from the first light observations show an image of the Crab nebula as a target region and polarimetric light-curves of the Crab pulsar taken in November 2005.

Zwei Beobachtungskampagnen wurden 2005 mit dem zeitlich hochauflösenden Photo-Polarimeter OPTIMA am 1.3m Teleskop auf Skinakas, Kreta durchgeführt. Im Juni wurde die bisherige Version des Instruments als Photometer für Einzelphotonen eingesetzt. Zeitgleich mit RXTE wurde Her X-1 beobachtet. Eine neue Konfiguration des Instruments, „OPTIMA-Burst“, wurde fertiggestellt und im November erstmals am Teleskop erprobt. OPTIMA-Burst kann gleichzeitig die Intensität und die lineare Polarisierung der einfallenden Strahlung mit hoher Zeitauflösung messen. Wir haben dazu ein neuartiges Doppel-Wollaston Polarimeter mit den Avalanche Dioden Photonenzählern und der Datenaufnahme von OPTIMA gekoppelt. Labor-Tests und Messungen am Crab Pulsar haben die Funktion dieses Polarimeters bestätigt (Abb. 3-11). Eine lange Kampagne zur Beobachtung von GRB Ereignissen, die vom Satelliten SWIFT ge- triggerter werden, ist für Mai-Juli 2006 vorgesehen.

Two observing campaigns with the high-time resolution photo-polarimeter OPTIMA were conducted in 2005 at the 1.3m telescope on Mt. Skinakas, Crete. In June we used the conventional, i.e. single photon photometry and timing, version of the instrument to observe the X-ray binary Her X-1 simultaneous in the optical range and at X-ray energies with RXTE. A new configuration of the instrument, now called “OPTIMA-Burst”, was completed and used for the first time in November 2005. OPTIMA-Burst can measure the intensity and the state of linear polarization of the incoming photon beam simultaneously with very high time resolution. The new system is based on the combination of a double-Wollaston polarimeter with avalanche photodiodes, which are read out through the OPTIMA data acquisition system. Measurements in the laboratory and the first light data from the Crab pulsar (Fig. 3-11) have verified the functions of the polarimeter. A long campaign to observe gamma-ray burst optical afterglows triggered by the SWIFT satellite is planned for May-July 2006.

Im Rahmen des von der EU geförderten OPTICON Konsortiums werden im MPE Halbleiterlabor ortsaflösende, hochempfindliche Detektoren für den optischen bis Nah-IR Spektralbereich entwickelt. Das Konzept dieser pnCCDs mit integrierter Avalanche Verstärkung eröffnet die Möglichkeiten von Einzelphotonenabbildung mit einer Zeitauflösung im sub-ms Bereich und ist deshalb für künftige Anwendungen in der ‚Hochgeschwindigkeits-Astronomie‘ von großem Interesse.

INTEGRAL wird von der DLR unter 50.OG. 9503.0 und der GLAST-Burst Monitor unter 50.QV.0003 gefördert.

As part of the EU funded consortium OPTICON we pursue the development of new technologies for high-time resolution astronomy. A highly sensitive detector for the optical to near infrared range, based on the concept of a pnCCD with integrated avalanche amplifiers, is under development at the MPE semiconductor laboratory. This device will allow imaging of single photons with a time resolution in the sub-ms range. Exciting new applications in future high-time resolution astronomy are possible with such an instrument.

INTEGRAL is supported by DLR under 50.OG. 9503.0, and the GLAST-Burst Monitor under 50.QV.0003.

3.3.3 Das MPI-Halbleiterlabor / The MPI Semiconductor Laboratory

Das Halbleiterlabor der Max-Planck-Institute für extraterrestrische Physik und für Physik (MPI-HLL) besteht in seiner jetzigen Form seit 1991. Seine zentralen Aufgaben sind die Entwicklung und die Fertigung von Halbleiterdetektoren für die Astrophysik und für die Hochenergiephysik. Derzeit arbeiten 22 Mitarbeiter/innen am MPI-HLL: Physiker, Elektrotechnik-Ingenieure, Physik-Ingenieure und Techniker. Hinzu kommen 7 Doktoranden und eine Diplomandin.

Die Fa. PNSensor unterstützt die Forschungsarbeiten der beiden Institute im Inhaltlichen und bei der praktischen Umsetzung. Neben den wissenschaftlichen Arbeiten sorgt PNSensor mit ihren 18 MitarbeiterInnen auch für die wirtschaftliche Verwertung der am MPI-HLL entwickelten Bauelemente.

Die vor uns liegenden Hauptprojekte aus dem Bereich der Röntgenastronomie sind die Fokaldetektorentwicklungen für die Missionen eROSITA, SIMBOL-X und XEUS. Bei XEUS sind wir zusätzlich an einem schnellen Röntgenphotonenzähler in Kollaboration mit dem CEA in Toulouse beteiligt. Für zeitlich hoch aufgelöste Messungen im optischen und nahen infraroten Wellenlängenbereich entwickeln wir zur Zeit eine Hochgeschwindigkeitskamera (HTRA, High Time Resolution Astrophysics). Sie basiert auf dem Verstärkungsprinzip mittels Avalanche-Prozessen.

Gemeinsam mit dem MPI für Physik sind wir an dem CAST Experiment am CERN beteiligt, das mithilfe eines supraleitenden Magneten (10 Tesla) solare Axionen nachweisen will. Die Hauptentwicklungsprojekte des MPI für Physik sind dünne aktive Pixel Sensoren (DEPFET-APS) für den zukünftigen internationalen Linearcollider (ILC) zur präzisen Spurvermessung, Röntgendetektoren für Vorversuche zu einem Myonenbeschleuniger-Projekt und Avalanche-Detektoren (SiPM) für das MAGIC Teleskop auf der Kanareninsel La Palma. Hier werden Einzelphotonenzähler im optischen Wellenlängenbereich benötigt, um das Fluores-

The semiconductor laboratory of the Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik and MPI für Physik (MPI-HLL) exists in its present form since 1991. Its main task is the development and production of semiconductor detectors for X-ray astronomy and high energy physics. To date 22 staff members are working at the MPI-HLL: physicists, engineers and technicians. In addition 7 PhD students and a master student are completing their thesis at the MPI-HLL.

The company PNSensor supports the research activities of both institutes in terms of scientific research and practical implementation of the projects. With its 18 employees PNSensor pushes besides research, the commercialization of the devices developed at the MPI-HLL.

The forthcoming major projects in X-ray astronomy are the focal plane developments for the missions eROSITA, SIMBOL-X and XEUS. In addition to the XEUS wide field imager (WFI) we are cooperating with the CEA in Toulouse in the field of a very fast spectroscopic X-ray counter (HXI). For highly time resolved measurements in the optical and NIR we are currently developing a high speed camera (HTRA, High Time Resolution Astrophysics), based on the amplification principle of Avalanche processes.

Jointly with the MPI for physics we are carrying out the CAST Experiment at CERN which is dedicated to the search of solar Axions with the help of a superconducting (10 Tesla) magnet. The major instrumentation research projects of the MPI for physics are: thinned active pixel sensors (DEPFET-APS) for the future international Linear collider (ILC) for precise tracking, X-ray detectors for basic studies towards a future muon collider and multicell avalanche drift detectors for the MAGIC telescope on the canary island La Palma. Single photon counting in the optical is needed for this experiment for the detection of the fluorescent

zenzlicht von hochenergetischen kosmischen Teilchen in Luftschaeuern zu messen.

light generated by high energetic particles in air showers.

Die Detektorfamilien vom MPI-HLL / Detector Families developed at the MPI-HLL

Die Halbleiter-Strahlungsdetektoren, die im HLL entwickelt werden, können in zwei Gruppen unterteilt werden, die durch ihre Bauelementetopologie gekennzeichnet sind: (a) pn- (Sperrschiicht-) Detektoren und (b) MOS (Isolated Gate) Detektoren. Unter (a) fallen auch die Siliziumstreifendetektoren oder Pad- und PIN-Detektoren.

Wir beschäftigen uns vorwiegend mit den Detektortypen, die auf dem Prinzip der Seitwärtsverarmung basieren. Dies sind Siliziumdriftdetektoren, pnCCDs und DEPFET Pixelsensoren. All diese Strahlungsdetektoren können mit Sperrschiicht Feldeffekttransistoren (JFETs) oder M(etal)-O(xid)-S(ilizium) Transistoren zur Signalverstärkung ausgestattet sein. Für spezielle Anwendungen z.B. im Optischen, entwickeln wir auch Avalancheverstärker, um einzelne Photonen zählen zu können. Auch sie sind in Siliziumdriftdetektor – artige Sensoren integriert.

Im Folgenden sind die wichtigsten Institutsprojekte und verwandte Studien zusammengefasst:

1. Siliziumdriftdetektoren
 - a) XEUS High Speed Spectrometer
 - b) Szintillationslichtauslese von harter Röntgenstrahlung für XEUS
 - c) Timing Studien zur Antikoinzidenz für Imager für harte Röntgenstrahlung
 - d) Kontrollierter Driftdetektor (CDD) für ortsaufgelöste Hochgeschwindigkeitsspektroskopie bei Raumtemperatur
2. pnCCDs
 - a) eROSITA: pnCCDs mit integrierten JFETs, betreibbar im Frame Store Mode
 - b) HTRA: pnCCDs mit Avalanche – Verstärkern, betreibbar im Split Frame Mode
 - c) Wellenfront-Sensoren für die adaptive Optik: pnCCDs (50µm, bis 1200 Bilder pro Sekunde, ENC=2 Elektronen)
3. aktive Pixelsensoren (DEPFETs)
 - a) XEUS Wide Field Imager (WFI)
 - b) SIMBOL-X, Nieder-Energie Makro Pixel Detektor
 - c) Studie zur Machbarkeit eines Röntgendetektors für BepiColombo

Es handelt sich hierbei um Bauelementkonzepte, die sich komponentenweise über das Siliziumdriftkammerprinzip miteinander verknüpfen lassen. Alle Detektoren sind je nach Anwendung für den Nachweis von elektromagnetischer Strahlung von 1 eV bis 10 MeV optimiert.

The semiconductor radiation detectors as developed at the MPI-HLL can be divided in two groups, characterized by their device topology: (a) pn-junction detectors and (b) MOS type isolated gate detectors. Silicon strip detectors or PIN and pad detectors belong to category (a) too.

In the MPI-HLL we mainly concentrate on detector types based on the principle of sideward depletion. These are silicon drift detectors, pnCCDs and DEPFET pixel detectors. All of those detectors could be equipped with JFET type transistors or M(etal)-O(xide)-S(ilicon) transistors for the low noise signal amplification.

For dedicated applications, e.g. in the optical, we develop amplifiers based on the Avalanche process to be able to count single optical photons in a binary way. They can equally be implemented in silicon drift detector type sensors.

The most relevant projects of our institute and related studies are summarized below:

1. Silicon drift detectors
 - a) XEUS High Speed Spectrometer
 - b) Scintillation light readout of hard X-rays on XEUS
 - c) Anticoincidence timing studies for hard X-ray imagers
 - d) Controlled drift detectors (CDD) for position resolved high speed spectroscopy at room temperature
2. pnCCDs
 - a) eROSITA: pnCCDs with integrated JFETs, operated in a frame store mode
 - b) HTRA: pnCCDs with Avalanche amplifiers, operational in split frame mode
 - c) Wave front sensors for adaptive optics systems: pnCCDs (50µm, up to 1.200 frames a sec., ENC= 2 electrons)
3. active Pixel Sensors (DEPFETs)
 - a) XEUS Wide Field Imager (WFI)
 - b) SIMBOL-X, low energy detector based on DEPFET macropixel
 - c) Feasibility study of an X-ray imager on BepiColombo

All of the detectors are connected component-wise through the silicon drift detector principle. They are all designed and optimized for the detection of electro-magnetic radiation in the range of 1 eV to 10 MeV.

Neben diesen Hauptprojekten arbeiten wir derzeit an zwei grundsätzlich neuartigen Detektorstrukturen. Dies sind (a) „gate-bare“ Pixeldetektoren und (b) Auslesestrukturen, die durch wiederholtes Auslesen (N-mal) derselben Signalladungen das Ausleserauschen um den Faktor \sqrt{N} reduzieren (non-destructive readout, NDR). Im Bereich der analogen, CMOS basierten Signalverarbeitung entwickeln wir neue Rauschfilteralgorithmen, die wir monolithisch in unsere hochintegrierten Verstärkerarrays (CAMEX) integrieren. Für die gewünschten rauscharmen hohen Bildraten z.B. für XEUS, führt dies zu einer Signalverarbeitungszeit von etwa 4 μs pro 64 oder gar 128 Pixel, wobei das Gesamtrauschen des Systems von 4 Elektronen nicht überschritten werden darf. Hier betreten wir bei der Signalfilterung wissenschaftliches Neuland.

Die von uns entwickelten Detektoren werden auch von anderen Max-Planck-Instituten für Synchrotronexperimente eingesetzt. Für die Anwendungen am Synchrotron sind die gleichen Optimierungen notwendig, wie für die Röntgenastronomie: große, homogen empfindliche Flächen, hohe Quantenausbeute, schnelle und rauscharme Auslese usw. Das in der MPG zunehmende Engagement an lichtstarken Quellen (z.B. die Röntgenlaser, XFEL) kann so durch die Erfahrungen in der Röntgenastronomie in effizienter Weise unterstützt werden.

Die „Zugpferde“ von eROSITA, SIMBOL-X und XEUS / The “State-of-the-Art Devices” for eROSITA, SIMBOL-X and XEUS

Im folgenden werden die Arbeiten an den neuen Detektoren für die Hauptexperimente der Röntgenastronomie vorgestellt:

pnCCDs: Der eROSITA Detektor ist, ebenso wie der XMM EPIC pnCCD ein rückseitig beleuchteter CCD Detektor. Allerdings besitzt er zusätzlich zum Bildbereich einen separaten Bildspeicherbereich. Auch haben seine Pixel eine Seitenlänge von $75\mu\text{m}^2$ statt $150\mu\text{m}^2$ wie bei XMM und seine sensitive Dicke ist $450\mu\text{m}$ anstatt $300\mu\text{m}$. Der gesamte Detektor kann mehrere hundert Mal pro Sekunde ausgelesen werden und hat selbst bei dieser hohen Bildrate ein sehr geringes Ausleserauschen von weniger als 3 Elektronen. Durch eine neue Fabrikationstechnik konnten auch die Ladungsverluste beim Transfer der Signalladungen um mehr als einen Faktor 20 verbessert werden.

In dem „Mesh-Experiment“ haben wir die Verbreiterung der Signalladung einer Punktquelle durch Diffusion und elektrostatische Abstoßung vermessen. Nach der Bewegung der Ladungen durch den Halbleiterkörper verbreitert sich eine zunächst mikroskopisch kleine Ladungswolke mit einem Durchmesser von etwa 100 nm auf etwa $6\mu\text{m}$ bis $8\mu\text{m}$ (rms). Das geringe Rauschen der pnCCDs, das unter optimalen Bedingungen nur 1.8 Elektro-

Beside the strictly project oriented work we are developing entirely new device structures. These are “gatable” Pixeldetectors and (b) devices with a non-destructive repetitive readout (NDR). They reduce the read noise with the square root of the number of readings (\sqrt{N}). In the field of CMOS based signal processing were are developing new filter algorithms which we intend to integrate in our CAMEX signal amplifier/processor. For the anticipated high rate, low noise image frames, as e.g. required for the XEUS WFI we need a signal processing time of less than 4 μs for 64 or 128 channels in parallel. In this case the total noise of the DEPFET and the CAMEX processor must not exceed 4 electrons (rms). Given the basic noise sources of the DEPMOSFET itself we are entering unknown territories in the scientific field of noise processing.

The detectors developed at the MPI-HLL are also used by other Max-Planck-Institutes for synchrotron radiation experiments. The application at synchrotron light sources face similar boundary conditions as in X-ray astronomy: large, homogeneous sensitive areas, high quantum efficiency, fast and low noise readout etc. The increasing interest and engagement in the new, brilliant light sources (e.g. the new X-ray laser XFEL in Hamburg) can be strengthened in an efficient way by the experience made in the focal plane instrumentation for X-ray astronomy.

The detectors for the main experiments on the instrumentation roadmap in X-ray astronomy will now be presented.

pnCCDs: As XMM-Newton's pnCCD detector, eROSITA will be equipped with a fully depleted back side illuminated CCD. In contrast to XMM it will have a separated imaging and frame store section. In addition the pixel size will be reduced from $150\mu\text{m}^2$ to $75\mu\text{m}^2$ and the sensitive depleted thickness will be $450\mu\text{m}$ instead of $300\mu\text{m}$. The entire detector can be read out several hundred times a second and still has a readout noise of less than 3 electrons (rms). A new fabrication technique has improved the charge transfer of the signal charges by a factor of at least 20.

With the help of the “mesh experiment” we have studied the widening of an initially very small signal charge cloud ($r<0.1\mu\text{m}$) through diffusion and electrostatic repulsion. During the drift of the charges into the pixel structure across the semiconductor body the charge cloud widens to $6\mu\text{m}$ to $8\mu\text{m}$ (rms) depending on temperature, number of electrons and interaction position. The very small readout noise of 1.8 electrons in optimum condi-

nen (rms) beträgt, erlaubt es, selbst bei niedrigen Röntgenenergien deren Ladungsverteilung noch genau zu vermessen, um dadurch die Position des Photons präzise bestimmen zu können. Aus diesen Arbeiten folgt, dass es bei unseren dicken Detektoren nicht sinnvoll ist, die Pixelgrößen kleiner als $25\mu\text{m}^2$ zu machen. Im Einzelphotonen-Messverfahren ist die Genauigkeit der Ortsmessung unter diesen Bedingungen ohnehin schon kleiner als $1\mu\text{m}$. Bei Intensitätsmessungen, d.h. bei der Sammlung von vielen Photonen in einem Pixel während eines Messzyklus', ist bei etwa $500\mu\text{m}$ Detektordicke eine physikalisch sinnvolle untere Grenze der Pixelgröße bereits bei etwa $25\mu\text{m}^2$ erreicht. Der Wunsch nach hoher Nachweiswahrscheinlichkeit im nahen Infraroten und bei Röntgenenergien oberhalb von 10 keV erzwingt aber eine sensitive Dicke von mehr als $300\mu\text{m}$. In unserer derzeitigen Technologie sind wir auf Pixelgrößen von etwa $20\mu\text{m}^2$ limitiert.

Bei der Implementierung eines NDR Verstärkers in einen pnCCD könnten wir das Ausleserauschen auf etwa 1 Elektron (rms) reduzieren. Für das sichere Auslesen einzelner optischer Photonen, wäre allerdings ein Ausleserauschen von mindestens 0.3, besser 0.2 Elektronen notwendig. Eine Brücke dorthin stellen die durch einen Avalanche Prozess verstärkenden pnCCDs dar.

Die Avalanche pnCCDs werden für das schnelle Zählen von optischen Photonen entwickelt. Sobald ein Elektron aus dem Bildbereich zum Ausleseknoten transferiert wurde, wird es im Innern des Halbleiterkörpers einer Elektronenvervielfachung zwischen 100 und 1.000 unterworfen. Jedes Mal wenn ein Ausgangssignal oberhalb einer Schwelle registriert wird, bedeutet dies ein detektiertes Photon. Wenn die Anzahl der zufälligen Trigger niedrig genug ist und der Messvorgang schnell genug vonstatten geht, kann man auf diese Weise bis zu 1.000 optische Photonen pro Pixel und Sekunde präzise vermessen – selbst wenn die Verstärkung inhomogen wäre. Die lineare Quellstärke erhält man dann über die zeitliche Integration aller (binären) Treffer. pnCCDs dieser Art, jedoch ohne den zwischengeschalteten Avalanche Verstärker, wurden bereits mit Bildraten von 1.200 pro Sekunde und einer Quanteneffizienz von über 85% von 350nm bis 1.100nm getestet. Für Anwendungen in der adaptiven Optik sind diese Detektoren ideal. Über ihre Implementierung wird bereits verhandelt.

DEPFET-APS: Die aktiven Pixeldetektoren für Röntgenstrahlung sind weltweit die einzigen Sensoren, deren gesamte Pixelfläche homogen sensitiv ist und einen Füllfaktor von 100% für die einfallende Strahlung haben. Diese Bauelemente wurden in der XEUS tauglichen Technologie fertig gestellt: Alle für XEUS relevanten Kriterien – bis auf die Auslesegeschwindigkeit – wurden bereits

tions allows for the precise reconstruction of the signal charge cloud distribution even at low X-ray energies. This way the position of the interaction point of the X-ray with the silicon, i.e. the position resolution of the instrument can be improved to better than $1\mu\text{m}$. But this also indicates that pixel sizes below $50\mu\text{m}^2$ on $500\mu\text{m}$ thick detectors are not any more helpful for the improvement of position resolution in a single photon detection mode. If operated in the integration mode, i.e. the collection of many photons in the pixel within one readout cycle a reasonable smallest pixel size is reached with $25\mu\text{m}^2$ pixels due to the charge spread function. The desire of high detection efficiency in the near infrared and at X-ray energies above 10 keV enforces a sensitive thickness of at least $300\mu\text{m}$. Our production technology is actually limited to pixel sizes of the order of $20\mu\text{m}^2$. The technological minimum feature size is about $1.5\mu\text{m}$.

The implementation of a non-destructive repetitive readout in a pnCCD could theoretically lead to noise figures around 1 electron (rms). For the save detection of single optical photons a readout noise below 0.3 electrons , better 0.2 electrons is required. One possibility are the recently developed avalanche amplified or electron multiplying devices, recently implemented in pnCCDs.

Avalanche type pnCCDs are being developed for the position resolved fast counting of optical Photons from the UV to the NIR. As soon as the signal electron has been transferred to the readout node it is submitted to an electron multiplication between 100 and 1.000 in the Avalanche structure. One terminal of the Avalanche device is coupled to gate of an integrated FET. Every hit above a reasonable threshold (e.g. 5σ) is considered to be a detected photon. Random triggers due to thermally generated electrons have to be kept at a minimum through perfect processing and cooling. Up to 1.000 optical photons per pixel can be recorded with such a system, even if the amplification process is inhomogeneous. The source brightness is obtained by counting the events above threshold. pnCCDs without the Avalanche amplification have already been tested up to 1.200 frames per second with a quantum efficiency (QE) above 85% from 350nm wavelength up to 1.100nm making them ideal for adaptive optics applications. Applications are being discussed actually.

DEPFET-APS: As Active Pixel Sensors (APS) for X-rays the DEPMOSFET arrays are the only ones having a 100% fill factor because of their back-illuminated topology. Those devices have been fabricated in a XEUS compatible technology with high yield. All XEUS type criteria have been matched, except for the readout speed. An energy resolution of 130 eV (FWHM) at 6 keV was

erfüllt. Eine Energieauflösung von 130 eV bei 6 keV wurde ebenso erreicht, wie die hohe Quanteneffizienz bis 15 keV, sowie homogene und tolerante Betriebsbedingungen für alle Pixel. Die Auslesegeschwindigkeit muss allerdings noch um einen Faktor 5 verbessert werden, um die hohe XEUS Bildrate von etwa 1000 Bildern pro Sekunde zu gewährleisten. Die Begrenzung der Auslesegeschwindigkeit ist nicht nur in dem DEPMOSFET Detektor begründet, sondern durch die peripheren Vielkanal-CAMEX Chips. Hier wird nun durch die Entwicklung eines neuen Signalfilterungskonzeptes Abhilfe geschaffen, dass an den DEPFET Systemen getestet werden soll.

Die bisherigen Bauelemente hatten Formate bis 64x64 Pixel mit einer Größe von $75 \times 75 \mu\text{m}^2$. Als nächstes werden Formate mit 256x256 und 512x128 hergestellt. Damit sind dann alle repräsentativen XEUS Untereinheiten in ihrer endgültigen Größe verfügbar.

Die Makropixeldetektoren sind den DEPFETs für XEUS sehr ähnlich: Um die verstärkende Einheit herum sind fokussierende Driftringe angeordnet, so dass sich Pixel verschiedenster Größen konfigurieren lassen. Dies geht von Zellgrößen eines Durchmessers von $25 \mu\text{m}$ bis hin zu einigen cm. Für den BepiColumbo Satelliten der ESA zur Erforschung des Merkur arbeiten wir an einer Machbarkeitstudie für einen Röntgen-Imager hinter einer Mikrokanaloptik. Für den SIMBOL-X Satelliten kommt ein sehr ähnliches System als Niederenergiendetektor zum Einsatz, das einen CZT Detektor für die harte Röntgenstrahlung ergänzt.

Technologisch, aber auch vom Bauelementkonzept her sind die Detektoren für XEUS, SIMBOL-X, BepiColombo identisch. Die Vielfalt der Missionen erfordert hier keinen erhöhten Entwicklungsaufwand.

achieved and a high QE up to 15 keV. The operating conditions were relaxed, homogeneous over the area and tolerant with respect to applied voltages. But the readout speed must be increased by a factor of 5 to obtain the high frame rates of 1.000 a second at an imager format of 1024×1024 pixel. The limitations in readout speed are not only due to a relatively small g_m in the DEPMOS but mainly due signal processing in the multichannel CAMEX chips. We hope to overcome that limitation by applying a new signal filtering concept fabricated in state-of-the-art CMOS technology. This will be tested in the near future.

Up to date DEPMOS formats up to 64x64 with a pixel size of $75 \times 75 \mu\text{m}^2$ have been tested. In a next step 256x256 and 512x128 will be produced. They will comprise all electrically representative subunits.

The macropixel detectors are basically silicon drift detectors surrounding a DEPFET amplifier: Around the amplifying unit, the DEPMOSFET drift rings are configured leading to manufacturable pixel sizes from $25 \mu\text{m}$ up to several cm. Depending on the application all kind of geometries can be realized. For the position resolving X-ray spectrometer MIXS on the BepiColumbo mission of ESA we study the feasibility of a macropixel detector behind micro channel optics. For SIMBOL-X a very similar but 25 times larger system will serve as the low energy detector in combination with a CZT detector for the hard X-rays.

Technologically and from the point of view of device concept the focal plane detectors for XEUS, SIMBOL-X and BepiColombo are identical. In this sense the variety of missions does not cause new detector developments.

3.4 Komplexe Plasmen / Complex plasmas

3.4.1 Weltraum- und Laboraktivitäten / Space and laboratory activities

Die Untersuchung komplexer Plasmen an unserem Institut wird nun seit über 10 Jahren durchgeführt. Unter komplexen oder staubigen Plasmen versteht man Plasmen in denen Mikropartikel, z.B. Staubteilchen, vorkommen. Wir benutzen dazu Mikrometer große Kugelchen (Plastik oder Silikat), die in ein Niedertemperatur-Edelgasplasma injiziert werden, welches durch eine Hochfrequenz-(RF) oder Gleichspannung (DC) gezündet und aufrechterhalten wird. Die Mikropartikel, die sich im Plasma stark negativ aufladen, zeigen eine höchst interessante Dynamik und Strukturbildung, wie z.B. die Bildung eines so genannten Plasmakristalls (s. Kapitel 2.5). Allerdings werden diese nicht-linearen Phänomene und Prozesse durch die Anwesenheit der Gravitation beeinflusst, sodass es für präzise Resultate oft notwendig ist, die Experimente unter Schwerelosigkeit durchzuführen. Dazu werden von unserem Institut Experimente in Parabelflugkampagnen, in Forschungsraketen und an Bord der internationalen Raumstation ISS durchgeführt.

PKE-Nefedov: Nach fünf Jahren erfolgreichem Betrieb auf der Internationalen Raumstation ISS ist das Plasmakristall-Experiment PKE-Nefedov nach zwei weiteren Missionen im Februar und Juli 2005 beendet worden. PKE-Nefedov war ein deutsch-russisches Projekt das im Rahmen einer engen wissenschaftlichen Kooperation zwischen dem russischen Akademie-Institut für Hochenergie-Dichten IHED und dem MPE durchgeführt wurde. Nur durch die speziellen Absprachen der Projektpartner ist dieses Projekt möglich geworden: Deutschland hat die Hardware für das Labor zur Verfügung gestellt und der russische Beitrag beinhaltet den gesamten Betrieb, inklusive Transport und Unterbringung auf der ISS.

Die Bundesministerin für Forschung und Bildung Edelgard Bulmahn hat im Rahmen ihres Russlandbesuches im Februar an unserer Mission teilgenommen. Vom Kontrollzentrum in Korolov sprach sie mit dem Kosmonauten Salizhan Sharipov während der Durchführung eines Plasmakristall-Experimentes (Abb. 3-12).

Kosmonaut Sergey Krikalev, der schon unsere ersten Experimente auf der ISS im März 2001 durchgeführt hat, beendet mit vier letzten Experimenten den Betrieb von PKE-Nefedov auf der ISS im Juli 2005. Durch seine große Erfahrung mit der Apparatur und seinem wissenschaftlichen Verständnis konnten wir sehr anspruchsvolle Experimente durchführen, die eine starke Einbeziehung des Kosmonauten in der Kontrolle der Experimente beinhaltete. Die letzten Daten wurden im November, nach Rückkehr von Sergey Krikalev mit

The research on complex plasmas started at our Institute more than 10 years ago. A complex or dusty plasma is a plasma containing microparticles, e.g. dust. Usually, we use micrometer sized spheres (from plastics or Silicate), which are injected into a low-temperature plasma that is excited and maintained by radiofrequency (RF) or direct current (DC) voltage. The microparticles that are charged highly negative in the plasma show very interesting dynamics and form structures, like e.g. the formation of the socalled plasma crystal (s. chapter 2.5). However, these non-linear phenomena and processes are influenced by the presence of gravity, so that it is necessary to perform experiments under microgravity conditions to achieve precise results. Therefore, our Institute performed and performs experiments on parabolic flights, sounding rockets and on board of the International Space Station ISS.

PKE-Nefedov: After five years of successful operation on the International Space Station ISS the plasma crystal experiment PKE-Nefedov was completed after two more missions in February and July 2005. PKE-Nefedov was a German-Russian project performed in close cooperation between the Russian Academy Institute for High Energy Densities IHED and MPE. Due to the special agreements of the project partners this project was made possible: Germany has provided the hardware for the laboratory and the Russian contribution contained the complete operation, including transport and accommodation on the ISS.

The Federal Minister of Research and Education Edelgard Bulmahn attended one mission during her official visit in Russia in February. She spoke with cosmonaut Salizhan Sharipov from the control centre in Korolov during the performance of a plasma crystal experiment (Fig. 3-12)

Cosmonaut Sergey Krikalev, who performed our first experiments on the ISS in March 2001 already, finalized the operational phase of PKE-Nefedov on the ISS in July 2005 with four experiments. Due to his great experience with the apparatus and his scientific understanding we could perform very ambitious experiments, which included a strong comprehension of the cosmonaut in the control of the experiments. The final set of data was transferred to the German side in November, after the return of Sergey Krikalev with a

einer Sojus-Rakete, an die deutsche Seite übergeben.



Mit über 25 referierten Publikationen ist PKE-Nefedov ein sehr erfolgreiches Projekt auf dem Gebiet der Mikrogravitationsforschung in fundamentaler Physik. Die gewonnenen Daten werden wohl noch viele Wissenschaftler für lange Zeit beschäftigen.

PK-3 Plus hat PKE-Nefedov als Nachfolgelabor Ende 2005 auf der ISS abgelöst. Es basiert, wie dessen Vorgänger, auf einer deutsch-russischen Kooperation mit identischen Absprachen zu Bau und Betrieb. 2005 wurden Trainings- und Flugmodell fertig gestellt und offiziell an die russische Seite übergeben. Im November wurde die Apparatur in Baikonur für den Start vorbereitet, so dass Anfang 2006, nach erfolgreichem Start am 21. Dezember und Transport zur ISS, mit dem Experimental-Programm begonnen werden kann.



Kosmonaut Tokarev, seit Oktober 2005 auf der ISS, wurde am Trainingsmodell trainiert und ist für die ersten Experimente im Januar 2006 vorgesehen. Auch der deutsche ESA Astronaut Thomas Reiter wurde an der Apparatur sowohl im Sternenstädtchen nahe Moskau (Abb. 3-13) als auch im EAC in Köln trainiert. Er ist für eine der nächs-

Soyus rocket.

Abb. 3-12: Prof. Morfill erklärt Bundesministerin Bulmahn das Plasmakristall-Experiment im Kontrollzentrum in Korolov. Prof. Fortov (rechts), ehemals Forschungsminister unter Präsident Jelzin, repräsentiert die russische Akademie der Wissenschaften. Kleine Bilder: Frau Bulmahn telefoniert mit Kosmonaut Sharipov, der gerade Plasmakristall-Experimente auf der ISS durchführt.

Fig. 3-12: Prof. Morfill explains the plasma crystal experiment to Federal Minister Bulmahn at the control centre in Korolov. Prof. Fortov (r.), former Federal Minister for Science under President Jelzin, represents the Russian Academy of Sciences. Insets: Mrs. Bulmahn telephones with the cosmonaut Sharipov, while just the plasma crystal experiment is performed on the ISS.

PKE-Nefedov is a very successful project in the field of microgravity sciences in fundamental physics with more than 25 refereed publications. The achieved data will probably employ many scientists for a long time.

PK-3 Plus has replaced PKE-Nefedov on the ISS as the successor laboratory end of 2005. It is based, as its precursor, on a German-Russian cooperation with identical arrangements concerning fabrication and operation. The training and flight model were finished and officially transferred to the Russian side in 2005. The apparatus was prepared for the launch in Baikonur in November, so that the experimental program can be started in the beginning of 2006 after the successful launch on 21st of December and its transport to the ISS.

Abb. 3-13: Der deutsche ESA-Astronaut Reiter (Mitte) wird von russischen Spezialisten (rechts: A. Lipaev (IHED); links: A. Drewel (GCTC)) am Trainingsmodell von PK-3 Plus im Sternenstädtchen nahe Moskau trainiert.

Fig. 3-13: The German ESA Astronaut Reiter (middle) is trained by Russian specialists (r.: A. Lipaev (IHED); l.: A. Drewel (GCTC)) on the training model of PK-3 Plus in star city close to Moscow.

Cosmonaut Tokarev, on board of the ISS since October 2005, was trained on the training model and is planned for the first experiments in January 2006. The German ESA Astronaut Thomas Reiter was also trained on the apparatus in star city close to Moscow (Fig. 3-13) as well as at EAC in Cologne. He is planned for one of the next ex-

ten Experimentserien vorgesehen.

PK-4 soll das Nachfolgeprojekt von PKE-Nefedov und PK-3 Plus auf der ISS werden. Im Gegensatz zu seinen Vorgängern wird das komplexe Plasma in einer Glasröhre (40 cm lang, 3 cm Durchmesser) untersucht, in der ein kombiniertes DC/RF-Plasma betrieben wird (Abb. 3-14, 3-15). Diese Apparatur ermöglicht insbesondere das Studium der flüssigen Phase komplexer Plasmen, wie z.B. von Strömungen in der Mikropartikelkomponente. Ein Ziel wird es sein, auf diese Weise den Übergang von laminarer zu turbulenten Strömung – einem der letzten großen Rätsel der klassischen Physik – auf dem mikroskopischen Niveau zu studieren. Ein anderes Thema könnte die Untersuchung des Verhaltens von komplexen Plasmen am kritischen Punkt im Phasenübergang vom Gas zur Flüssigkeit sein.

Es ist geplant, dass PK-4 ab etwa 2008 auf der ISS zum Einsatz kommt. Neben der Gewinnung neuer Erkenntnisse mit PK-4 sollen damit gleichzeitig auch Erfahrungen mit DC-Plasmakammern unter Schwerelosigkeit gesammelt werden, da eine solche Kammer später auch für das internationale Langzeitlabor IMPF auf der ISS verwendet werden soll.

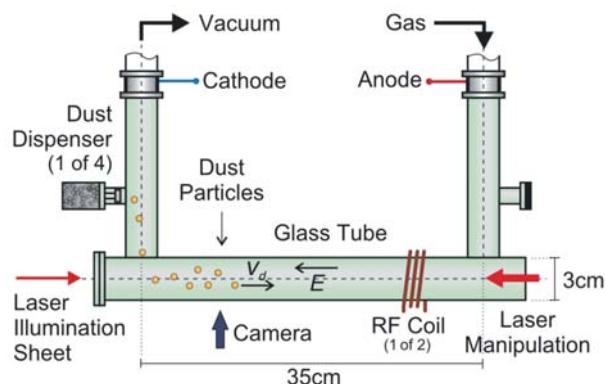


Abb. 3-14: Skizze der PK-4 Apparatur.

Fig. 3-14: Sketch of the PK-4 set-up.

Die vom DLR geförderte Vorentwicklungsphase zum Aufbau einer Labor- und Parabelflugeinheit und zur Durchführung von Labor- und Parabelflugexperimenten in Zusammenarbeit mit dem russischen Partnerinstitut IHED wurde Ende 2004 erfolgreich abgeschlossen. Eine Unterstützung der Fortführung dieser Arbeiten bis 2008 wurde uns vom DLR gewährt. Parallel dazu wurde zusammen mit IHED und der Industriefirma Kayser-Threde ein Angebot für eine Phase A/B zur Entwicklung eines Konzepts für PK-4 an Bord der ISS durch die ESA erstellt. Voraussichtlich wird diese Phase Anfang 2006 starten.

2005 wurden folgende Arbeiten und Experimente

periment series.

PK-4 will be the follow-up project of PKE-Nefedov and PK-3 Plus. Other than its predecessors, the complex plasma is investigated within a glass tube (length: 40 cm, diameter: 3 cm), in which a combined DC/RF plasma is produced (Fig. 3-14, 3-15). This set-up offers in particular the capability to study the liquid phase of complex plasmas, e.g. flow phenomena within the microparticle component. One aim is the investigation of the transition from laminar to turbulent shear flow – one of the last big puzzles of classical physics - on the microscopic level. Another topic could be the investigation of the behaviour of complex plasmas at the critical point of the gas-liquid phase transition.

PK-4 is planned to be utilized on the ISS from about 2008 on. Besides new scientific results, experiences with DC plasma chambers under microgravity will be gained as such a chamber is supposed to be used also for the international long-term laboratory IMPF onboard the ISS.

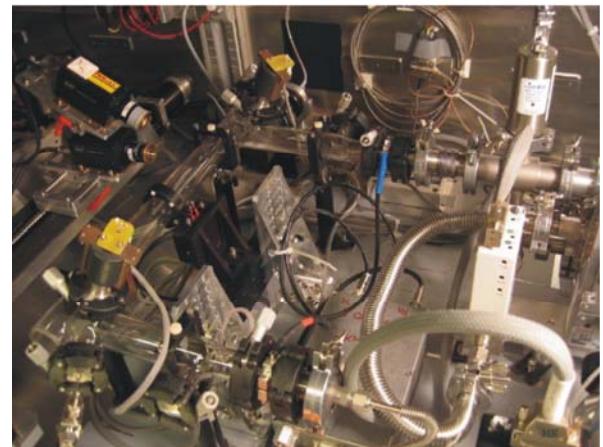


Abb. 3-15: Das „Innenleben“ der PK-4 Parabelflugexperimentiereinheit.

Fig. 3-15: Inside of the PK-4 parabolic flight rack.

The predevelopment phase supported by DLR for constructing a laboratory and parabolic flight experiment unit and for conducting laboratory and parabolic flight experiments in collaboration with the Russian partner institute IHED has been finished successfully at the end of 2004. A further funding of this work until 2008 was granted by DLR. At the same time an offer for a phase A/B investigation for developing a concept for PK-4 onboard the ISS to ESA was provided together with IHED and the industry company Kayser-Threde. This phase will start presumably at the beginning of 2006.

In 2005 the following investigations and experi-

mit PK-4 durchgeführt:

1. Nachdem ein leistungsstarker (maximal 20W Ausgangsleistung) Laser zur Manipulation der Mikropartikel angeschafft und in die Laboreinheit integriert worden war, konnten 2005 erste Experimente damit unternommen werden, die die Funktionstüchtigkeit der Lasermanipulation, z.B. zur Erzeugung von Scherfluss, demonstrierten.
2. Die Labor- und Parabelflugeinheiten wurden erweitert und verbessert (zusätzliche Kamera, neue Kamerasoftware, Verbesserungen am Gasregelsystem, Einbau einer DC-Modulation).
3. Die dritte ESA Parabelflugkampagne mit PK-4 im Oktober 2005 wurde erfolgreich durchgeführt und ausgewertet. Dabei wurden Experimente zur Simulation einer Düse, Kollisionsexperimente zwischen Teilchenwolken und Experimente zur Lasermanipulation und zur DC-Modulation getestet.
4. 2005 erschienen sechs Veröffentlichungen zu PK-4 in wissenschaftlichen Zeitschriften und es wurden neun Beiträge (Vorträge, Poster) auf internationalen Konferenzen und Workshops präsentiert.

Die Weiterentwicklung des Weltraumlabors **IMPF** (International Microgravity Plasma Facility), das für das europäische Modul Columbus auf der ISS vorgesehen ist, machte 2005 keine wesentlichen Fortschritte. IMPF soll zusammen mit dem Experiment ICAPS (Interactions in Cosmic and Atmospheric Particle Systems) zum Labor IMPACT (International Microgravity Plasma, Aerosol and Cosmic dust Twin) kombiniert werden. Ein Statusreport zum Projekt IMPACT wurde bei der ESA im März 2005 präsentiert.

Neben Untersuchungen komplexer Plasmen unter Schwerelosigkeit spielen Laborexperimente an unserem Institut eine zentrale Rolle. Dazu stehen uns mehrere Labors zur Verfügung, in denen neuartige Experimente, z.B. mit komplexen Plasmen in Magnetfeldern durchgeführt werden, Weltraumexperimente vorbereitet und neue Technologien, wie z.B. die adaptive Elektrode, entwickelt werden.

Folgende Labors werden zur Zeit betrieben :

1. Das GEC-Labor: Es wird eine speziell entwickelte GEC-RF-Reference Cell (Gaseous Electronics Conference) zur Untersuchung von stark gekoppelten Phänomenen in komplexen RF-Plasmen benutzt.
2. PK-3 Plus Labor: Entwicklungslabor für das nächste Weltraumexperiment.
3. PK-4 Labor: Entwicklungslabor für ein zukünftiges Weltraumexperiment.
4. Magnetlabor: Hier steht ein supraleitender Magnet mit einer Feldstärke von bis zu ~5 Tesla

ments were performed with PK-4:

1. After the acquisition of a powerful laser (maximum output power 20 W) for the manipulation of the microparticles and its integration within the laboratory set-up, first experiments could be conducted in 2005, demonstrating the functionality of the laser manipulation, e.g. for producing a shear flow.
2. The laboratory and parabolic flight experiment units were extended and improved (additional camera, new camera software, improvement of the gas control system, installation of a DC modulation).
3. The third ESA parabolic flight campaign with PK-4 in October 2005 was prepared, successfully carried out, and analysed. Experiments simulating a nozzle, particle cloud collisions, laser manipulation, and DC modulation were tested.
4. In 2005 six publications concerning PK-4 were published in scientific journals and nine contributions (poster, talks) were presented at international conferences and workshops.

The continuation of the development of the space laboratory **IMPF** (International Microgravity Plasma Facility), which is planned for the European module Columbus on the ISS, made no significant progress in 2005. IMPF shall be combined with the experiment ICAPS (Interactions in Cosmic and Atmospheric Particle Systems) within a common laboratory IMPACT (International Microgravity Plasma, Aerosol and Cosmic dust Twin). A status report for the project IMPACT was presented to ESA in March 2005.

In addition to investigations of complex plasmas under microgravity, laboratory experiments play a central role at our institute. For this purpose, several laboratories are available, in which new experiments are carried out, e.g. with complex plasmas in magnetic fields, space experiments are prepared, and new technologies, e.g. the adaptive electrode, are developed.

The following laboratories are used at the moment:

1. The GEC-Laboratory: A specially designed GEC-RF-Reference cell (Gaseous Electronics Conference) for investigating strong coupling phenomena in complex RF plasmas is used.
2. PK-3 Plus laboratory: Development laboratory for the next space experiment.
3. PK-4 laboratory: Development laboratory for a future space experiment.
4. Magnetic Laboratory: A superconducting magnet up to ~5 Tesla of highest homogeneity is

la von bester Homogenität zur Verfügung, in dem stark gekoppelte, stark magnetisierte Systeme auf dem fundamentalsten, dem kinetischen Level untersucht werden.

5. Paramagnetlabor: Dieses Labor dient zur Untersuchung stark gekoppelter Systeme mit magnetischer Dipolwechselwirkung – im Gegensatz zu elektrostatischer Wechselwirkung. Diese Systeme sind thermodynamisch „geschlossen“, wohingegen elektrostatische Systeme thermodynamisch „offen“ sind. Schwach gedämpfte geschlossene Systeme wurden bisher noch nicht auf dem kinetischen Level untersucht.
6. Das Adaptive Elektroden Labor: Es besteht aus einer großen Plasmakammer, welche elektronisch manipuliert werden kann (durch das Ansprechen einer segmentierten Elektrode) zur Erzeugung und Untersuchung kontrollierter dynamischer Prozesse in komplexen Plasmen.
7. Plasmakristall-Praktikumslabor: Der Versuch „Plasmakristall“ wird zur Ausbildung von Studenten im Rahmen des Fortgeschrittenenpraktikums der Technischen Universität und der Universität Ulm von unserem Institut zur Verfügung gestellt und betreut.
8. Diamanten-Wachstumslabor: Hier soll der Wachstumsprozesses von Diamanten durch Aufdampfen auf kleinen levitierten Partikeln studiert werden.
9. „Plasma-Fackel“: Dieses Labor wird für das Studium von Sterilisationsprozessen zur medizinischen Wundbehandlung durch atmosphärische Plasmen benutzt.

Die Projekte PKE-Nefedov (Förderkennzeichen FKZ 50 WM 9852), PK-3 Plus (FKZ 50 WB 0203), PK4 (FKZ 50 WP 0204, 50 WM 0504) und Adaptive Elektrode (FKZ 50 RT 0207) werden vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR gefördert.

3.4.2 Virtuelles Labor für komplexe Plasmen / Virtual Laboratory for Complex Plasmas

Das „Virtuelle Labor für komplexe Plasmen“, das das MPE mit dem Institute for High Energy Densities (IHED, Russia) verbindet, wurde in 2002 nach einem Abkommen zwischen der Max-Planck-Gesellschaft und der russischen Akademie der Wissenschaften gegründet. Es war naturgemäß für die zwei Institute die erste Partnerschaft dieser Art zu gründen. Es gibt viele gemeinsame Interessen im Labor, in theoretischen Untersuchungen und, speziell, in gemeinsamen Aktivitäten auf der Internationalen Raumstation, auf der das erste naturwissenschaftliche Experiment PKE-Nefedov erfolgreich etabliert werden konnte. Die offizielle Eröffnungszeremonie des virtuellen Labors fand im Weltraum-Kontrollzentrum (Korolev) im Februar

available. In this laboratory strongly coupled and strongly magnetised systems will be studied at the most fundamental (the kinetic) level for the first time.

5. Paramagnetic Laboratory: This laboratory is used for the study of strongly coupled systems with magnetic dipole interactions – in contrast to electrostatic interactions. These systems are thermodynamically “closed”, whereas electrostatic systems are thermodynamically “open”. Weakly damped closed systems have not been studied before at the kinetic level.
6. Adaptive Electrode Laboratory: It consists of a large plasma chamber which can be manipulated electronically (through addressing a segmented electrode) to generate and investigate controlled dynamical processes in complex plasmas.
7. Plasma crystal educational laboratory: The experiment “Plasma Crystal” is made available by our institute for the education of students within the physics study at the Technical University Munich and the University of Ulm.
8. Diamond Growth Laboratory: The growth process of diamonds from vapour deposition on small levitated particles is under investigation.
9. Plasma Torch Laboratory: It is used for the study of sterilisation possibilities of atmospheric plasmas for wound treatment in medicine.

The projects PKE-Nefedov (Förderkennzeichen FKZ 50 WM 9852), PK-3 Plus (FKZ 50 WB 0203), PK4 (FKZ 50 WP 0204, 50 WM 0504) and Adaptive Electrodes (FKZ 50 RT 0207) are supported by the German Aerospace Center DLR.

The “Virtual Laboratory for Complex Plasmas”, linking the MPE and the Institute for High Energy Densities (IHED, Russia), was formed in 2002 following an agreement between the Max Planck Society and the Russian Academy of Sciences. It was natural for the two institutes to create the first partnership of this type. There have been already many common interests in laboratory research, in theoretical studies and – especially – in joint activities on the International Space Station, where the first natural science laboratory “PKE-Nefedov” has been successfully established. The “official” opening ceremony of the Virtual Laboratory was held in February 2005 in Space Flight Control Center (Korolev), with the participation of the Federal Minister of Research and

2005 statt, unter Beteiligung der Bundesministerin für Bildung und Forschung, Edelgard Bulmahn (Abb. 3-16).

Viele Themen wurden angegangen und vollendet seit das Labor gegründet wurde. Die gemeinsame Forschung wurde so koordiniert, dass es uns möglich war Synergien herzustellen, um größtmöglichen Nutzen der beschränkten Mittel für beide Seiten zu erzielen. Dies sieht man am besten bei den Weltraumprojekten, welche keines der beiden Institute unabhängig hätte durchführen können. Wir haben Information und Wissen ausgetauscht, vervollständigten unsere Forschung und unsere Entwicklungsaktivitäten in Theorie und Experimenten, sowie in numerischen Simulationen und Datenanalyse. Diese Kooperation hat schon zu mehr als 100 Veröffentlichungen geführt.

Education, Edelgard Bulmahn (Fig. 3-16).

Many things were accomplished since the Laboratory was established. The joint research is coordinated to such an extent that we have been able to create synergies and produce greater value within the limited resources available for both of us. This is best seen in space projects, which neither of the two institutes could have carried out independently. We have exchanged information and know-how, complementing our research and development activities in theory and experiments, as well as in numerical simulations and data analysis. This collaboration has already led to more than 100 publications.



Abb. 3-16: Der gemeinsame 3-Jahresbericht des Virtuellen Labors wird der Bundesministerin für Bildung und Forschung Bulmahn von Prof. V. Fortov (IHED, links) und Prof. G. Morfill (MPE, rechts) vorgestellt.

Fig. 3-16: The three-year joint report of the Virtual Laboratory is presented to the Federal Minister of Research and Education Bulmahn by Prof. V. Fortov (IHED, left) and Prof. G. Morfill (MPE, right).

3.4.3 Forschergruppe „Experimentelle Komplexe Plasmen“ / Research Group “Experimental Complex Plasmas

Seit Beginn des Jahres wird im Rahmen einer Forschergruppe die Arbeitsrichtung experimentelle komplexe Plasmen von der Max-Planck-Gesellschaft gefördert. Sie ist als Nachfolge des Centre for Interdisciplinary Plasma Science (CIPS) eingerichtet worden, das Ende 2004 nach fünf Jahren abgeschlossen wurde. Die Forschergruppe gewährleistet Kontinuität vor allem im Hinblick auf die Programme unter Schwerelosigkeit, PKE-Nefedov, PK-3 Plus, PK-4 und IMPACT, die sich während der CIPS-Laufzeit entwickelt haben. Die Laufzeit der Gruppe ist auf 5 Jahre angelegt mit Verlängerungsmöglichkeiten.

Since the beginning of this year a research group for experimental complex plasmas has been established, funded by the Max Planck Society. It is set up as a successor of the Centre for Interdisciplinary Plasma Science (CIPS) which finished end of 2004 after 5 years of operation. The research group assure continuity especially in view of the program under microgravity, PKE-Nefedov, PK-3 Plus, PK-4 and IMPACT, which developed during the operation time of CIPS. The duration of the group is aimed to 5 years with possibility of prolongation.

3.5 Wissenstransfer / Know-how Transfer

Komplexitäts Analyse / Complexity Analysis

Die Arbeitsgruppe „komplexe Systeme“ beschäftigt sich mit der Entwicklung und Anwendung von Methoden der fortgeschrittenen und spezialisierten Datenanalyse, sowie mit der Modellierung von Daten im Allgemeinen. Dabei ist die Gruppe in einer Reihe interdisziplinärer Kooperationen in ganz verschiedenen Forschungsbereichen aktiv. Zu den Themenbereichen, zählen z.B. die raumzeitliche Charakterisierung der Hirnaktivität aus EEG Aufzeichnungen, die Entwicklung von Techniken zur Mustererkennung oder die quantitative Bewertung von Knochenstrukturen für die Osteoporose-Diagnose. Im folgenden fokussieren wir auf drei Beispiele aus unserer Arbeit, die stellvertretend für typische wissenschaftliche Problemstellungen stehen: Die Entwicklung einer neuen Methode zum Nachweis von Nichtlinearitäten in Zeitreihen anhand von Fourierphasen, die Verwendung von Niedertemperatur-Plasmen zur *in-vivo* Sterilisation von Keimen sowie molekulodynamische Modellierung von DNA-Segmenten.

Methoden zur Zeitreihenanalyse, die auf der Fouriertransformation basieren, sind weit verbreitet, wobei bisher nur selten von den Informationen Gebrauch gemacht wird, die in den Fourierphasen kodiert sind. In der Kosmologie hat die Analyse der Fourierphasen in Photonenkarten Interesse gefunden, da sich hiermit Korrelationen höherer Ordnung und nicht-Gauß'sche Signaturen in der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung erkennen lassen. Wir haben diesen Ansatz zum Nachweis nichtlinearer Korrelationen in Zeitreihen vor dem Hintergrund folgender Überlegungen herangezogen: Für eine Zeitreihe, die eine Gaußverteilung besitzt und lediglich lineare Korrelationen aufweist, sind die Fourierphasen uniform und zufällig verteilt. Informationen, die über die des Powerspektrums hinausgehen, finden sich in den Phasen und führen zu einer Abweichung von der zufälligen Verteilung. Sind die Phasen unkorreliert, so liefert eine Darstellung der Phase einer jeden Frequenz gegen die um Δ verschobene Frequenz eine zufällige Punktverteilung. Nichtlineare Korrelationen lassen sich an Strukturen in dieser Punktverteilung erkennen. Wir quantifizieren die gesuchte Abweichung von der Zufälligkeit in solchen Streudiagrammen mit Hilfe der mutuellen Information.

Ein Hauptergebnis unserer theoretischen Untersuchungen (z.B. am bekannten Lorenz-System) ist, dass Standardtests, die auf den vielfach genutzten ITAAFT-Surrogaten basieren fragwürdig sind, da während des Iterationsprozesses Phasenkorrelationen generiert werden können.

Als ein Beispiel für Modellselektion wendeten wir die neue Methode auf Finanzdaten an. Die

The working group “complex systems” deals with the development of methods for advanced and specified data analysis, with the application of these methods, and with data modelling problems in general. Hereby, the group is very involved in a number of interdisciplinary cooperations in various fields. Some of the topics, which will not be described in detail here, are the spatio-temporal characterisation of the brain activity from EEG recordings, the development of techniques for pattern recognition, and the structural assessment of bone structures for the diagnostic purposes of osteoporosis. In the following we focus on three examples of our work in greater detail, representing typical scientific approaches: A newly developed method for unveiling nonlinearities in time series using Fourier phases, first results in the use of low temperature atmospheric plasma for germ sterilization *in-vivo*, and the molecular modelling of DNA segments.

Time series analysis methods based on the Fourier transformation are extensively used. However, only few attempts have been made so far to exploit the information contained in the Fourier phases. In cosmology the analysis of Fourier phases of photon maps has attracted some attention as it allows the identification of higher-order correlations and non-Gaussian signatures in e.g. the cosmic microwave background. We adapted these ideas for detecting nonlinear temporal correlations in time series with the following basic ideas in mind: If a time series had a Gaussian distribution and only contained linear temporal correlations, the Fourier phases would be random and uniformly distributed. Any information beyond that contained in the power spectrum is coded in the phases and leads to deviations from the random distribution. If the phases are uncorrelated, then drawing the phases of all frequencies k against the phases of the shifted frequencies $k+\Delta$ yields a randomly distributed scatter plot. Nonlinear correlations, however, will show up as structures in this map. We analysed such maps by means of the mutual information that gives a quantitative measure for the deviation from random distributions.

A major result of our theoretical investigations (e.g. of the well-known Lorenz system) is that standard tests based on the widely used ITAAFT-surrogates may be questionable, since during the iteration process phase correlations can be induced.

As an example for model selection, we applied the new methodology to financial time series.

Wahrscheinlichkeitsverteilung der „returns“ von Aktienindizes, wie dem Dow-Jones, folgen näherungsweise einem Potenzgesetz. Mikroskopische Modelle geben Hinweise darauf, dass dieses Skalierungsverhalten durch Perkolationsphänomene oder stochastische Prozesse mit multiplikativen Rauschen hervorgerufen sein kann.

Daher untersuchten wir zwei jüngst vorgeschlagene Modelle, in denen die „Händler“ als „Spins“ behandelt werden. Sie sind Fluktuationen ausgesetzt (Wärmebad) und gekoppelt durch zufällige, zeitabhängige „Ising“-artige Wechselwirkungen.

Im ersten Modell ist die Anzahl der Händler konstant („closed market“-Szenario), die topologische Struktur des Wechselwirkungsnetzes wird vernachlässigt. Das zweite Modell nutzt einen stochastischen zellulären Automaten auf einem regulären zwei-dimensionalen Gitter und simuliert ein „open market“-Szenario, bei dem die Anzahl der Agenten variieren kann.

Stock indices like the Dow Jones do exhibit a rather universal power law behaviour of the probability distribution of their returns. Microscopic models revealed that such scaling can result from diverse phenomena such as percolation or stochastic processes with multiplicative noise.

We investigated two recently proposed models in which the traders are treated as spins. They are exposed to fluctuations (a heat bath) and coupled by randomly time-dependent Ising-like interactions.

In the first model the number of traders is fixed (closed market scenario) and the topological structure of the interaction network is considered to be unimportant. The second model simulates an open market by allowing variations in the number of agents within the framework of stochastic cellular automata (CA) arranged on a regular two-dimensional grid.

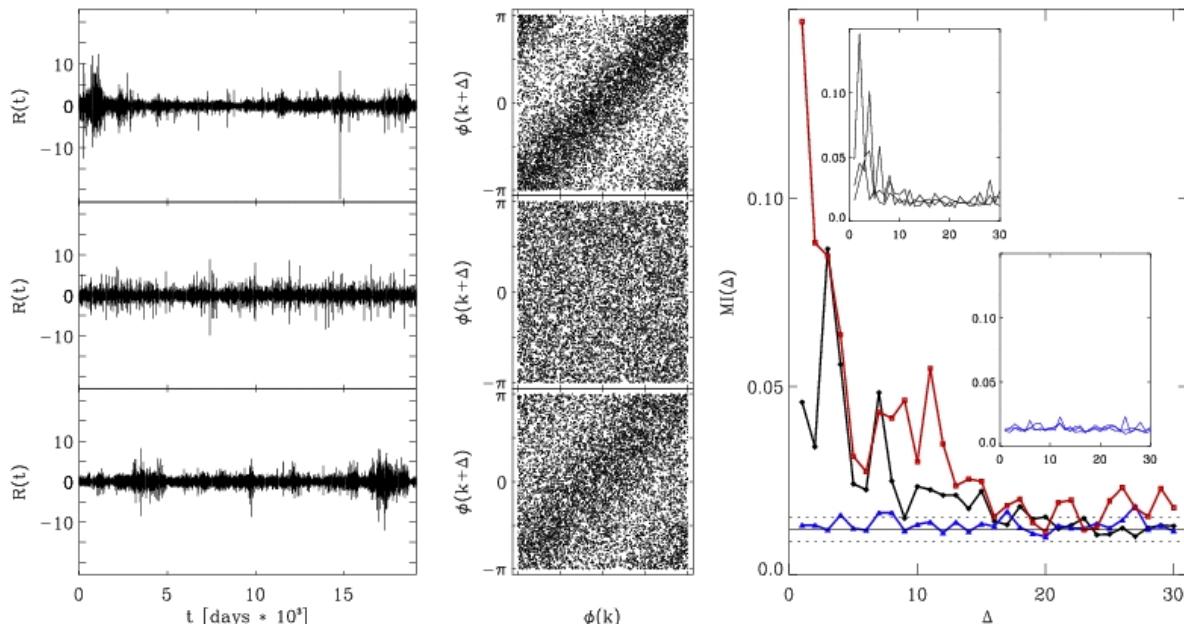


Abb. 3-17: (links) Normalisierte „returns“ des Dow-Jones (oben), des „geschlossenen“ (Mitte) und „offenen“ (unten) Marktmodells. Die zugehörigen Phasenstreudiagramme zeigen die mittlere Spalte. Die Diagramme ganz rechts zeigen die mutuelle Information (MI) für Dow-Jones (rot), „geschlossenes“ (blau) und „offenes“ (schwarz) Marktmodell.

Fig. 3-17: (left) Normalised returns of the Dow-Jones (top), the closed market model (middle) and the open market model (bottom). The respective phase maps are shown in the middle panel. The most right figure shows the mutual information (MI) for the Dow-Jones (red), the closed market model (blue) and the open market model (black).

Abbildung 3-17 (links) zeigt die normalisierten „returns“ des Dow-Jones und die simulierten Daten der beiden Marktmodelle. Die zugehörigen Phasenstreudiagramme für $\Delta=1$ sind in der mittleren Spalte gezeigt. Ganz offensichtlich sind Korrelationen im Falle des Dow-Jones und des „offenen“ Modells, während keine Korrelationen im Szenario des geschlossenen Marktes erkennbar sind. Die Berechnung der mutuellen Information bestätigt quantitativ, dass der Dow-Jones

Figure 3-17 (left panel) shows the normalised returns of the Dow-Jones and the two market models. The corresponding phase maps for $\Delta=1$ are displayed in the middle panel. Phase correlations are obvious for the Dow-Jones and the open market model. No visible correlations are found for the closed market scenario. Considering the mutual information for the various maps (right panel) we observed that the Dow-Jones data exhibit statistically highly significant phase correla-

statistisch hoch signifikante Phasenkorrelationen aufweist, die jedoch für große Phasenverschiebungen verschwinden. Ähnliche Korrelationen finden sich für das Modell des „offenen Marktes“, während im geschlossenen Marktmodell nur sehr schwache Korrelationen auftreten. Diese Eigenschaften hängen dabei nicht von den Parametern der Simulation ab (siehe Insert in Abb. 3-17, rechts). Dies deutet auf eine erheblich bessere Übereinstimmung zwischen dem Dow-Jones und dem Modell des offenen Marktes hin, in dem die Händler Gruppen unterschiedlicher Größe bilden können. Dieses Marktmodell kann nicht nur die empirisch gesicherten Eigenschaften erklären, sondern trägt vermutlich auch zu den beobachteten nichtlinearen Merkmalen in den Fourierphasen bei.

Ein jüngst begonnenes Projekt, welches die Nutzung von Niedertemperatur-Plasma für Medizinanwendungen untersucht, nutzt die experimentellen Erfahrungen der „Komplexen Plasmen“-Gruppe und die analytischen Entwicklungen der Gruppe „Komplexe Systeme“ aus einem früheren Dermatologie-Projekt. Während atmosphärische Plasmen bereits zur Sterilisation medizinischer Instrumente genutzt werden, ist ihre in-vivo Anwendung noch weitgehend unerforscht. Eigenschaften wie Qualität und Geschwindigkeit der Plasma-Sterilisation, die Penetration auch kleiner Hohlräume und die kontaktfreie Behandlung wären jedoch für viele medizinische Anwendungen sehr nützlich. Um diese Vorteile in-vivo nutzbar zu machen, wurde ein sogenanntes „Tandem-Projekt“ mit der Ludwig-Maximilians-Universität/Krankenhaus München Schwabing (Prof. Stolz, Dr. Schmidt) und ADTEC Plasma Technology Co., Ltd. (Japan) begonnen. Ziel ist der Einsatz dieser neuen Technik in der Therapie chronischer Fuß- und Beinulzera. Da etablierte Therapiemethoden ungewollte Nebenwirkungen haben, versprechen Niedertemperatur-Plasmen bessere therapeutische Möglichkeiten bei bakterieller Superinfektion chronischer Wunden. Dies gilt insbesondere für Bakterien, die Resistzenzen gegen eine Vielzahl von Antibiotika entwickelt haben.

In unserer Gruppe wurde eine neue unter Atmosphärendruck arbeitende Plasmaquelle (Mikrowellen-„Plasma-Torch“) entwickelt und an verschiedenen Bakterienkulturen und humanen Hautproben getestet. Abb. 3-18 zeigt eine Konstruktionsskizze des Plasmagerätes. Es besteht aus 6 Al-Elektroden, die sich im Inneren eines 135 mm langen Al-Zylinders befinden. Um möglichst wenig toxische Gase zu produzieren wird Argon als Trägergas verwendet. Die Mikrowellenleistung bei 2,45 GHz wird durch Koaxialkabel und über einen 2-Wege-Tuner zu den Elektroden geführt. Insgesamt werden so sechs kleine Plasmaquellen zwischen den Elektroden und der In-

tions that vanish for higher phase shifts. The open market model also shows significant phase correlations for small values of Δ , while only weak correlations were found for the closed market. These characteristics do not change when varying the parameters of the simulations (see inserts in Fig. 3-17, right panel). In this way, we found a much better agreement with the Dow Jones data for the open market model, in which the active traders can form clusters of different size. This market model is therefore not only able to account for the “stylised facts” of the fluctuations but also to reproduce to some extend the newly discovered nonlinear features as contained in the Fourier phases.

A recently started project, which investigates the use of low temperature plasma for medical applications, benefits from the experimental experience of the “complex plasma group” and from previous work in dermatology of the “complex systems group”. While atmospheric plasma is already used for the sterilisation of medical instruments, its in-vivo application is practically unexplored. However, its properties like quality and speed of sterilisation, penetration of small cavities and contact-free treatment would be beneficial in many medical applications. To utilise these advantages in-vivo investigations have been started within the framework of a so-called “tandem-project” in cooperation with the Ludwig-Maximilians-Universität/Krankenhaus München Schwabing (Prof. Stolz, Dr. Schmidt) and ADTEC Plasma Technology Co., Ltd. (Japan). The project aims to apply this new technique at first to the therapy of chronic foot and leg ulcers. Since established methods have unwanted side-effects, low-temperature plasmas promise to be a better way to treat bacterial superinfection in chronic wounds. This applies particularly in the presence of some bacteria showing a broad spectrum of resistance to antimicrobial agents.

In our group, a new plasma source (a microwave plasma torch) at atmospheric pressure has been developed and tested on different bacteria strains and human skin samples. A sketch of this plasma torch is shown in Fig. 3-18. It consists of 6 Al electrodes placed inside an Al cylinder of 135 mm in length. A gas is used in order to minimize the production of toxic gases. Microwave power of 2.45 GHz is applied to the electrodes through coaxial cables via a 2 stub tuner. Six small plasma sources are produced between each of the electrode's tips and the inner surface of the cylinder as shown in Fig. 2.

nenwand des Zylinders erzeugt.

Abb. 3-18: Die Plasma-Torch: Schema und aktives Gerät (Blick von unten).

Fig 3-18: Sketch of the plasma torch device and bottom view of the active plasma torch.

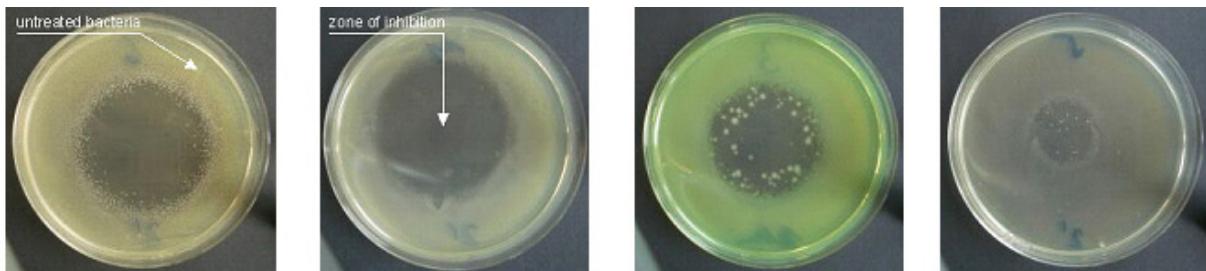
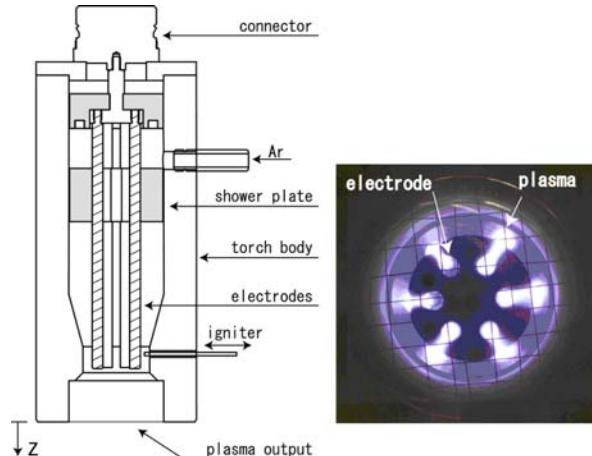


Abb. 3-19: Plasmabehandelte Bakterienkulturen auf Agar-Platten (v.l.n.r): methicillin-resistenter Staphylokokkus aureus, Burkholderia cepacia, Pseudomonas aeruginosa, Enterokokkus faecalis. Die Effizienz der Plasmabehandlung (ablesbar an der Größe des Hemmhofes) variiert mit der Spezies.

*Fig. 3-19: Treated bacteria samples on agar plates (from left to right): methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, *Burkholderia cepacia*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis*. The efficiency of the plasma treatment can be measured by the size of the zone of inhibition and depends on the species.*

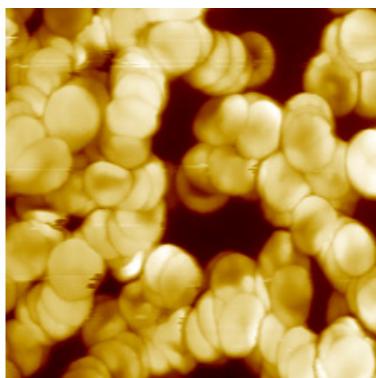
Das axiale Profil der Gastemperatur wie auch die Charakteristika des Plasmapotentials wurden in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen wie z.B. Mikrowellenleistung und Gasfluss bestimmt. Die Geräteentwicklung wurde von den Messungen der antibakteriellen Wirkung und der medizinischen Verträglichkeit begleitet. Mit dem so entworfenen Gerät wurden die Eigenschaften der Plasmabehandlung ex-vivo evaluiert. Die Wirkung der Behandlungszeiten auf die Bakterienkulturen wurde in einer Serie von Experimenten mit *Escherichia coli* und *koagulase-negativen Staphylokokken* (KNS) auf Agarplatten untersucht. Diese Spezies repräsentieren gram-positive und gram-negative Bakterien, die sich im Aufbau der Zellmembran unterscheiden. Aus den Ergebnissen dieser Experimente wurden Behandlungsdauer und der Abstand der Torch zur Probe abgeleitet, die für eine effektive Keimreduktion ohne Gewebeschädigung notwendig sind.

Aus medizinischer Sicht verursacht eine Vielzahl von Bakterien durch Infektion oder Besiedelung der Ulzera eine Verlängerung des Wundheilungsprozesses. Daher haben wir die Effektivität der Plasmabehandlung an zwölf verschiedenen Bakterienstämmen untersucht. Zusätzlich teste-

We have investigated the axial profile of the gas temperature and the plasma potential characteristics depending on the operating conditions, such as e.g. microwave power and gas flow rate. The development of the device parameter was accompanied and guided by measurements of the bactericidal efficiency and medical compatibility. In the final setup, the properties of the plasma treatment were evaluated ex-vivo. The effect of different exposure times of the bacteria to the plasma was investigated in a series of experiments with *Escherichia coli* and *coagulase negative Staphylococci* (CNS) on agar plates. They represent gram negative and gram positive bacteria, which differ in the structure of the cell membranes. From these experiments we determined exposure times and exposure geometry appropriate for an effective germ reduction using the plasma torch, without harming the tissue.

In medical practice, infection or colonisation of ulcers by different species of bacteria results in prolonged wound healing. Therefore, we investigated the efficiency of plasma treatment on twelve bacteria strains. Additionally, we tested a strain of *Candida albicans*, the fungus which is most frequently correlated to human disease. The treatment was effective on every tested strain,

ten wir *Candida albicans*, den Pilz der am häufigsten mit Erkrankungen in Verbindung gebracht wird. Die Behandlung war für jeden der getesteten Stämme effektiv, wobei der Wirkungsgrad allerdings vom einzelnen Stamm abhängt. Dies wird auch durch die Größe der Hemmhöfe in Abb. 3-19 wiedergegeben. Kultiviert man überlebende Bakterien und unterzieht diese einer weiteren Behandlung, so stellt man keine Behandlungsresistenz fest. Auch zeigten Untersuchungen der biochemischen Eigenschaften und der Antibiotikaresistenz keine Unterschiede zu unbehandelten Kulturen.



while its efficiency varied (as exemplified e.g. by the size of the zone of inhibition of growth in Fig. 3-19). Culturing and retreating surviving bacteria proved that they are not resistant to plasma treatment. Furthermore, biomedical investigations of their metabolic profiles and their susceptibility to antibiotics revealed no differences to untreated bacteria.

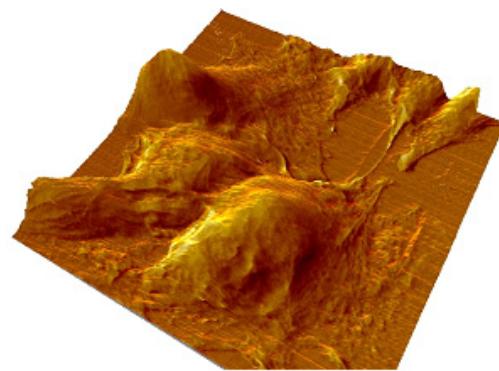


Abb- 3-20: AFM-Aufnahmen einer behandelten humanen Blutprobe (links) und HeLa-Zellen (rechts).

Fig. 3-20: AFM-images of plasma treated human blood (left) and HeLa cells (right).

Nach dem Nachweis der keimabtötenden Eigenschaften der Plasmaexposition haben wir die Verträglichkeit der Behandlung für den Menschen untersucht. Hierzu wurde die Wirkung der Behandlung auf menschliches Blut, auf sogenannte HeLa-Zellen (Epithelzellen aus einem Zervix-Karzinom) und auf gesunde humane Hautzellen sorgfältig untersucht. Abhängig von der Natur der Probe wurden verschiedene Verfahren wie z.B. Blutbild, histologische Untersuchungen oder auch AFM-Aufnahmen angewandt. In keinem Test konnten signifikanten Unterschiede zu unbehandelten Kontrollproben ausgemacht werden (Abb. 3-20), solange die Behandlungsdauer nicht unangemessen lang war.

Die keimabtötende Wirkung und die Untersuchungen der medizinischen Verträglichkeit stellen eine solide Basis für die Annahme dar, dass die Plasmabehandlung den Wundheilungsprozess unterstützt. Mittlerweile wurde eine klinische Studie begonnen, die sich dieser Frage widmet (Abb. 3-21). Neben statistischer Auswertung wird der Heilungsverlauf mit Hilfe spezifischer Bildanalyseverfahren charakterisiert. Diese basieren vorwiegend auf – teilweise proprietären – nichtlinearen Datenanalysemethoden, die sich mittlerweile in verschiedenen Anwendungen bewährt haben.

In Zusammenarbeit mit dem Department für Geo- und Umweltwissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München wurden molekulare

After the efficiency of the plasma treatment was demonstrated, we investigated whether the treatment is compatible with humans. For this purpose the effect of the treatment on human blood, on so-called HeLa-cells (epithelial cells from carcinoma), and on healthy human skin cells was carefully investigated. Among other tests, depending on the biological material (such as blood counts and histological imaging), AFM-images have been taken. In all this tests no significant differences with respect to the untreated control sample could be found (Fig. 3-20), as long as the treatment time is within reasonable limits.

The bactericidal effect of the plasma treatment and the experiments investigating the medical compatibility constitute a solid basis for the assumption that plasma treatment will assist the process of wound healing. Meanwhile a clinical study targeted to this question has been started (Fig. 3-21). Beside statistical evaluation, the progress of wound healing will be characterised using specific image analysis techniques. They are predominantly based on nonlinear data analysis methods that are partially proprietary and approved in several applications.

In collaboration with the Department of Earth- and Environmental Sciences of the Ludwig-Maximilians-Universität München molecular simu-

Simulationen von kurzen DNA- Fragmenten, die immuno-regulatorische Effekte haben und als Pathogen-assoziierte molekulare Strukturen eine schnelle Immunantwort auslösen, durchgeführt.

Iations of short DNA fragments have been conducted, which have immunoregulatory effects and are recognized as a pathogen-associated molecular pattern that triggers a rapid immune response.



Abb. 3-21: Plasmagerät aus der klinischen Studie (links). Der bewegliche Arm erlaubt das Positionieren der Plasma-Torch über dem zu behandelten Wundbereich. Für eine objektive und reproduzierbare Evaluierung des Heilungsprozesses werden die Wunden quantitativ mit Bildanalyseverfahren bewertet.

Fig. 3-21: The left image shows the plasma device used in the clinical study. The movable arm allows positioning the plasma torch directly over the wound area. In order to obtain an objective and reproducible evaluation of the healing process, the wounds will be characterised quantitatively using image analysis techniques.

Die untersuchten Fragmente werden, aufgrund des Vorkommens der DNA-Base Cytosin zusammen mit mehreren Fragmenten der DNA-Base Guanin, C poly G Oligo-Desoxy-Nucleotide (CpG ODN) genannt. Strukturelle Analyse der Wechselwirkung von CpG Motiven und auf der Zelloberfläche angesiedelten sogenannten Toll-ähnlichen Rezeptoren, führt zu einem besseren Verständnis, wie sich das Säugetierimmunsystem entwickelt hat, um Krankheitserreger gezielt zu erkennen. Die Analyse gibt neue Ansätze für die gezielte Anwendung von DNA-Technologie bei DNA-Impfstoffen, Gen-Therapie und Krebs-Medikamenten.

In Rahmen der Zusammenarbeit wurden molekulare Modellierungsmethoden eingesetzt, um das strukturelle Verhalten von synthetischen CpG ODN in wässriger Lösung zu verstehen. Mit Hilfe von Modellierung und Molekülmechanik war es möglich, die Tertiärstruktur von synthetischem CpG ODN aufgrund eines planaren Modells zu ermitteln. Um die Stabilität und das dynamische Verhalten dieser Nanopartikel zu untersuchen, die die Größe von Viren haben, vom Immunsystem erkannt werden und deshalb eine starke Reaktion auslösen, wurden dynamische Simulationen durchgeführt.

Das Plasmamedizin-Projekt wird von der Max-Planck-Gesellschaft ("Tandem-Projekt" M.KF.A. EXTO0002) gefördert.

Due to their nature of showing the DNA base cytosine together with multiple fragments of the DNA base guanine the investigated DNA fragments are called C poly G oligo-deoxynucleotides (CpG ODN). Structural analysis of interaction between CpG motifs and so-called Toll-like receptors, which are located at the cell surface, leads to a better understanding of how the mammalian immune system has evolved to selectively recognize pathogens. The analysis gives new insights for the rational use of DNA technology in DNA vaccines, gene therapy and in anti-cancer drug design.

In the collaboration molecular modelling techniques were used to understand the structural behavior of synthetic CpG ODN in aqueous solution. Using model building and molecular mechanics studies it was possible to construct the tertiary structure of the synthetic CpG ODNs based on a planar model. Dynamic simulations were performed to investigate the stability and dynamic behaviour of these nanoparticles in the size of viruses, which can be recognised by the immune system, thus stimulating a strong reaction.

The plasma medicine project is supported by the Max-Planck-Gesellschaft ("tandem project" (M.KF.A.EXTO0002).

3.6 Allgemeine Bereiche / General Services

3.6.1 Datenverarbeitung / Data Processing

Die Koordination der Datenverarbeitung am MPE übernimmt der sog. Datenverarbeitungs (DV)-Ausschuss, der aus Vertretern aller wissenschaftlichen Bereiche zusammengestellt ist. Ihm ist eine zentrale Datenverarbeitungsgruppe für System- und Programmierarbeiten zugeordnet. Die Hauptaufgabe des DV-Ausschusses besteht in der Koordination und Beurteilung von Hard- und Softwarebeschaffungen und in der Konzeption und Überwachung von zentralen Einrichtungen, wie das lokale Netzwerk des MPE und dessen Sicherheit, der Zugang zu externen Netzen und die allgemein zugängigen Drucker. Außerdem koordiniert der DV-Ausschuss die Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum Garching (RZG) und organisiert die DV-Schulung der Mitarbeiter des MPE.

Die zentrale Datenverarbeitungsgruppe betreut die zentralen Einrichtungen (Netzwerk, Server-Workstations, Drucker) und die offiziellen WWW-Seiten mit aktuellen Informationen über das MPE (<http://www.mpe.mpg.de>). Zusätzlich sind die Mitarbeiter zu einem Teil ihrer Arbeitszeit in die Datenverarbeitung unserer Großprojekte XMM-Newton, INTEGRAL, Cluster, Herschel und komplexe Plasmen eingebunden. Dies gewährleistet den horizontalen Informationsfluss auch auf der Arbeitsebene.

3.6.2 Ingenieurbereich Elektronik / Electrical Engineering

Die einzelnen Abteilungen des Elektrobereichs haben auch in diesem Jahr die Arbeit der wissenschaftlichen Gruppen unterstützt.

Für die Infrastruktur des Instituts waren Haustechnik, Medientechnik und Sicherheitstechnik verantwortlich.

Die Elektrowerkstatt verbesserte die Möglichkeiten ihrer Unterstützung durch den Ausbau der Arbeitsmittel zur Prototypenfertigung und der Endkontrolle bei modernen Bauteilen.

Die Ingenieure trugen durch intensive Fortbildung und dem Einsatz innovativer Techniken und Bauenteile zum Erfolg der Wissenschaft bei.

Bei allen am Institut geplanten und laufenden wissenschaftlichen Projekten arbeiten Facharbeiter, Konstrukteure, Wissenschaftler, Experimentatoren und Mitglieder aus der Gruppe der Elektronik und Elektrik zusammen.

Eine detaillierte Beschreibung dieser Vorhaben findet sich in den Kapiteln 3.1 bis 3.7.

Der Betrieb von Testanlagen und die Unterstützung der Röntgentestanlage Panter, sowie Entwicklung und Tests am Halbleiterlabor in Neuperlach gehört zu den Aufgaben.

Coordination of computing and data processing activities is handled by a data-analysis committee with representatives from all areas of the institute. It is supported by a central group for system support and programming. The main tasks of the working group are the coordination and evaluation of new hardware and software procurement, the conception and control of central installations such as the local-area network and its security, the access to external networks and the public printers. In addition, the working group is co-ordinating the collaboration with the Garching Computer Centre (RZG) and takes care of the computer-related training of MPE members.

The members of the central computing support group maintain the central installations, i.e. network, server workstations, printers and the official WWW pages with up-to-date information about the institute (<http://www.mpe.mpg.de>). They are also involved part-time in the data processing of our main science projects like XMM-Newton, INTEGRAL, Cluster, Herschel and complex plasmas. This guarantees the horizontal flow of information and experience.

Also this year the sections of the electrical department have supported the scientific groups.

For the infrastructure in techniques housekeeping, the media group and security engineers were responsible.

Engineers contributed to the success of science with intensive education innovative implementations of new techniques and components.

In all present and planned scientific projects mechanical engineers, technicians, scientists, experimenters and members of the electrical department are working together.

A detailed description can be found in chapters 3.1 to 3.7.

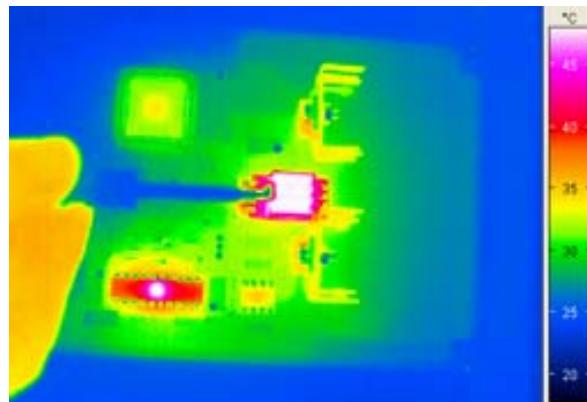
The MPE test lab support of the X-ray Panter facility, development and test at the semiconductor lab at Neuperlach belong to the generic task of the group.

Die Reihe wissenschaftlicher Vorträge für das technische Personal am MPE wurde fortgesetzt.-

Abb. 3-22: Die Abbildung zeigt die Infrarotaufnahme einer Leiterplatte. Am linken Bildrand ist die Hand des Technikers mit einer Prüfspitze zu sehen.

Fig. 3-22: This figure shows an infrared picture of a printed circuit board assembly. On the left side you can see the technician's hand holding a probe.

The sequence of scientific presentations for the technical personal was continued.



3.6.3 Ingenieurbereich Mechanik / Mechanical Engineering

Zum Ingenieurbereich Mechanik gehören die mechanische Konstruktion, die mechanischen Werkstätten einschließlich der Lehrwerkstatt, das Kunststofflabor und das Testlabor für Umwelttests.

In enger Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern, den Elektronikern und auch der Industrie werden hier hauptsächlich Instrumente für die am Institut betriebene experimentelle Astrophysik entwickelt und teilweise auch gefertigt. Dabei handelt es sich um ein enorm breites Aufgabenspektrum, das vom Feingerätebau über den Sondermaschinenbau bis zum extremen Leichtbau reicht. Zum Aufgabenbereich gehören auch die Produktsicherung und die Verifikation durch Tests. Besondere Schwierigkeiten bei der Entwicklung stellen die oft extremen Anforderungen wie Reinheit, Vibrationsbelastungen beim Raketenstart oder der Betrieb der Instrumente unter Vakuum bei tiefsten Temperaturen (bis in die Nähe des absoluten Nullpunktes) dar. Bei der mechanischen Entwicklung werden sowohl 2D/3D-CAD als auch FE-Programme eingesetzt. Für Umwelttests stehen im Testlabor ein Schüttler und zwei Thermovakuum-Kammern zur Verfügung. Die mechanische Werkstatt ist überwiegend mit NC-Maschinen ausgestattet, wobei CAD/CAM immer mehr eingebunden wird. Der Maschinenpark besteht gegenwärtig aus insgesamt neun Fräsmaschinen und vier Drehmaschinen.

Im Berichtsjahr wurden unter anderem folgende Projekte bearbeitet: *HERSCHEL-PACS* (Modifikation der FM GE/GA-Detektoren, Entwicklung eines neuen Konzeptes für die 1.5K Kühlleitungen, Vorbereitung und Betreuung der Kryo-Vibrationstests), *PRIMA* (Testaufbau und Spiegelhalterung), *GRAVITY* (Designstudie), *DUO/ROSITA* (Entwicklung eines auf geringe Kühlleistung optimierten Kamerakonzepts), *GROND* (Betreuung der Komponentenfertigung und der Integration, FE-Analyse der Grundstruktur des M3 Spiegels, Konstruktion eines Twisters für die Alpha und Delta Achse), *PK-4* (Konstruktionsarbeiten

The mechanical engineering department includes the design office, the mechanical workshops including the education workshop, the plastic laboratory, and the test facility for environmental tests.

In this department instruments for the experimental astrophysics are mainly developed and partly manufactured in close cooperation with scientists, electronic people and industry. A wide spectrum of tasks has to be handled, reaching from precision instrument engineering via special purpose machines to extreme lightweight construction. Also product assurance and verification by tests are included. Particular development problems result from mostly extreme requirements such as cleanliness, stress due to vibration loads during rocket launch or the operation of the instruments in vacuum at deepest temperatures near absolute zero. For design and development, 2D/3D-CAD as well as FE-software are standard tools. For environmental tests one shaker and two thermal vacuum chambers can be utilized in the test facility. The mechanical workshop is mainly equipped with NC-machine tools. CAD/CAM is more and more included. The machinery consists now of nine milling machines and four turning machines.

Among other activities, in 2005 the following projects were carried out or supported: *HERSCHEL-PACS* (modification of the FM GE/GA detectors, development of a new concept for the 1.5K cooling lines, preparation and support of the cryogenic vibration tests), *PRIMA* (test setup and mirror mounting), *GRAVITY* (design study), *DUO/ROSITA* (development of a camera concept optimised for low cooling power), *GROND* (support for component fabrication and integration, FE analysis of the base structure of the M3 mirror, design of the twister for the alpha and delta axis), *PK-4* (some design work for the camera shifting

ten für Laboraufbau und Parabelflugeinheit), *MAGNETFELD Labor* (Konstruktion der Schwenkeinheit und Schwerpunktverstellung und eines Dispensors). *ADAPTIVE ELEKTRODEN Labor* (Konstruktion des Laboraufbaus für die Streifen-elektrode). Ferner wurden die Röntgentestanlagen *PUMA* und *PANTER* und das Halbleiterlabor unterstützt.

An der mechanischen Entwicklung der aufgeführten Projekte waren neben dem mechanischen Bereich auch externe Ingenieurbüros und Werkstätten beteiligt, die meist von unseren Ingenieuren betreut wurden. In der Ausbildungswerkstatt des Instituts waren im vergangenen Jahr 8 Auszubildende, die zum Industriemechaniker ausgebildet wurden, und im dritten Lehrjahr bereits wesentliche Beiträge zu unseren laufenden Projekten lieferten. Dazu machten noch 14 Praktikanten ein Fach- oder Orientierungspraktikum.

Auch im abgelaufenen Jahr fanden wieder zahlreiche Umwelttests in unserem Testlabor statt. Es wurden 26 Vibrationstests und 12 Thermal-Vakuum-Testreihen durchgeführt, wobei die Tests für die Projekte *ISS PKE* und *HERSCHEL-PACS* den Hauptanteil ausmachten.

3.6.4 Verwaltung / Administration

Die Verwaltung unterstützt die geschäftsführenden Direktoren des Max-Planck-Instituts für Astrophysik und des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik bei der Erfüllung ihrer administrativen Aufgaben. Dies umfasst auch die Betreuung der zwei Außenstellen des Instituts für extraterrestrische Physik in Neuried (Testanlage) und in München-Neuperlach (Halbleiterlabor) sowie dessen Gästehaus in Berkeley, Kalifornien.

Arbeitsschwerpunkte liegen in der Betreuung der eigenen Mitarbeiter sowie des wissenschaftlichen Nachwuchses und der ausländischen Gastwissenschaftler. Ein weiterer Bereich umfasst die Beschaffung von wissenschaftlichen Geräten und sonstigen Ausstattungsgegenständen sowie die Organisation und Pflege der Infrastruktur unserer Institute. Die Planung und Bewirtschaftung der Mittel aus der institutionellen Förderung und der Drittmittelförderung sowie die ordnungsgemäße buchhalterische Abwicklung aller Einnahmen und Ausgaben verbunden mit dem rechnungstechnischen Nachweis über die zutreffende Verwendung der Mittel bilden zusätzliche Aufgabengebiete. Dabei hat die Verwaltung auf die Einhaltung der für die Max-Planck-Gesellschaft und ihre Institute geltenden Gesetze, Rechtsverordnungen, Vorschriften und Richtlinien zu achten und die Direktoren bei deren Umsetzung zu beraten.

Ein Arbeitsschwerpunkt der Verwaltung in diesem Jahr war die fristgerechte Umstellung der Löhne und Gehälter auf den neuen Tarifvertrag des öffentlichen Dienstes (TVöD). Äußerst problema-

unit). *MAGNETIC laboratory* (sluing unit and CG shifting device, dispensor). *ADAPTIVE ELECTRODE laboratory* (setup for the strip electrode). Additionally we supported the X-ray test facilities *PUMA* and *PANTER* and the MPI semiconductor laboratory.

The people of the mechanical engineering department participated in the mechanical development of the above listed projects as well as external engineering offices and workshops, which are mostly supervised by our engineers. 8 apprentices were instructed in the education workshop of the institute to become industrial mechanics. During their third training year they already provided essential contributions to ongoing projects. In addition we had 14 trainees doing specialist- or information training.

In our test facility numerous tests have been performed this year. 26 vibration and 12 thermal vacuum tests have been carried out. The main share took the tests for the *ISS PKE* and *HERSCHEL-PACS* projects.

The Administration supports the managing directors of the Max Planck Institute for Astrophysics and the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics in carrying out their executive duties. These activities also extend to the two branches of the MPI for Extraterrestrial Physics in Neuried (test facilities) and in München-Neuperlach (semiconductor laboratory), as well as its guest house in Berkeley, California.

The Administration's main areas of work involve the handling of personnel matters relating to its own staff as well as to junior researchers and foreign guest scientists, the procurement of scientific and other equipment, and the organization and maintenance of the institutes' infrastructure. Additional core tasks include the planning and administration of institutional and third-party funds, along with the due processing of receipts and disbursements supplying proof of the correct usage of appropriated funds. In performing these functions, the Administration is required to comply with the laws, statutory instruments, legal provisions and guidelines applicable to the Max Planck Society and its institutes. In addition, the Administration advises the directors on the implementation of these rules and guidelines.

In the past year, the Administration was faced with the major task of adjusting the hitherto applicable German civil service pay scale to the new collective agreement for the public service (TVöD). An

tisch in diesem Zusammenhang war, dass viele der noch offenen Fragen von den Tarifparteien erst sehr spt geklärt wurden, so dass das endgltige Vertragswerk erst zwei Wochen vor dem Umstellungstermin verabschiedet wurde. Dennoch erfolgte die Umstellung termingerecht und zur Zufriedenheit aller Betroffenen.

immense difficulty here was that many of the unsettled issues between the collective bargaining parties were solved at a very late stage. Thus the final agreement was adopted only two weeks before the conversion was scheduled to take place. Even so, the change-over was effected smoothly and in due time, to everyone's satisfaction.

3.6.5 Publikumsuntersttzung und Druckerei / Publications Services and Print Shop

Der hauseigene „Copyshop“ kann Druckerzeugnisse in begrenztem Umfang (Digitaldruck) selbst herstellen. Dies beinhaltet im wesentlichen Berichte und Broschuren für das MPE, aber auch anderer, im Norden Münchens angesiedelter Max-Planck-Institute und der Generalverwaltung.

Unsere Grafikgruppe ist in der Lage, alle Grafiken für Veröffentlichungen, auch für Broschuren und Poster, herzustellen.

The institute's “copyshop” is able to produce printed material in a limited manner (digital print) by itself. This comprises primarily reports and brochures for the MPE but also other Max-Planck-Institutes located in the northern part of Munich and the central administration of the MPG.

Our graphic group is capable to prepare all kinds of graphics and images for publications, brochures and posters.

3.6.6 Bibliothek / Library

Die Astrobibliothek ist die gemeinsame Präsenzbibliothek der Max-Planck-Institute für Astrophysik und für extraterrestrische Physik. Aber wir arbeiten auch mit befreundeten Instituten und Wissenschaftlern zusammen und helfen bei Literaturwnschen, die nur wir abdecken können. Bei 240 laufenden Zeitschriften und einem Bestand von ca. 22.000 Monographien (Zuwachs ca. 400 pro Jahr) und 23.000 Zeitschriftenbnden (Zuwachs ca. 600 pro Jahr) sind wir eine eher kleine Spezialbibliothek zur Benutzung für unsere Mitarbeiter und Gäste.

Unsere Bestnde sind elektronisch erschlossen. An Sondersammlungen befinden sich bei uns Observatoriumspublikationen, Reports und Preprints sowie eine Dia-, Film- und Videosammlung. Sonderdrucke, Reports und Preprints der beiden Institute werden von uns verwaltet und verschickt.

The Astrobibliothek is the joint library for the Max-Planck-Institutes fr Astrophysik and fr extraterrestrische Physik. We also work together with related institutes and their scientists and help with literature requests that only we can fulfil. With a stock of 240 current journals and about 22,000 monographs (increase of about 400 per year) and 23,000 journal volumes (increase of about 600 per year) we are a rather small specialized library for the use of our colleagues and guests.

Our stock is registered electronically. Among our special collections are observatory publications, reports and preprints as well as slides, films and videos. We also manage and mail reprints, reports and preprints from both institutes.

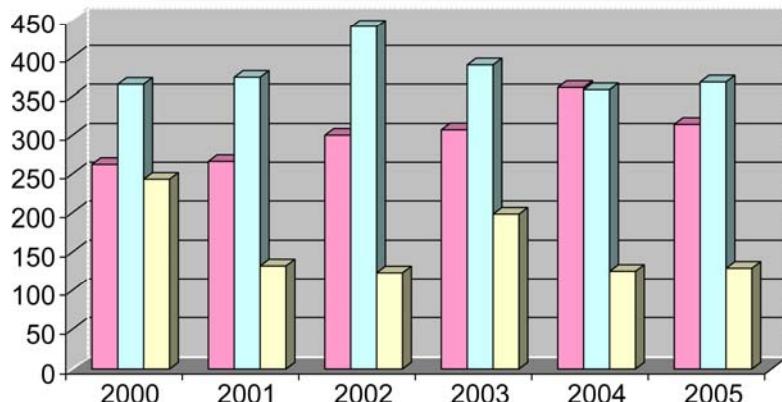
4 Veröffentlichungen Publications



4.1 Referierte Publikationen / Refereed Publication

Publikationen 2000 - 2005

■ Referierte Zeitschriften □ Vorträge □ Sonstige



- Abazajian, K., G.P. Szokoly, W. Voges, S. Zibetti et al: The Third Data Release of the Sloan Digital Sky Survey. *Astron. J.* **129**, 1755-1759 (2005).
- Alexeev, I.V., C.J. Owen, A.N. Fazakerley, A. Runov, J.P. Dewhurst, A. Balogh, H. Rème, B. Klecker and L. Kistler: Cluster observations of currents in the plasma sheet during reconnection. *Geophys. Res. Lett.* **32**, L03101 (2005).
- AMS Collaboration and J. Trümper: A study of cosmic ray secondaries induced by the Mir space station using AMS-01. *Nuclear Instruments & Methods In Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, **234** (3): 321-332 (2005).
- Andronov, I.L., N. Ostrova, Y.G. Kim and V. Burwitz: Two-Color VR CCD Photometry of Old Nova V603 Aquilae. *Journal of Astronomy and Space Sciences* **22**, 211-222 (2005).
- Annaratone, B.M. and J.E. Allen: A note on the potential acquired by a dust particle in an electronegative plasma. *J. Phys. (D)* **38**, 26-28 (2005).
- Appenzeller, I., O. Stahl, C. Tapken, D. Mehlert and S. Noll: SDSS J1553+0056: A BALQSO mimicking a Lyman-break galaxy. *Astron. Astrophys.* **435**, 465-469 (2005).
- Arevalo, P., I.E. Papadakis, B. Kuhlbrodt and W. Brinkmann: Correlated X-ray to UV Variability in MCG-6-30-15. *Astron. Astrophys.* **430**, 435-442 (2005).
- Arnaud, M., E. Pointecouteau and G.W. Pratt: The structural and scaling properties of nearby galaxy clusters. II. The M-T relation. *Astron. Astrophys.* **441**, 893-903 (2005).
- Arvelius, S., M. Yamauchi, H. Nilsson, R. Lundin, Y. Hobara, H. Réme, M.B. Bavassano-Cattaneo, G. Paschmann, A. Korth, L.M. Kistler and G.K. Park: Statistics of high-altitude and high-latitude O⁺ ion outflows observed by Cluster/CIS. *Ann. Geophysicae* **23**, 1909-1916 (2005).
- Asano, Y., R. Nakamura, W. Baumjohann, A. Runov, Z. Vörös, M. Volwerk, T.L. Zhang, A. Balogh, B. Klecker and H. Rème: How typical are atypical current sheets? *Geophys. Res. Lett.* **32**, L03108 (2005).
- Atmanspacher, H., T. Filk and H. Scheingraber: Stability analysis of coupled map lattices at locally unstable fixed points. *The European Physical Journal B* **44**, 229-239 (2005).
- Atmanspacher, H. and H. Scheingraber: Inherent Global Stabilization of Unstable Local Behavior in Coupled Map Lattices. *International Journal of Bifurcation and Chaos* **15**, 1665-1676 (2005).
- Atmanspacher, H., T. Filk and H. Scheingraber: The Significance of Causally Coupled, Stable Neuronal Assemblies for the Psychological Time Arrow. *Endophysics, Time, Quantum and the Subjective*. (Eds.) R. Bucceri et al, World Scientific Publishing Co., Singapore, 149-162 (2005).
- Bale, S.D., M.A. Balikhin, T.S. Horbury, V.V. Krasnoselskikh, H. Kucharek, E. Möbius, S.N. Walker, A. Balogh, D. Burgess, B. Lembège, E.A. Lucek, M. Scholer, S.J. Schwartz and M.F. Thomsen: Quasi-perpendicular Shock Structure and Processes. *Space Sci. Rev.* **118**, 161-203 (2005).
- Balestra, I., Th. Boller, L. Gallo, D. Lutz and S. Hess: XMM-Newton spectral properties of the ultraluminous IRAS galaxy Mrk 273. *Astron. Astrophys.* **442**, 469-478 (2005).
- Balogh, A., S.J. Schwartz, S.D. Bale, M.A. Balikhin, D. Burgess, T.S. Horbury, V.V. Krasnoselskikh, H. Kucharek, B. Lembège, E.A. Lucek, E. Möbius, M. Scholer, M.F. Thomsen and S.N. Walker: Cluster at the Bow Shock: Introduction. *Space Sci. Rev.* **118**, 155-160 (2005).
- Bamford, S.P., B. Milvang-Jensen, A. Aragon-Salamanca and L. Simard: The Tully-Fisher

- relation of distant cluster galaxies. Mon. Not. R. Astron. Soc. **361**, 109-127 (2005).
- Bauer, M. and W. Pietsch:** The recurrent ultra-luminous X-ray transient NGC 253 ULX1. Astron. Astrophys. **442**, 925-928 (2005).
- Becker, W., A. Jessner, M. Kramer, V. Testa and C. Howaldt:** A Multiwavelength Study of PSR B0628-28: The First Overluminous Rotation-powered Pulsar? Astron. J. **633**, 367-376 (2005).
- Belsole, E., J.-L. Sauvageot, G.W. Pratt and H. Bourdin:** An XMM-Newton observation of A3921: An off-axis merger. Astron. Astrophys. **430**, 385-397 (2005).
- Belsole, E., J.-L. Sauvageot, G.W. Pratt and H. Bourdin:** Merging clusters of galaxies observed with XMM-Newton. Adv. Space Res. **36**, 630-635 (2005).
- Bender, R., J. Kormendy, G. Bower, R. Green, J. Thomas, A.C. Danks, T. Gull, H.B. Hutchings, C.L. Joseph, M.E. Kaiser, T.R., Lauer, C.H. Nelson, D. Richstone, D. Weistrop and B. Woodgate:** HST STIS Spectroscopy of the Triple Nucleus of M31: Two Nested Disks in Keplerian Rotation Around a Supermassive Black Hole. Ap. J. **631**, 280-300 (2005).
- Bianchi, S., G. Matt, F. Nicastro, D. Porquet and J. Dubau:** FeXXV and FeXXVI lines from low-velocity, photoionized gas in the X-ray spectra of active galactic nuclei. Mon. Not. R. Astron. Soc. **357**, 599-607 (2005).
- Blush, L.M., F. Allegrini, P. Bochsler, H. Daoudi, A. Galvin, R. Karrer, L. Kistler, B. Klecker, E. Möbius, A. Opitz, M. Popecki, B. Thompson, R.F. Wimmer-Schweingruber and P. Wurz:** Development and calibration of major components for the STEREO/ PLASTIC (plasma and suprathermal ion composition) instrument. Adv. Space Res. **36**, 1544-1556 (2005).
- Böhringer, H., K. Matsushita, A. Finoguenov, Y. Xue and E. Churazov:** Metal abundances in the ICM as a diagnostics of the cluster history. Adv. Space Res. **36**, 677-681 (2005).
- Boese, F.G.:** Qualified Thresholds for Wavelet Shrinkage. Proc. Appl. Math. Mech. **5**, 719-720 (2005).
- Bogdanova, Y.V., A. Marchaudon, C.J. Owen, M.W. Dunlop, H.U. Frey, J.A. Wild, A.N. Fazakerley, B. Klecker, J.A. Davies and S.E. Milan:** On the formation of the high-altitude stagnant cusp: Cluster observations. Geophys. Res. Lett. **32**, L12101 (2005).
- Bogdanova, Y.V., A.N. Fazakerley, C.J. Owen, B. Klecker, N. Cornilleau-Wehrlin, B. Grison, M. André, P. Cargill, H. Rème, J.M. Bosqued, L.M. Kistler and A. Balogh:** Correlation between suprathermal electron bursts, BBELF waves and local ion heating in the mid-altitude cleft/LLBL observed by Cluster. J. Geophys. Res. **109**, A12226 (2004).
- Böhringer, H., K. Matsushita, A. Finoguenov, Y. Xue and E. Churazov:** Metal abundances in the ICM as a diagnostics of the cluster history. Adv. Space Res. **36**, 677-681 (2005).
- Böhringer, H., V. Burwitz, Y.Y. Zhang, P. Schuecker and N. Novak:** Chandra Reveals Galaxy Cluster with the Most Massive Nearby Cooling Core: RXC J1504.1-0248. Ap. J. **633**, 148-153 (2005).
- Borgani, S., A. Finoguenov, S.T. Kay, T.J. Ponman, V. Springel, P. Tozzi and G.M. Voit:** Entropy amplification from energy feedback in simulated galaxy groups and clusters. Mon. Not. R. Astron. Soc. **361**, 233-243 (2005).
- Bouché, N., M.D. Lehnert and C. Péroux:** The missing metal problem - I. How many metals are in submillimetre galaxies?. Mon. Not. R. Astron. Soc. **364**, 319-324 (2005).
- Bouché, N. and J.D. Lowenthal:** The Star Formation Rate-Density Relationship at Redshift 3. Astron. Astrophys. Lett. **623**, L75-L79 (2005).
- Bouché, N., J.P. Gardner, N. Katz, D.H. Weinberg, R. Davé and J.D. Lowenthal:** Measuring the Halo Mass of $z \sim 3$ Damped Ly α Absorbers from the Absorber-Galaxy Cross-Correlation. Ap. J. **628**, 89-103 (2005).
- Bouhram, M., B. Klecker, G. Paschmann, S. Haaland, H. Hasegawa, A. Blagau, H. Rème, J.-A. Sauvaud, L.M. Kistler and A. Balogh:** Survey of energetic O $^+$ -ions near the dayside mid-latitude magnetopause with Cluster. Ann. Geophysicae **23**, 1281-1294 (2005).
- Boulanger, F., R. Lorente, M.A. Miville-Deschénes, A. Abergel, J.A.D.L. Blommaert, D. Cesarsky, K. Okumura, M. Perault and W. Reach:** Mid-IR spectro-imaging observations with the ISOCAM CVF: Final reduction and archive. Astron. Astrophys. **436**, 1151-1158 (2005).
- Brandt, W.N. and G. Hasinger:** Deep Extragalactic X-Ray Surveys. Annual Reviews in Astron. and Astrophys. **43**, 827-859 (2005).
- Brinkmann, W., I.E. Papadakis, C. Raeth, P. Mimica and F. Haberl:** XMM-Newton Timing Mode observations of Mrk 421. Astron. Astrophys. **443**, 397-411 (2005).
- Brinkmann, W., T. Kotani and N. Kawai:** XMM-Newton observations of SS433: I. EPIC spectral analysis. Astron. Astrophys. **431**, 575-586 (2005).
- Brusa, M., A. Comastri, E. Daddi, L. Pozzetti, G. Zamorani, C. Vignali, A. Cimatti, F. Fiore, M. Mignoli, P. Ciliegi and H.J.A. Röttgering:** XMM-Newton observations of Extremely Red Objects and the link with luminous, X-ray obscured quasars. Astron. Astrophys. **432**, 69-81 (2005).
- Brusa, M., R. Gilli and A. Comastri:** The Iron Line Background. Ap. J. Lett. **621**, L5-L9 (2005).
- Burgess, D., E.A. Lucek, M. Scholer, S.D. Bale, M.A. Balikhin, A. Balogh, T.S. Horbury, V.V. Krashnoselskikh, H. Kucharek, B. Lembège, E. Möbius, S.J. Schwartz, M.F. Thomsen and S.N.**

- Walker:* Quasi-parallel Shock Structure and Processes. *Space Sci. Rev.* **118**, 205–222 (2005).
- Cargill, P.J., B. Lavraud, C.J. Owen, B. Grison, M.W. Dunlop, N. Cornilleau-Wehrlin, C.P. Escoubet, G. Paschmann, T.D. Phan, L. Rezeau, Y. Bogdanova and K. Nykyri:* Cluster at the Magnetospheric Cusps. *Space Sci. Rev.* **118**, 321–366 (2005).
- Carr, C., P. Brown, T.L. Zhang, J. Gloag, T. Horbury, E. Lucek, W. Magnes, H. O'Brien, T. Oddy, U. Auster, P. Austin, O. Aydogar, A. Balogh, W. Baumjohann, T. Beek, H. Eichelberger, K.-H. Fornacon, E. Georgescu, K.-H. Glassmeier, M. Ludlam, R. Nakamura and I. Richter:* The Double Star magnetic field investigation: instrument design, performance and highlights of the first year's observations. *Ann. Geophysicae* **23**, 2713–2732 (2005).
- Cerisier, J.-C., A. Marchaudon, J.-M. Bosqued, K. McWilliams, H.U. Frey, M. Bouhram, H. Laakso, M. Dunlop, M. Förster and A. Fazakerley:* Ionospheric signatures of plasma injections in the cusp triggered by solar wind pressure pulses. *J. Geophys. Res.* **110**, A08204 (2005).
- Chandra, P., A. Ray, E.M. Schlegel, F.K. Sutaria and W. Pietsch:* Chandra's Tryst with SN 1995N. *Ap. J.* **629**, 933–943 (2005).
- Churazov, E., S. Sazunov, R. Sunyaev, W. Forman, C. Jones and H. Böhringer:* Supermassive black holes in elliptical galaxies: switching from very bright to very dim. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **363**, 91–95 (2005).
- Civano, F., A. Comastri and M. Brusa:* X-ray spectral analysis of optically faint sources in the Chandra deep fields. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **358**, 693–704 (2005).
- Clement, D., H. Mutschke, R. Klein, C. Jäger, J. Dorschner, E. Sturm and Th. Henning:* Detection of Silicon Nitride Particles in Extreme Carbon Stars. *Ap. J.* **621**, 985–990 (2005).
- Collinge, M.J., M.A. Strauss, P.B. Hall, Z. Ivezic, J.A. Munn, D.J. Schlegel, N.L. Zakamska, S.F. Anderson, H.C. Harris, G.T. Richards, D.P. Schneider, W. Voges, D.G. York, B. Margon and J. Brinkmann:* Optically Identified BL Lacertae Objects from the Sloan Digital Sky Survey. *Astron. J.* **129**, 2542–2561 (2005).
- Conka-Nurdan, T., K. Nurdan, A. Walenta, I. Chiosa, B. Freisleben, N. Pavel and L. Strüder:* First Results on Compton Camera Coincidences with the Silicon Drift Detector. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **52/5**, 1381–1385 (2005).
- Contursi, A., E. Sturm, D. Lutz, A. Verma, R. Genzel, M.D. Lehnert, A. Poglitsch, L.J. Tacconi, U. Klaas, M. Stickel et al:* Study of Local Infrared Bright Galaxies with HERSCHEL-PACS. *Astron. Nachr.* **326**, 523–524 (2005).
- Costantini, E., M.J. Freyberg and P. Predehl:* Absorption and scattering by interstellar dust: an XMM-Newton observation of Cyg X-2. *Astron. Astrophys.* **444**, doi: 10.1051/0004-6361:20042562, 187–200 (2005).
- Cresci, G., R. Davies, A. Baker and M. Lehnert:* Accounting for the anisoplanatic point spread function in deep wide-field adaptive optics images. *Astron. Astrophys.* **438**, doi:10.1051/0004-6361:20052890, 757–767 (2005).
- Crummy, J., A.C. Fabian, W.N. Brandt and Th. Boller:* Investigating ionized disc models of the variable narrow-line Seyfert 1 PG 1404+226. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **361**, 1197–1202 (2005).
- Daddi, E., A. Renzini, N. Pirzkal, A. Cimatti, S. Malhotra, M. Stiavelli, C. Xu, A. Pasquali, J.E. Rhoads, M. Brusa, S. di Serego Alighieri, H.C. Ferguson, A.M. Koekemoer, L.A. Moustakas, N. Panagia and R.A. Windhorst:* Passively Evolving Early-Type Galaxies at $1.4 < z < 2.5$ in the Hubble Ultra Deep Field. *Ap. J.* **626**, 680–697 (2005).
- Danduras, I., V. Pierrand, J. Goldstein, C. Vallat, G.K. Parks, H. Reme, C. Gouillart, F. Sevestre, M. McCarthy, L.M. Kistler, B. Klecker, A. Korth, M.B. Bavassano-Cattaneo, P. Escoubet and A. Masson:* Multipoint Observations of Ionic Structures in the Plasmapause by CLUSTER-CIS and Comparisons with IMAGE-EUV Observations and with Model Simulations. In: *Inner Magnetosphere Interactions: New Perspectives for Imaging. Geophysical Monograph Series* **159**, doi: 10.1029/159GM03 (2005).
- Dannerbauer, H., D. Rigopoulou, D. Lutz, R. Genzel, E. Sturm and A.F.M. Moorwood:* Follow-up near-infrared spectroscopy of ultraluminous infrared galaxies observed by ISO. *Astron. Astrophys.* **441**, 999–1010 (2005).
- Dannerbauer, H., E. Daddi, A. Cimatti, H. Röttgering, M. Brusa, A. Renzini, N. Arimoto, J. Kurk and M.D. Lehnert:* MAMBO observations of BzK-selected vigorous starburst galaxies at $z \sim 2$. *Astron. Nachr.* **326**, 525–526 (2005).
- Dasyra, K. M., E.M. Xilouris, A. Mlsiriots and N. Kylafis:* Is the Galactic submillimeter dust emissivity underestimated?. *Astron. Astrophys.* **437**, 447–456 (2005).
- Davies, R., A. Sternberg, M. Lehnert and L. Tacconi-Garman:* Molecular Hydrogen Excitation around Active Galactic Nuclei. *Ap. J.* **633**, doi: 10.1086/444495, 105–121 (2005).
- de Angelis, U., A.V. Ivlev, G.E. Morfill and V.N. Tsytovich:* Stochastic heating of dust particles with fluctuating charges. *Phys. Plasmas* **12**, 052301, (2005).
- De Keyser, J., M. Roth, M.W. Dunlop, H. Rème, C.J. Owen and G. Paschmann:* Empirical reconstruction and long-duration tracking of the magnetospheric boundary in single- and multi-spacecraft contexts. *Ann. Geophysicae* **23**, 1355–1369 (2005).
- De Keyser, J., M.W. Dunlop, C.J. Owen, B.U.Ö. Sonnerup, S.E. Haaland, A. Vaivads, G. Pasch-*

- mann, R. Lundin and L. Rezeau:* Magnetopause and Boundary Layer. *Space Sci. Rev.* **118**, 231-320 (2005).
- de Martino, D., G. Matt, K. Mukai, J.-M. Bonnet-Bidaud, B.T. Gänsicke, J.M. Gonzalez Perez, F. Haberl, M. Mouchet and J.-E. Solheim:* X-ray confirmation of the intermediate polar HT Cam. *Astron. Astrophys.* **437**, 935-945 (2005).
- Diehl, R.:* Gamma-ray Line Astronomy. *Nucl. Phys. A* **758**, 225-233 (2005).
- Drory, N., M. Salvato, A. Gabasch, R. Bender, U. Hopp, G. Feulner and M. Pannella:* The Stellar Mass Function of Galaxies to $z \sim 5$ in the FORS Deep and GOODS-South Fields. *Ap. J.* **619**, L131-L134 (2005).
- Dubath, P., J. Knöldlseder, G.K. Skinner, P. Connell, I. Kreykenbohm, A. Strong, P. Sizun, D. Attie, S. Schanne, B. Cordier, L. Bouchet and A. von Kienlin:* The INTEGRAL spectrometer SPI: performance of point-source data analysis. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **357**, 420-428 (2005).
- Dunlop, M.W., M.G.G.T. Taylor, J.A. Davies, C.J. Owen, A.N. Fazakerley, F. Pitout, Z. Pu, H. Laakso, Q.-G. Zong, Y. Bogdanova, C. Shen, K. Nykyri, P. Cargill, C.M. Carr, C.P. Escoubet, B. Lavraud, M. Lockwood, S.E. Milan, T.D. Phan, H. Rème and B. Sonnerup:* Combined Cluster/Double Star observations of a close transit across the dayside magnetopause, during a period of quasi-steady reconnection, *Ann. Geophysicae* **23**, 2867-2875 (2005).
- Eisenhauer, F., G. Perrin, S. Rabien, A. Eckart, P. Lena, R. Genzel, R. Abuter and T. Paumard:* GRAVITY: The AO assisted, two object beam combiner instrument for the VLTI. *Astron. Nachr.* **326**, 561-562 (2005).
- Eisenhauer, F., R. Genzel, T. Alexander, R. Abuter, T. Paumard, T. Ott, A. Gilbert, S. Gillessen, M. Horrobin, S. Trippe, H. Bonnet, C. Dumas, N. Hubin, A. Kaufer, M. Kissler-Patig, G. Monnet, S. Ströbele, T. Szeifert, A. Eckart, R. Schödel and S. Zucker:* SINFONI in the Galactic Center: Young Stars and Infrared Flares in the Central Light-Month. *Ap. J.* **628**, 246-259 (2005).
- Erwin, P., J.E. Beckman and M. Pohlen:* Antitruncation of Disks in Early-Type Barred Galaxies. *Ap. J. Lett.* **626**, L81-L84 (2005).
- Erwin, P.:* How Large Are the Bars in Barred Galaxies? *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **364**, doi:10.1111/j.1365-2966.2005.09560.x, 283-302 (2005).
- Feretti, L., P. Schuecker, H. Böhringer, F. Govoni and G. Giovannini:* Diffuse radio emission in a REFLEX cluster. *Astron. Astrophys.* **444**, 157-164 (2005).
- Feulner, G., A. Gabasch, M. Salvato, N. Drory, U. Hopp and R. Bender:* Specific Star Formation Rates to Redshift 5 From the FORS Deep Field and the GOODS-S Field. *Ap. J.* **633**, L09-L12 (2005).
- Feulner, G., Y. Goranova, N. Drory, U. Hopp and R. Bender:* The Connection Between Star Formation and Stellar Mass: Specific Star Formation Rates to Redshift One. *Mon. Not. R. Astron. Soc. Lett.* **358**, L01-L05 (2005).
- Fields, D., S. Mathur, R. Pogge, F. Nicastro, S. Komossa and Y. Krongold:* Supersolar Metallicity in the NLS1 Galaxy Markarian 1044. *Ap. J.* **634**, 928-938 (2005).
- Fields, D., S. Mathur, R. Pogge, F. Nicastro and S. Komossa:* Supersolar N/C in the Narrow-Line Seyfert 1 Galaxy Markarian 1044. *Ap. J.* **620**, 183-190 (2005).
- Finn, R.A., D. Zaritsky, D.W. McCarthy, B. Poggianti, G. Rudnick, C. Halliday, B. Milvang-Jensen, R. Pello and L. Simard:* Halphi-derived Star Formation Rates for Three $z \sim 0.75$ EDisCS Galaxy Clusters. *Ap. J.* **630**, 206-227 (2005).
- Finoguenov, A., A. Streblyanska, G. Hasinger, Y. Hashimoto and G. Szokoly:* New cluster candidates in the extended XMM Lockman Hole field. *Adv. Space Res.* **36**, 710-714 (2005).
- Finoguenov, A., H. Böhringer and Y.-Y. Zhang:* XMM-Newton study of the two-dimensional structure of the REFLEX-DXL galaxy clusters. *Astron. Astrophys.* **442**, 827-839 (2005).
- Finoguenov, A., H. Böhringer, J.P.F. Osmond, T.J. Ponman, A.J.R. Sanderson, Y.-Y. Zhang and M. Zimer:* Cluster scaling and its redshift evolution from XMM-Newton. *Adv. Space Res.* **36**, 622-625 (2005).
- Fiorini, C., M. Bellini, A. Gola, A. Longoni, F. Perotti, P. Lechner, H. Soltau and L. Strüder:* A Monolithic Array of 77 Silicon Drift Detectors for X-ray Spectroscopy and Gamma-ray Imaging Applications. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **52/4**, 1165-1172 (2005).
- Fortov, V.E., A.V. Ivlev, S.A. Khrapak, A.G. Khrapak and G.E. Morfill:* Complex (dusty) plasmas: Current status, open issues, perspectives. *Phys. Rep.* **421**, 1-103 (2005).
- Galbiati, E., A. Caccianiga, T. Maccacaro, V. Braito, R. Della Ceca, P. Severgnini, H. Brunner, I. Lehmann and M.J. Page:* XMM-Newton spectroscopy of a X-ray selected sample of RL AGNs. *Astron. Astrophys.* **430**, 927-940 (2005).
- Galianni, P., E.M. Burbidge, H. Arp, V. Junkkarinen, G. Burbidge and S. Zibetti:* The Discovery of a High-Redshift X-Ray-Emitting QSO Very Close to the Nucleus of NGC 7319. *Ap. J.* **620**, 88-94 (2005).
- Gallo, L.C., A.C. Fabian, T. Boller and W. Pietsch:* A possible line-like emission feature at 8 keV in the Seyfert 1.2 UGC 3973. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **363**, 64-70 (2005).
- Gallo, L.C., I. Balestra, E. Costantini, Th. Boller, V. Burwitz, E. Ferrero and S. Mathur:* An X-ray view of Mrk 705. A borderline narrow-line Seyfert 1 galaxy. *Astron. Astrophys.* **442**, 909-915 (2005).

- Gavazzi, G., A. Donati, O. Cucciati, S. Sabatini, A. Boselli, J. Davies and S. Zibetti: The structure of elliptical galaxies in the Virgo cluster. Results from the INT Wide Field Survey. *Astron. Astrophys.* **430**, 411-419 (2005).
- Gedalin, M., M. Balikhin, D. Coca, G. Consolini and R.A. Treumann: Kinetic description of avalanching systems. *Physical Review E* **72**, 037103 (2005).
- Gedalin, M., M. Bregman, M. Balikhin, D. Coca, G. Consolini and R.A. Treumann: Avalanches in bi-directional sandpile and burning models: A comparative study. *Non-Linear Processes in Geophysics* **12**, 733-739 (2005).
- Gedalin, M., M. Bregman, M., Balikhin, D. Coca, G. Consolini and R.A. Treumann: Dynamics of the burning model. *Non-Linear Processes in Geophysics* **12**, 717-723 (2005).
- Gehrels, N., G. Chincarini, P. Giomma, K.O. Mason, J.A. Nousek, A.A. Wells, N.E. White, S.D. Barthelmy, D.N. Burrows, L.R. Cominsky, J. Greiner et al: The SWIFT Gamma-Ray Burst Mission. *Ap. J.* **621**, 558 (2005).
- Giacintucci, S., T. Venturi, G. Brunetti, S. Bardelli, D. Dallacasa, S. Ettori, A. Finoguenov, A.P. Rao and E. Zucca: Spectral properties and origin of the radio halo in A3562. *Astron. Astrophys.* **440**, 867-879 (2005).
- Gilli, R., E. Daddi, G. Zamorani, G. Hasinger, V. Mainieri and G. Szokoly: The spatial clustering of X-ray selected AGN and galaxies in the Chandra Deep Field South and North. *Astron. Astrophys.* **430**, 811-825 (2005).
- Goldstein, M.L., J.P. Eastwood, R.A. Treumann, E.A. Lucek, J. Pickett and P. Décréau: The Near-Earth Solar Wind. *Space Sci. Rev.* **118**, 7-39 (2005).
- Greve, T.R., F. Bertoldi, I. Smail, R. Neri, S.C. Chapman, A.W. Blain, R.J. Ivison, R. Genzel, A. Omont, P. Cox, L.J. Tacconi and P. Cox: An Interferometric CO Survey of Luminous Submillimetre Galaxies. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **359**, 1165-1183 (2005).
- Gunell, H., M. Holmström, E. Kallio, P. Janhunen and K. Dennerl: Simulations of X-rays from solar wind charge exchange at Mars: Parameter dependence. *Adv. Space Res.* **36**, 2057-2065 (2005).
- Haberl, F. and W. Pietsch: Discovery of 1323 s pulsations from RX J0103.6-7201: The longest period X-ray pulsar in the SMC. *Astron. Astrophys.* **438**, doi:10.1051/0004-6361:20042470, 211-218 (2005).
- Hao, L., M.A. Strauss, C.A. Tremonti, G.P. Szokoly: Active Galactic Nuclei in the Sloan Digital Sky Survey. I. Sample Selection. *Astron. Journal* **129**, 1783-1794 (2005).
- Harris, M.J., J. Knöldlseder, P. Jean, E. Cisana, R. Diehl, G.G. Lichten, J.-P. Roques, S. Schanne and G. Weidenspointner: Detection of gamma-ray lines from interstellar ^{60}Fe by the high-resolution spectrometer SPI. *Astron. Astrophys.* **433**, L49-L52 (2005).
- Hasegawa, H., B.U.Ö. Sonnerup, B. Klecker, G. Paschmann, M.W. Dunlop and H. Rème: Optimal reconstruction of magnetopause structures from Cluster Data. *Ann. Geophysicae* **23**, 973-982 (2005).
- Hashimoto, Y., J.P. Henry, G. Hasinger, G. Szokoly and M. Schmidt: Galaxy populations of double cluster RX J1053.7+5735 at $z=1.13$. *Astron. Astrophys.* **439**, 29-33 (2005).
- Hasinger, G., T. Miyaji and M. Schmidt: Luminosity-dependent evolution of soft X-ray selected AGN. New Chandra and XMM-Newton surveys. *Astron. Astrophys.* **441**, 417-434 (2005).
- Heber, B. and B. Klecker: Remote sensing of solar activity by energetic charged and neutral particles with Solar Orbiter. *Adv. Space Res.* **36**, 1387-1398, 2005.
- Hurley, K., S.E. Boggs, D.M. Smith, R.C. Duncan, R. Lin, A. Zoglauer, S. Krucker, G. Hurford, H. Hudson, C. Wigger, W. Hajdas, C. Thompson, I. Mitrofanov, A. Sanin, W. Boynton, C. Fellows, A. von Kienlin, G.G. Lichten, A. Rau and T. Cline: A tremendous flare from SGR1806-20 with implications for short-duration gamma-ray bursts. *Nature* **434**, 1098-1103 (2005).
- Immler, S., R.A. Fesen, S.D. Van Dyk, K.W. Weiler, R. Petre, W.H.G. Lewin, D. Pooley, W. Pietsch, B. Aschenbach, M.C. Hammell and G.C. Rudie: Late-Time X-Ray, UV, and Optical Monitoring of Supernova 1979C. *Ap. J.* **632**, 283-293 (2005).
- Iodice, E., M. Arnaboldi and R. Saglia: High resolution stellar kinematics for the central component of the polar ring galaxy NGC 4650a. *Astron. Nachr.* **326**, 496 (2005).
- Ivlev, A.V., S.K. Zhdanov, B.A. Klumov and G.E. Morfill: Generalized kinetic theory of ensembles with variable charges. *Phys. Plasmas* **12**, 092104 (2005).
- Ivlev, A.V., S.K. Zhdanov, S.A. Khrapak and G.E. Morfill: Kinetic approach for the ion drag force in a collisional plasma. *Phys. Rev. (E)* **E71**, 016405 (2005).
- Iyudin, A.F., O. Reimer, V. Burwitz, J. Greiner and A. Reimer: Resonant absorption troughs in the gamma-ray spectra of QSO. *Astron. Astrophys.* **436**, doi:10.1051/0004-6361:20041815, 763-784 (2005).
- Iyudin, A.F., B. Aschenbach, W. Becker, K. Dennerl and F. Haberl: XMM-Newton observations of the supernova remnant RX J0852.0-4622/GRO J0852-4642. *Astron. Astrophys.* **429**, 225-234 (2005).
- Iyudin, A.F., K. Bennett, G.G. Lichten, J. Ryan and V. Schönfelder: Global galactic distribution of the 1.275 MeV γ -ray line emission. *Astron. Astrophys.* **443**, 477-483 (2005).

- Jessner, A., A. Slowikowska, B. Klein, H. Lesch, C.H. Jaroschek, G. Kanbach and T.H. Hankins: Giant radio pulses from the Crab pulsar. *Adv. Space Res.* **35**, 1166-1171 (2005).
- Joinet, A., E. Jourdain, J. Malzac, J.P. Roques, V. Schönfelder, P. Ubertini and F. Capitano: State Transition and Flaring Activity of IGR J 17464-3213/H1743-322 with SPI/INTEGRAL Telescope. *Ap. J.* **629**, 1008-1016 (2005).
- Jovanovic, D., P.K. Shukla and G.E. Morfill: Coupling between upper-hybrid waves and electron holes in Earth's magnetotail. *Phys. Plasmas* **12** (11), 112903 (2005).
- Jovanovic, D., P.K. Shukla and G.E. Morfill: Magnetic reconnection on the ion-skin-depth scale in the dusty magnetotail of a comet. *Phys. Plasmas* **12** (4), 042904 (2005).
- Kanbach, G., R. Andritschke, A. Zoglauer, M. Ajello, M.L. McConnell, J.R. Macri, J.A. Ryan, P.F. Bloser, S.D. Hunter, G. DiCocco, J. Kurfess and V. Reglero : Development and calibration of the tracking Compton/Pair telescope MEGA. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. (A)* **541**, 310-322 (2005).
- Keiling, A., G.K. Parks, H. Rème, I. Dandouras, J.M. Bosqued, M. Wilber, M. McCarthy, C. Mouikis, E. Amata, B. Klecker, A. Korth, R. Lundin and H.U. Frey: Bouncing ion clusters in the plasma sheet boundary layer observed by Cluster-CIS. *J. Geophys. Res.* **110**, A09207 (2005).
- Khrapak, S.A., A.V. Ivlev, S.K. Zhdanov and G.E. Morfill: Hybrid approach to the ion drag force. *Phys. Plasmas* **12**, 042308 (2005).
- Khrapak, S.A., S.V. Ratynskaia, A.V. Zobnin, A.D. Usachev, V.V. Yaroshenko, M.H. Thoma, M. Kretschmer, H. Höfner, G.E. Morfill, O.F. Petrov and V.E. Fortov: Particle charge in the bulk of gas discharges. *Pys. Rev. (E)* **72**, 016406 (2005).
- Kim, C., Th. Boller and K. Ghosh: Detection of X-ray Emission from Galaxies Inside and Towards the Nearby Voids. *Korean Astronomical Society* **38**, 1-6 (2005).
- Kistler, L.M., C. Mouikis, E. Möbius, B. Klecker, J.A. Sauvaud, H. Rème, A. Korth, M.F. Marcucci, R. Lundin, G.K. Parks and A. Balogh: Contribution of nonadiabatic ions to the cross-tail current in an O⁺ dominated thin current sheet. *J. Geophys. Res.* **110**, A06213 (2005).
- Klein, R., B. Posselt, K. Schreyer, J. Forbrich and Th. Henning: A Millimeter Continuum Survey for Massive Protoclusters in the Outer Galaxy. *Ap. J. Suppl. Ser.* **161**, 361-393 (2005).
- Klumov, B.A. and G.E. Morfill: Formation of structures in a dusty ionosphere. *Journal of Experimental and Theoretical Physics* **100** (1), 152-164 (2005).
- Knöldseeder, J., P. Jean, V. Lonjou, G. Weidens-pointner, N. Guessoum, W. Gillard, G. Skinner, P. von Ballmoos, G. Vedrenne, J.-P. Roques, S. Schanne, B. Teegarden, V. Schönfelder and C. Winkler: The all-sky distribution of 511 keV electron-positron annihilation emission. *Astron. Astrophys.* **441**, 513-532 (2005).
- Knudsen, K.K., P. van der Werf, M. Franx, N.M. Förster Schreiber, P.G. van Dokkum, G.D. Illingworth, I. Labbé, A.F.M. Moorwood, H.-W. Rix and G. Rudnick: Submillimeter observations of Distant Red Galaxies: uncovering the 1mJy 850 µm-population. *Ap. J. Lett.* **632**, L09-L12 (2005).
- Kohr, R., L. Andricek, P. Fischer, M. Hartner, M. Karagounis, H. Krüger, G. Lutz, H.G. Moser, I. Peric and M. Porro: Development of a Prototype Module for a DEPFET Pixel Vertex Detector for a Linear Collider. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **52/4**, 1171-1175 (2005).
- Kompaneets, R., A.V. Ivlev, V. Tsytovich and G. Morfill: Dust-lattice waves: Role of charge variations and anisotropy of dust-dust interaction. *Phys. Plasmas* **12**, 062107 (2005).
- Kompaneetz, R. and V. Tsytovich: Collective Electrostatic Interaction of Particles in a Complex Plasma with Ion Flow. *Contrib. Plasma Phys.* **45**, 130-138 (2005).
- Konopka, U., F. Mokler, A.V. Ivlev, M. Kretschmer, G.E. Morfill, H.M. Thomas, H. Rothermel, V.E. Fortov, A.M. Lipaev, V.I. Molotkov, A.P. Nefedov, Y.M. Baturin, Y. Budarin, A.I. Ivanov and M. Roth: Charge-induced gelation of microparticles. *New Journal of Physics* **7**, 227 (2005).
- Kourakis, I., P.K. Shukla and G.E. Morfill: Dynamics of nonlinearly coupled magnetic-field-aligned electromagnetic electron-cyclotron waves near the zero-group-dispersion point in magnetized plasmas. *Phys. Plasmas* **12**(8), 082303, (2005).
- Kourakis, I., P.K. Shukla and G.E. Morfill: Linear and nonlinear dynamics of a dust bicrystal consisting of positive and negative dust particles. *Phys. Plasmas* **12**, 112104 (2005).
- Kourakis, I., P.K. Shukla and G.E. Morfill: Modulation instability and localized excitations involving two nonlinearly coupled upper-hybrid waves in plasmas. *New Journal of Physics* **7**, 153 (2005).
- Kretschmer, M., S.A. Khrapak, S.K. Zhdanov, H. M. Thomas, G.E. Morfill, V.E. Fortov, A.M. Lipaev, V.I. Molotkov, A.I. Ivanov and M.I. Turin: Force field inside the void in complex plasmas under microgravity conditions. *Phys. Rev. (E)* **E71**, 056401 (2005).
- Krips, M., A. Eckart, R. Neri, J.U. Pott, S. Leon, F. Combes, S. Garcia-Burillo, L.K. Hunt, A.J. Baker, L.J. Tacconi, P. Englmaier, E. Schinnerer and F. Boone: Molecular Gas in NUCleI of GALaxies (NUGA). III. The Warped LINER NGC 3718. *Astron. Astrophys.* **442**, 479-493 (2005).
- La Franca, F., F. Fiore, A. Comastri, G.C. Perola, N. Sacchi, M. Brusa, F. Cocchia, C. Feruglio, G. Matt, C. Vignali, N. Carangelo, P. Ciliegi, A. Lamastra, R. Maiolino, M. Mignoli, S. Molendi and

- S. Puccetti:* The HELLAS2XMM Survey. VII. The Hard X-Ray Luminosity Function of AGNs up to z=4: More Absorbed AGNs at Low Luminosities and High Redshifts. *Ap. J.* **635**, 864-879 (2005).
- Labbé, I., J. Huang, M. Franx, G. Rudnick, P. Barmby, E. Daddi, P.G. van Dokkum, G.G. Fazio, N.M. Förster Schreiber, A.F.M. Moorwood, H.-W. Rix, H. Röttgering, I. Trujillo and P. van der Werf:* IRAC mid-infrared imaging of the Hubble Deep Field South: star formation histories and stellar masses of red galaxies at z>2. *Ap. J. Lett.* **624**, L81-L84 (2005).
- Lauer, T.R. , S.M. Faber, K. Gebhardt, D. Richstone, S. Tremaine, E.A. Ajhar, M.C. Aller, R. Bender, A. Dressler, A.V. Filippenko, R. Green, C.J. Grillmair, L.C. Ho, J. Kormendy, J. Magorrian, J. Pinkney and C. Siopis:* The Centers of Early-Type Galaxies With Hubble Space Telescope. V. New WFPC2 Photometry. *Astron. J.* **129**, 2138-2185 (2005).
- Lavraud, M., H. Rème, M.W. Dunlop, J.-M. Bosqued, I. Dandouras, J.-A. Sauvaud, A. Keiling, T.D. Phan, R. Lundin, P.J. Cargill C.P. Escoubet, C.W. Carlson, J.P. McFadden, G.K. Parks, E. Moebius, L.M. Kistler, E. Amata, M.-B. Bavassano-Cattaneo, A. Korth, B. Klecker and A. Balogh:* Cluster Observes The High-Altitude Cusp Region. *Surveys in Geophysics* **26**, 135-175 (2005).
- Lefloch, B., J. Cernicharo, S. Cabrit and D. Cesarsky:* Shock-induced PDR in the Herbig-Haro object HH 2. *Astron. Astrophys.* **433**, 217-227 (2005).
- Lehmann, I., T. Becker, S. Fabrika, M. Roth, J. Greiner, G. Hasinger, E. Costantini et al:* XMM-Newton observations of the Lockman Hole. III. A relativistic Fe line in the mean X-ray spectra of type-1 and type-2 AGN. *Astron. Astrophys.* **431**, 847-860 (2005).
- Lehmer, B.D., W.N. Brandt, D.M. Alexander, F.E. Bauer, D.P. Schneider, P. Tozzi, J. Bergeron, G.P. Garmire, R. Giacconi, R. Gilli, G. Hasinger, A.E. Hornschemeier, A.M. Koekemoer, V. Mainieri, T. Miyaji, M. Nonino, P. Rosati, J.D. Silverman, G. Szokoly and C. Vignali:* The Extended Chandra Deep Field-South Survey: Chandra Point-Source Catalogs. *Ap. J. Suppl. Ser.* **161**, 21-40 (2005).
- Lehnert, M.D., N.M. Förster Schreiber and M.N. Bremer:* Deep VLT V-band imaging of the field of a z=10 candidate galaxy: below the Lyman limit? *Ap. J.* **624**, 80-84 (2005).
- Lisse, C.M., T.E. Cravens and K. Dennerl:* X-ray and Extreme Ultraviolet Emission from Comets, Comets II.(Eds.) M.C. Festou, H.U. Keller and H.A. Weaver. The University of Arizona Press, Tucson, 631-643 (2005).
- Longhetti, M., P. Saracco, P. Severgnini, R. Della Ceca, V. Braito, F. Mannucci, R. Bender, N. Drory, G. Feulner and U. Hopp:* Dating the Stellar Population in Massive Early-type Galaxies at z ~ 1.5. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **361**, 897-906 (2005).
- Longoni, A., C. Fiorini, C. Guazzoni, S. Buzetti, M. Buzetti, L. Strüder, P. Lechner, A. Bjeoumikhov and J. Kemmer:* A novel high resolution XRF spectrometer for elemental mapping based on a monolithic array of silicon drift detectors and on a polycapillary X-ray lens. *X-ray Spectrometry* **34**, 439-445 (2005).
- Lutz, D., E. Valiante, E. Sturm, R. Genzel, L.J. Tacconi, M.D. Lehnert, A. Sternberg and A.J. Baker:* Mid-Infrared Spectroscopy of Two Luminous Submillimeter Galaxies at z~2.8 . *Ap. J. Lett.* **625**, L83-L86 (2005).
- Lutz, D., L. Yan, L. Armus, G. Helou, L.J. Tacconi, R. Genzel and A.J. Baker:* Millimeter Observations of Obscured Spitzer 24 micrometer Sources. *Ap. J. Lett.* **632**, L13-L16 (2005).
- Lutz, G., N. Otte, R.H. Richter and L. Strüder:* The Avalanche Drift Diode: A New Detector Concept for Single Photon Detection. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **52/4**, 1156-1159 (2005).
- Mahdavi, A., A. Finoguenov, H. Böhringer, M.J. Geller and J.P. Henry:* XMM-Newton and Gemini Observations of Eight RASSCALS Galaxy Groups. *Ap. J.* **622**, 187-204 (2005).
- Mainieri, V., D. Rigopoulou, I. Lehmann, S. Scott, I. Matute, O. Almaini, P. Tozzi, G. Hasinger et al:* Submillimetre detection of a high-redshift type 2 QSO. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **356**, 1571-1575 (2005).
- Mainieri, V., P. Rosati, P. Tozzi, J. Bergeron, R. Gilli, G. Hasinger, I. Lehmann, G. Szokoly et al:* The Chandra deep field South/GOODS survey. Optically faint X-ray sources. *Astron. Astrophys.* **437**, 805-821 (2005).
- Mamun, A.A., P.K. Shukla and G.E. Morfill:* Low-frequency electromagnetic waves in a partially ionized multi-component magnetoplasma. *J. Plasma Phys.* **71** (4), 389-399 (2005).
- Martins, F., D. Schaerer and D.J. Hillier:* A new calibration of stellar parameters of Galactic O stars. *Astron. Astrophys.* **436**, 1049-1065 (2005).
- Martins, F., D. Schaerer, D.J. Hillier, F. Meynadier, M. Heydari-Malayeri and N.R. Walborn:* O stars with weak winds: the Galactic case. *Astron. Astrophys.* **441**, 735-762 (2005).
- Masetti, N., E. Palazzi, E. Pian, L. Hunt, J.P.U. Fynbo, J. Gorosabel, S. Klose, S. Benetti, R. Falomo, A. Zeh, J. Greiner et al:* Late-epoch optical and near-infrared observations of the GRB 000911 afterglow and its host galaxy. *Astron. Astrophys.* **438**, 841-853 (2005).
- Mateos, S., X. Barcons, F.J. Carrera, M.T. Ceballos, G. Hasinger, I. Lehmann, A.C. Fabian and A. Strebyanska:* XMM-Newton observations of the Lockman Hole IV: spectra of the brightest AGN. *Astron. Astrophys.* **444**, 79-99 (2005).

- Matt, G., D. Porquet, S. Bianchi, S. Falocco, R. Maiolino, J.N. Reeves and L. Zappacosta:* A changing inner radius in the accretion disc of Q0056-363? *Astron. Astrophys.* **435**, 857-861 (2005).
- McGlynn, T.A., A.A. Suchkov, E.L. Winter, R.J. White, R. Hanisch, R.L. White, F. Ochsenbein, S. Derriere, W. Voges, M.F. Corcoran, S.A. Drake and M. Donahue:* Automated Classification of ROSAT Sources Using Heterogeneous Multi-wavelength Source Catalogs. *Ap. J.* **616**, 1284-1300 (2004).
- Mendez, R.H., D. Thomas, R.P. Saglia, C. Maraston, R.P. Kudritzki and R. Bender:* Oxygen and neon abundances of planetary nebulae in the outskirts of the elliptical galaxy NGC 4697. *Ap. J.* **627**, 767-781 (2005).
- Mengel, S., M.D. Lehnert, N. Thatte and R. Genzel:* Star-formation in NGC 4038/4039 from Broad and Narrow Band Photometry: Cluster Destruction? *Astron. Astrophys.* **443**, 41-60 (2005).
- Mereghetti, S., D. Götz, A. von Kienlin, A. Rau, G. G. Lichti, G. Weidenspointner and P. Jean:* The first giant flare from SGR 1806-20: observations with the INTEGRAL SPI anti-coincidence shield. *Ap. J.* **624**, L105-L108 (2005).
- Miller, C.J., R.C. Nichol, D. Reichart, R.H. Wechsler, A.E. Evrard, J. Annis, T.A. McKay, N.A. Bahcall, M. Bernardi, H. Böhringer, A. Connolly, T. Goto, A. Kniazev, D. Lamb, M. Postman, D.P. Schneider, R.K. Sheth and W. Voges:* The C4 Clustering Algorithm: Clusters of Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey. *Astron. J.* **130**, 968-1001 (2005).
- Mimica, P., M.A. Aloy, E. Mueller and W. Brinkmann:* Which physical parameters can be inferred from the emission variability of relativistic jets? *Astron. Astrophys.* **441**, 103-115 (2005).
- Mishin V.M., M. Förster, A.D. Bazarzhanov, T.I. Saifudinova, Yu.A. Karavaev, P. Stauning, J. Watermann, V. Golovkov and S. Solovyev:* Space weather parameters, computed on the basis of the Magnetogram Inversion Technique, Chin. J. Space Sci. **25**, 440-450 (2005).
- Moran, L., S. Mereghetti, D. Götz, L. Hanlon, A. von Kienlin, B. McBreen, A. Tiengo, R. Preece, O.R. Williams, K. Bennett, R.M. Kippen, S. McBreen and S. McGlynn:* INTEGRAL and XMM-Newton observations of GRB 040106. *Astron. Astrophys.* **432**, 467-473 (2005).
- Moses, J.I., T. Fouchet, B. Bezzard, G.R. Gladstone, E. Lellouch and H. Feuchtgruber:* Photochemistry and diffusion in Jupiter's stratosphere: Constraints from ISO observations and comparisons with other giant planets. *J. Geophys. Res.* **110**, 8001-8011 (2005).
- Motch, C., K. Sekiguchi, F. Haberl, V.E. Zavlin, A. Schwope and M.W. Pakull:* The proper motion of the isolated neutron star RX J1605.3+3249. *Astron. Astrophys.* **429**, 257-265 (2005).
- Müller, T.G., P. Ábrahám and J. Crovisier:* Comets, Asteroids and Zodiacal Light as seen by Iso. *Space Sci. Rev.* **119**, doi:10.1007/s11214-005-8067-9, 141-155 (2005).
- Müller, T.G., T. Sekiguchi, M. Kaasalainen, M. Abe and S. Hasegawa:* Thermal infrared observations of the Hayabusa spacecraft target asteroid 25143 Itokawa. *Astron. Astrophys.* **443**, 347-355 (2005).
- Mullis, C.R., P. Rosati, G. Lamer, H. Böhringer, A. Schwope, P. Schuecker and R. Fassbender:* Discovery of an X-ray-luminous galaxy cluster at z=1.4. *Ap. J. Lett.* **623**, L85-L88 (2005).
- Mustafa, M.G. and M.H. Thoma:* Quenching of hadron spectra due to the collisional energy loss of partons in the quark-gluon plasma. *Acta Phys. Hung. A* **22**, 93-102 (2005).
- Mustafa, M.G., M.H. Thoma and P. Chakraborty:* Screening of a moving parton in the quark-gluon plasma. *Phys. Rev. (C)* **71**, 017901 (2005).
- Nakamura R., W. Baumjohann, T.L. Zhang, C.M. Carr, A. Balogh, K-H. Fornacon, E. Georgescu, H. Rème, I. Dandouras, T. Takada, M. Volwerk, Y. Asano, A. Runov, H. Eichelberger, B. Klecker, C. Mouikis, L.M. Kistler and O. Amm:* Cluster and Double Star observations of dipolarization. *Ann. Geophysicae* **23**, 2915-2920 (2005).
- Nakamura, R., O. Amm, H. Laasko, N.C. Draper, M. Lester, A. Grocott, B. Klecker, I.W. McCrea, A. Balogh, H. Rème and M Andre:* Localized fast flow disturbance observed in the plasma sheet and in the ionosphere. *Ann. Geophysicae* **23**, 553-556 (2005).
- Nakamura, R., W. Baumjohann, C. Mouikis, L.M. Kistler, A. Runov, M. Volwerk, Y. Asano, Z. Vörös, T.L. Zhang, B. Klecker, A. Balogh and H. Rème:* Multi-point observation of the high-speed flows in the plasma sheet. *Adv. Space Res.* **36**, 1444-1447 (2005).
- Nakata, F., R.G. Bower, M.L. Balogh and D.J. Wilman:* The evolution of [OII] emission from cluster galaxies. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **357**, 679-686 (2005).
- Neagu, E., J.E. Borovsky, S.P. Gary, A.M. Jorgensen, W. Baumjohann and R.A. Treumann:* Statistical survey of magnetic and velocity fluctuations in the near-Earth plasma sheet: International Sun Earth Explorer (ISEE-2) Measurements. *J. Geophys. Res.* **110**, A05203, (2005).
- Netzer, H., D. Lemze, S. Kaspi, I.M. George, T.J. Turner, D. Lutz, T. Boller and D. Chelouche:* XMM-Newton Spectroscopy of the Starburst-Dominated Ultraluminous Infrared Galaxy NGC 6240. *Ap. J.* **629**, 739-749 (2005).
- Noll, S. and D. Pierini:* Dust properties of UV bright galaxies at z~2. *Astron. Astrophys.* **444**, 137-155 (2005).

- Noll, S. and D. Pierini:* Dust properties of UV-bright galaxies at z~2. *Astron. Nachr.* **326**, 504 (2005).
- Nunomura, S., D. Samsonov, S. Zhdanov and G. Morfill:* Heat transfer in a two-dimensional crystalline complex (dusty) plasma. *Phys. Rev. Lett.* **95**, doi:10.1103/PhysRevLett. 95.025003, (2005).
- Nunomura, S., S. Zhdanov, D. Samsonov and G. Morfill:* Wave spectra in solid and liquid complex (dusty) plasmas. *Phys. Rev. Lett.* **94**, doi:10.1103/PhysRevLett.94.045001, (2005).
- O'Toole, S.J., S. Jordan, S. Friedrich and U. Heber:* Discovery of magnetic fields in hot subdwarfs. *Astron. Astrophys.* **437**, 227-234 (2005).
- Paschmann, G., S. Haaland, B.U.Ö. Sonnerup, H. Hasegawa, E. Georgescu, B. Klecker, T.D. Phan, H. Rème and A. Vaivads:* Characteristics of the near-tail dawn magnetopause and boundary Layer. *Ann. Geophysicae* **23**, 1481–1497 (2005).
- Paumard, T., G. Perrin, A. Eckart, R. Genzel, P. Léna, R. Schödel, F. Eisenhauer, T. Müller and S. Gillessen:* Scientific Prospects for VLTI in the Galactic Centre: Getting to the Schwarzschild Radius. *Astron. Nachr.* **326**, 568 (2005).
- Phan, T.D., C.P. Escoubet, L. Rezeau, R.A. Treumann, A. Vaivads, G. Paschmann, S.A. Fuselier, D. Attié, A. Rogers and B.U.Ö. Sonnerup:* Magnetopause Processes. *Space Sci. Rev.* **118**, 367–424 (2005).
- Pierini, D., C. Maraston, K.D. Gordon and A.N. Witt:* The nature of the red disc-like galaxies at high redshift: dust attenuation and intrinsically red stellar populations. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **363**, 131-145 (2005).
- Pietsch, W. and F. Haberl:* XMM-Newton detection of type I X-ray bursts in M 31. *Astron. Astrophys. Lett.* **430**, doi:10.1051/ 0004-6361:200400128, L45-L48 (2005).
- Pietsch, W., J. Fliri, M.J. Freyberg, J. Greiner, F. Haberl, A. Riffeser and G. Sala:* Optical novae: the major class of supersoft X-ray sources in M 31. *Astron. Astrophys.* **442**, 879-894 (2005).
- Pietsch, W., M. Freyberg and F. Haberl:* An XMM-Newton survey of M 31. *Astron. Astrophys.* **434**, 483-496 (2005).
- Pointecouteau, E., M. Arnaud and G.W. Pratt:* Probing the dark matter profile of hot clusters and the M-T relation with XMM-Newton. *Adv. Space Res.* **36**, 659-662 (2005).
- Pointecouteau, E., M. Arnaud and G.W. Pratt:* The structural and scaling properties of nearby galaxy clusters. I. The universal mass profile. *Astron. Astrophys.* **435**, 1-7 (2005).
- Pokhotelov, O.A., M.A. Balikhin, R.Z. Sagdeev and R.A. Treumann:* Comment on “Theory and Observations of Slow-Mode Solitons in Space Plasmas”. *Phys. Rev. Lett.* **95**, 129501 (2005).
- Pokhotelov, O.A., M.A. Balikhin, R.Z. Sagdeev and R.A. Treumann:* Halo and mirror instabilities in the presence of finite Larmor radius effects. *J. Geophys. Res.* **110**, A10206 (2005).
- Popesso, P., A. Biviano, H. Böhringer, M. Romaniello and W. Voges:* RASS-SDSS galaxy cluster survey. III. Scaling relations of galaxy clusters. *Astron. Astrophys.* **433**, 777-785 (2005).
- Popesso, P., H. Böhringer, M. Romaniello and W. Voges:* RASS-SDSS galaxy cluster survey. II. A unified picture of the cluster luminosity function. *Astron. Astrophys.* **433**, 415-429 (2005).
- Porquet, D., N. Grosso, G. Belanger, A. Goldwurm, F. Yusef-Zadeh, R.S. Warwick and P. Predehl:* Discovery of X-ray eclipses from the transient source CXOGC J174540.0-290031 with XMM-Newton. *Astron. Astrophys.* **443**, 571-579 (2005).
- Porquet, D., N. Grosso, V. Burwitz, I.L. Andronov, B. Aschenbach, P. Predehl and R.S. Warwick:* Discovery of a bright X-ray transient in the Galactic Center with XMM-Newton. *Astron. Astrophys. Lett.* **430**, L09-L12 (2005).
- Pott, J.-U., A. Eckart, A. Glindemann, C. Leinert, M. Robberto and R. Genzel:* The First VLTI Observations of the Galactic Center. *Astron. Nachr.* **326**, 569 (2005).
- Pottelette, R. and R.A. Treumann:* Auroral Acceleration and Radiation. *Lecture Notes in Physics* **687**, Springer, Heidelberg-Newark, 105-140 (2005).
- Pottelette, R. and R.A. Treumann:* Electron holes in the auroral upward current region. *Geophys. Res. Lett.* **32**, L12104 (2005).
- Pratt, G. W., H. Böhringer and A. Finoguenov:* Further evidence for a merger in Abell 2218 from an XMM-Newton observation. *Astron. Astrophys.* **433**, 777-785 (2005).
- Pratt, G.W. and M. Arnaud:* XMM-Newton observations of three poor clusters: Similarity in dark matter and entropy profiles down to low mass. *Astron. Astrophys.* **429**, 791-806 (2005).
- Pustilnik, S.A., D. Engels, V.A. Lipovetsky, A.Y. Kniazev, A.G. Pramskij, A.V. Ugryumov, J. Massegosa, Y.I. Izotov, F. Chaffee, I. Marquez, A.L. Teplyakova, U. Hopp, N. Brosch, H.-J. Hagen and J.-M. Martin:* The Hamburg/SAO survey for emission line galaxies. VI. The sixth list of 216 galaxies. *Astron. Astrophys.* **442**, 109-116 (2005).
- Puzia, T.H., M. Kissler-Patig, D. Thomas, C. Maraston, R.P. Saglia, R. Bender, T. Richtler, P. Goudfrooij and M. Hampel:* VLT spectroscopy of globular cluster systems: II. Global spectroscopic ages, metallicities and [alpha/Fe] ratios. *Astron. Astrophys.* **439**, 997-1011 (2005).
- Ratynskaia, S., C. Knapik, K. Rypdal, S. Khrapak and G. Morfill:* Statistics of particle transport in a 2D dusty plasma cluster. *Phys. Plasmas* **12**, 022302, (2005).
- Rau, A., A. von Kienlin, K. Hurley and G.G. Lichten:* The 1st INTEGRAL SPI-ACS gamma-ray burst

- catalogue. *Astron. Astrophys.* **438**, 1175-1183 (2005).
- Rau, A., M. Salvato and J. Greiner:* The host of GRB/XRF 030528- an actively star forming galaxy at z=0.782. *Astron. Astrophys.* **444**, doi:10.1051/0004-6361:20053773, 425-430 (2005).
- Rea, N., T. Oosterbroek, S. Zane, R. Turolla, M. Méndez, G.L. Israel, L. Stella and F. Haberl:* Post-glitch variability in the anomalous X-ray pulsar 1RXSJ170849.0-400910. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **361**, 710-718 (2005).
- Rebusco, P., E. Churazov, H. Böhringer and W. Forman:* Impact of stochastic gas motions on galaxy cluster abundance profiles. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **359**, 1041-1048 (2005).
- Rème, H., I. Dandouras, C. Aoustin, J.M. Bosqued, J.A. Sauvaud, C. Vallat, P. Escoubet, J.B. Cao, J. Shi, M.B. Bavassano-Cattaneo, G.K. Parks, C.W. Carlson, Z. Pu, B. Klecker, E. Möbius, L. Kistler, A. Korth, R. Lundin and the HIA team:* The HIA instrument on board the Tan Ce 1 Double Star near-equatorial spacecraft and its first results. *Ann. Geophysicae* **23**, 2757-2774 (2005).
- Retino, A., M.B. Bravassano Cattaneo, M.F. Marcuzzi, A. Vaivads, M. Andre, Y. Khotyaintsev, T. Phan, G. Pallocchia, H. Rème, E. Möbius, B. Klecker, C.W. Carlson, M. McCarthy, A. Korth, R. Lundin and A. Balogh:* Cluster multispacecraft observations at the high-latitude duskside magnetopause: Implications for continuous and component magnetic reconnection. *Ann. Geophysicae* **23**, 461-473 (2005).
- Rheinhardt, M.R. and U.G. Geppert:* The proto-neutron-star dynamo. Viability and impediments'. *Astron. Astrophys.* **435**, 201-206 (2005).
- Rheinhardt, M.R. and U.G. Geppert:* Comment on "Linear instability of magnetic Taylor-Couette flow with Hall effect". *Phys. Rev. (E)* **71**, 038301, 1-3 (2005).
- Runov, A., V.A. Sergeev, R. Nakamura, W. Baumjohann, T.L. Zhang, Y. Asano, M. Volwerk, Z. Vörös, A. Balogh and H. Rème:* Reconstruction of the magnetotail current sheet structure using multi-point Cluster measurements. *Planet. Space Sci.* **53**, 237-243 (2005).
- Runov, A., V.A. Sergeev, W. Baumjohann, R. Nakamura, S. Apatenkov, Y. Asano, M. Volwerk and Z. Vörös:* Electric current and magnetic field geometry in flapping magnetotail current sheets. *Ann. Geophysicae* **23**, 1391-1403 (2005).
- Rypdal, K. and S. Ratynskaia:* Onset of turbulence and profile resilience in Helimak configuration. *Phys. Rev. Lett.* **94**, 225002, 1-4 (2005).
- Rypdal, K. and S. Ratynskaia:* Plasma profiles, waves, and anomalous transport in a purely toroidal plasma modified by a biased anode. *Physica Scr.* **73**, 1-14 (2005).
- Salvato, M., J. Greiner and B. Kuhlbrodt:* Exploring the central kiloparsec in Seyfert galaxies. Cambridge Univ. Press **197**, 111-112 (2005).
- Samsonov, D., S. Zhdanov and G. Morfill:* Vertical wave packets observed in a crystallized hexagonal monolayer complex plasma. *Phys. Rev. (E)* **E71**, doi:10.1103/PhysRevE.71.026410, 026410-1-026410-7 (2005).
- Sanchez, A.G., D.G. Lambas, H. Böhringer and P. Schuecker:* Cross-correlations of X-ray and optically selected clusters with near-infrared and optical galaxies. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **362**, 1225-1232 (2005).
- Sanderson, A.J.R., A. Finoguenov and J.J. Mohr:* Possible AGN Shock Heating in the Cool-Core Galaxy Cluster Abell 478. *Ap. J.* **630**, 191-205 (2005).
- Saracco, P., M. Longhetti, P. Severgnini, R. Della Ceca, V. Braito, F. Mannucci, R. Bender, N. Drory, G. Feulner, U. Hopp and C. Maraston:* The Density of Very Massive Evolved Galaxies to z~1.7. *Mon. Not. R. Astron. Soc. Lett.* **357**, L40-L44 (2005).
- Sauvageot, J.-L., E. Belsole and G.W. Pratt:* The late merging phase of a galaxy cluster: XMM EPIC observations of A3266. *Astron. Astrophys.* **444**, 673-683 (2005).
- Schneider, D.P., P.B. Hall, G.T. Richards and W. Voges:* The Sloan Digital Sky Survey Quasar Catalog. III. Third Data Release. *Astron. J.* **130**, 367-380 (2005).
- Schödel, R., A. Eckart, C. Iserlohe, R. Genzel and T. Ott:* A Black Hole in the Galactic Center Complex IRS 13E? *Ap. J. Lett.* **625**, L111-L114 (2005).
- Scholer, M., M.F. Thomsen, D. Burgess, S.D. Bale, M.A. Balikhin, A. Balogh, T.S. Horbury, V.V. Krasnoselskikh, H. Kucharek, E.A. Lucek, B. Lembège, E. Möbius, S.J. Schwartz and S.N. Walker:* Cluster at the Bow Shock: Status and Outlook. *Space Sci. Rev.* **118**, 223-227 (2005).
- Schröder, R., R. Schlickeiser and A.W. Strong:* Diffuse Galactic sub-MeV gamma-ray excess from high-energy electrons. *Astron. Astrophys. Lett.* **442**, L45-L48 (2005).
- Schuecker, P.:* New Cosmology with Clusters of Galaxies. *Reviews in Modern Astronomy* **18**, 76-105 (2005).
- Schulte-Ladbeck, R.E., B. Koenig, C.J. Miller, A.M. Hopkins, I.O. Drozdovsky, D.A. Turnshek and U. Hopp:* Emission-Line Spectroscopy of Damped Ly-alpha Systems: The Case of SBS 1543+593/HS 1543+5921. *Ap. J. Lett.* **625**, 79-83 (2005).
- Schwarz, R., K. Reinsch, K. Beuermann and V. Burwitz:* XMM-Newton observation of the long-period polar V1309 Orionis: the case for pure blobby accretion. *Astron. Astrophys.* **442**, 271-279 (2005).
- Schweitzer, M., E. Sturm, D. Lutz, A. Contursi, R. Genzel, M.D. Lehnert, L.J. Tacconi and S. Veilleux:* Silicate Emission in Active Galaxies –

- From LINERs to QSOs. *Astron. Nachr.* **326**, 556 (2005).
- Schwope, A.D., V. Hambaryan, F. Haberl and C. Motch:* The pulsed X-ray light curves of the isolated neutron star RBS1223. *Astron. Astrophys.* **441**, 597-604 (2005).
- Sergeev, V.A., M.V. Kubyshkina, W. Baumjohann, R. Nakamura, O. Amm, T. Pulkkinen, V. Angelopoulos, S.B. Mende, B. Klecker, T. Nagai, J.-A. Sauvaud, J.A. Slavin and M.F. Thomsen:* Transition from substorm growth to substorm expansion phase as observed with a radial configuration of ISTP and Cluster spacecraft. *Ann. Geophysicae* **23**, 2183–2198 (2005).
- Severgnini, P., R. Della Cecy, V. Braito, P. Saracco, M. Longhetti, R. Bender, N. Drory, G. Feulner, U. Hopp, F. Mannucci and C. Maraston:* Looking for Obscured QSOs in the X-ray Emitting ERO Population. *Astron. Astrophys.* **431**, 87-95 (2005).
- Shemmer, O., W.N. Brandt, S.C. Gallagher, C. Vignali, Th. Boller, G. Chartas and A. Comastri:* XMM-Newton Spectroscopy of the Highly Polarized and Luminous Broad Absorption Line Quasar CSO 755. *Astron. J.* **130**, 2522-2528 (2005).
- Soltan, A.M., M.J. Freyberg and G. Hasinger:* Signs of warm-hot intergalactic medium in the soft X-ray background. *Astron. Astrophys.* **436**, 67-73 (2005).
- Strateva, I.V., M.A. Strauss, L. Hao, W. Voges et al:* Erratum: Double-peaked Low-Ionization Emission Lines in Active Galactic Nuclei. *Astron. J.* **130**, 1961-1963 (2005).
- Streblyanska, A., G. Hasinger, A. Finoguenov, X. Barcons, S. Mateos and A.C. Fabian:* XMM-Newton observations of the Lockman Hole. III. A relativistic Fe line in the mean X-ray spectra of type-1 and type-2 AGN. *Astron. Astrophys.* **432**, 395-400 (2005).
- Strong, A.W., R. Diehl, H. Halloin, V. Schönfelder, L. Bouchet, P. Mandrou, F. Lebrun and R. Terrier:* Gamma-ray continuum emission from the inner Galactic region as observed with INTEGRAL/SPI. *Astron. Astrophys.* **444**, 495-503 (2005).
- Sturm, E., M. Schweitzer, D. Lutz, A. Contursi, R. Genzel, M.D. Lehnert, L.J. Tacconi, S. Veilleux, D.S. Rupke, D.-C. Kim, A. Sternberg, D. Maoz, S. Lord, J. Mazzarella and D.B. Sanders:* Silicate Emissions in Active Galaxies: From LINERs to QSOs. *Ap. J. Lett.* **629**, L21-L23 (2005).
- Szokoly, G.P.:* Optimal slit orientation for long multi-object spectroscopic exposures. *Astron. Astrophys.* **443**, 703-707 (2005).
- Tacconi-Garman, L.E., E. Sturm, M. Lehnert, D. Lutz, R.I. Davies and A.F.M. Moorwood:* PAH emission variations within the resolved starbursts of NGC 253 and NGC 1808. *Astron. Astrophys.* **432**, 91-103 (2005).
- Tank, V.T., H.P. Pfanz, H.G. Gemperlein and P.S. Strobl:* Infrared remote sensing of Earth degassing – Ground study. *Ann. Geophysics* **48**, 181-194 (2005).
- Teodorescu, A., R.H. Mendez, R.P. Saglia, A. Riffeser, R.P. Kudritzki, O. Gerhard and J. Kleyna:* Planetary nebulae and stellar kinematics in the flattened elliptical galaxy NGC 134. *Ap. J.* **635**, 290-304 (2005).
- Thoma, M.H., M. Kretschmer, H. Rothermel, H.M. Thomas and G.E. Morfill:* The Plasma Crystal. *Am. J. Phys.* **73**, 420-424 (2005).
- Thoma, M.H.:* The quark-gluon plasma liquid. *J. Phys. G* **31**, L07-L12 (2005).
- Thoma, M.H., H. Höfner, S.A. Khrapak, M. Kretschmer, R.A. Quinn, S. Ratynskaia, G.E. Morfill, A. Usachev, A. Zobnin, O. Petrov and V. Fortov:* Measurement of the ion drag force in a complex dc-plasma using the PK-4 experiment. *Ukrainian Journal of Physics* **50**, 179-183 (2005).
- Thoma, M.H.:* Structure functions and pair correlations of the quark-gluon plasma. *Phys. Rev. (D)* **72**, 094030, 1-5 (2005).
- Thomas, D., C. Maraston, R. Bender and C. Mendes de Oliveira:* The Epochs of Early-Type Galaxy Formation as a Function of Environment. *Ap. J.* **621**, 673-694 (2005).
- Thomas, H.M., G.E. Morfill, A.V. Ivlev, A.P. Nefedov, V.E. Fortov, H. Rothermel, M. Rubin-Zuzic, A.M. Lipaev, V.I. Molotkov and O.F. Petrov:* PKE-Nefedov- Complex Plasma Research on the International Space Station. *Microgravity Science & Technology* **XVI**, 317-321 (2005).
- Thomas, J., R.P. Saglia, R. Bender, D. Thomas, K. Gebhardt, J. Magorrian, E. Corsini and G. Wegner:* Regularized orbit models unveiling the stellar structure and dark matter halo of the Coma elliptical NGC 4807. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **360**, 1355-1372 (2005).
- Tran, K.-V. H., P.G. van Dokkum, M. Franx, G.D. Illingworth, D.D. Kelson and N.M. Förster Schreiber:* Spectroscopic confirmation of multiple red galaxy-galaxy mergers in MS1054-03 (z=0.83). *Ap. J. Lett.* **627**, L25-L28 (2005).
- Treis, J., P. Fischer, M. Hartner, O. Häcker, S. Herrmann, R. Kohrs, H. Krüger, P. Lechner, G. Lutz, I. Peric, M. Porro, R. Richter, L. Strüder, M. Trimpl and N. Wermes:* DEPMOSFET Active Pixel Sensor Prototypes for the XEUS Wide Field Imager. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **52**, 1083-1091 (2005).
- Trinchieri, G., J. Sulentic, W. Pietsch and D. Breitschwerdt:* Stephan's Quintet with XMM-Newton. *Astron. Astrophys.* **444**, 697-710 (2005).
- Tsytyovich, V.N., U. de Angelis, A.V. Ivlev and G.E. Morfill:* Kinetic theory of partially ionized complex (dusty) plasmas. *Phys. Plasmas* **12**, 082103 (2005).

- Tsytovich, V.N., U. de Angelis, A.V. Ivlev, G.E. Morfill and S.A. Khrapak: Role of effective potential barriers in the nonlinear screening regime: Grain charging and ion drag force. *Phys. Plasmas* **12**, 092106 (2005).
- Tsytovich, V.N., U. de Angelis, A.V. Ivlev, G.E. Morfill and S.A. Khrapak: Nonlinear drag force in dusty plasmas. *Phys. Plasmas* **12**, 112311 (2005).
- Ulrich, J., P. Fischer, P. Klein, G. Lutz, W. Neeser, R. Richter, L. Strüder, M. Trimpl and N. Wermes: Imaging performance of a DEPFET pixel Bioscope system in Tritium autoradiography. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. (A)* **547**, 424-436 (2005).
- Vaivads, A., Y. Khotyaintsev, M. Andre and R.A. Treumann: Plasma Waves near reconnection sites, in: LaBelle, J. and R.A. Treumann (Ed.): Geospace Electromagnetic Waves and Radiation. Lecture Notes in Physics **687**, Springer, Heidelberg-Newark, 251-272 (2005).
- Verma, A., V. Charmandaris, U. Klaas, D. Lutz and M. Haas: Obscured Activity: AGN, Quasars, Starbursts and ULIGs Observed by the Infrared Space Observatory. *Space Sci. Rev.* **119**, 355-407 (2005).
- Viotti, R.F., R. Gonzalez-Riestra, T. Iijima, S. Bernabei, R. Claudi, J. Greiner, M. Friedjung, V.F. Polcaro and C. Rossi: Optical and X-ray observations of the symbiotic system AG Dra during quiescence and outburst. *Astrophys. Space Sci.* **296**, 435-439 (2005).
- Vladimirov, S.V., V.N. Tsytovich and G.E. Morfill: Stability of dust voids. *Phys. Plasmas* **12** (5), 052117 (2005).
- Volwerk, M., T.L. Zhang, R. Nakamura, A. Runov, W. Baumjohann, K.-H. Glassmeier, T. Takada, H.U. Eichelberger, C.M. Carr, A. Balogh, B. Klecker and H. Rème: Plasma flow channels with ULF waves observed by Cluster and DoubleStar. *Ann. Geophys.* **23**, 2929-2935 (2005).
- Vörös, Z., W. Baumjohann, R. Nakamura, A. Runov, M. Volwerk, H. Schwarzl, A. Balogh and H. Rème: Dissipation scales in the Earth's plasma sheet estimated from Cluster measurements. *Nonlinear Processes in Geophysics* **12**, 725-732 (2005).
- Walenta, A.H., A. Brill, A. Castoldi, T. Conk-Nurdan, C. Guazzoni, K. Hartmann, A. Longoni, K. Nurdan and L. Strüder: Vertex Detection in a Stack of Silicon Drift Detectors for High Resolution Gamma-Ray Imaging. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **52**, 1434-1438 (2005).
- Wang, J.X., T.G. Wang, P. Tozzi, R. Giacconi, G. Hasinger, V. Mainier, A. Streblyanska, G. Szokoly et al: Relativistic Outflow in CXOCDFS J033260.0-274748. *Ap. J.* **631**, L33-L36 (2005).
- Wegmann, R. and K. Dennerl: X-ray tomography of a cometary bow shock. *Astron. Astrophys.* **430**, L33-L36 (2004).
- White, S.D.M., A. Aragon-Salamanca, R. Bender, P. Best, M. Bremer, S. Charlot, D. Clowe, J. Dalcanton, M. Dantel, G. De Lucia, V. Desai, B. Fort, C. Halliday, P. Jablonka, G. Kauffmann, Y. Mellier, B. Milvang-Jensen, R. Pello, B. Poggianti, S. Poirer, H. Rottgerring, G. Rudnick, R.P. Saglia, P. Scheider, L. Simard and D. Zaritsky: EDisCS - the ESO Cluster Survey. Sample Definition and Optical Photometry. *Astron. Astrophys.* **444**, 365-379 (2005).
- Wilman, D.J., M.L. Balogh, R.G. Bower, J.S. Mulchaey, G. Oemler Jnr., R.G. Carlberg, S.L. Morris and R.J. Whitaker: Galaxy groups at $0.3 \leq z \leq 0.55$ – I. Group properties. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **358**, 71-87 (2005).
- Wilman, D.J., M.L. Balogh, R.G. Bower, J.S. Mulchaey, A. Oemler Jnr., R.G. Carlberg, V.R. Eke, I. Lewis, S.L. Morris and R.J. Whitaker: Galaxy groups at $0.3 \leq z \leq 0.55$ – II. Evolution to $z=0$. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **358**, 88-100 (2005).
- Wilson, C.A., M.C. Weiskopf, M.H. Finger, M.J. Coe, J. Greiner, P. Reig and G. Papamastorakis: Discovery of a Be/X-ray binary consistent with the position of GRO J2058+42. *Ap. J.* **622**, 1024-1032 (2005).
- Worsley, M.A., A.C. Fabian, F.E. Bauer, G. Hasinger, H. Brunner et al: The unresolved hard X-ray background: the missing source population implied by the Chandra and XMM-Newton deep fields. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **357**, 1281-1287 (2005).
- Xu, D., S. Komossa and J. Wei: Searching for the physical driver of the correlations in an X-ray selected AGN sample. *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics* **5**, 294-298 (2005).
- Yaroshenko, V.V., A.V. Ivlev and G.E. Morfill: Coupled dust lattice modes in complex plasmas. *Phys. Rev. (E)* **71**, 046405 (2005).
- Yaroshenko, V.V. and G.E. Morfill: Dust-lattice modes in magnetized complex plasmas. *New Journal of Physics* **7**, 207, 1-12 (2005).
- Yaroshenko, V.V., S. Ratynskaia, S.A. Khrapak, M.H. Thoma, M. Kretschmer and G.E. Morfill: Measurements of the dust-ion momentum transfer frequency and ion drag force in complex plasmas. *Contrib. Plasma Phys.* **45**, 223-228 (2005).
- Yaroshenko, V., S. Ratynskaia, S. Khrapak, M. H. Thoma, M. Kretschmer, H. Höfner, G. E. Morfill, A. Zobnin, A. Usachev, O. Petrov and V. Fortov: Determination of the ion-drag force in a complex plasma. *Phys. Plasmas* **12**, 093503, 1-7 (2005).
- Yatsu, Y., J. Kataoka, N. Kawai, T. Kotani, K. Tamura and W. Brinkmann: Chandra Observation of the Interaction between the Hot Plasma Nebula RCW89 and the Pulsar Jet of PSR B1509-58. *Ap. J.* **631**, 312-319 (2005).
- Zakamska, N.L., G.D. Schmidt, P.S. Smith, G.P. Szokoly et al: Candidate Type II Quasars from

- the Sloan Digital Sky Survey. III. Spectropolarimetry Reveals Hidden Type I Nuclei. *Astron. Journal*, **129**, 1212-1224 (2005).
- Zappacosta, L., R. Maiolino, A. Finoguenov, F. Mannucci, R. Gilli and A. Ferrara:** Constraining the thermal history of the warm-hot intergalactic medium. *Astron. Astrophys.* **434**, 801-809 (2005).
- Zappacosta, L., R. Maiolino, F. Mannucci, R. Gilli and P. Schuecker:** Warm-hot intergalactic medium in the Sculptor supercluster. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **357**, 929-936 (2005).
- Zhang T.L., W. Baumjohann, R. Nakamura, M. Volwerk, A. Runov, Z. Vörös, K.-H. Glassmeier and A. Balogh:** Neutral sheet normal direction determination. *Adv. Space Res.* **36**, 1940-1945 (2005).
- Zhang, S., W. Collmar and V. Schönfelder:** COMPTEL Constraints on Unidentified EGRET Sources. *Astrophys. Space Sci.* **297**, 283-290 (2005).
- Zhang, S., W. Collmar and V. Schönfelder:** COMPTEL observations of the gamma-ray blazars 3C 454.3 and CTA 102 during the CGRO mission. *Astron. Astrophys.* **444**, 767-775 (2005).
- Zhang, T.L., R. Nakamura, M. Volwerk, A. Runov, W. Baumjohann, H.U. Eichelberger, C. Carr, A. Balogh, V. Sergeev, J.K. Shi and K.-H. Fornacon:** Double Star/Cluster observation of neutral sheet oscillations on 5 August 2004, *Ann. Geophysicae*. **23**, 2909-2914 (2005).
- Zhang, Y.-Y., H. Böhringer, A. Finoguenov, Y. Ikebe, K. Matsushita, P. Schuecker, L. Guzzo and C.A. Collins:** Exploring the structure of galaxy clusters: XMM-Newton observations of the REFLEX-DXL clusters at z~0.3. *Adv. Space Res.* **36**, 667-671 (2005).
- Zhang, Y.-Y., H. Böhringer, Y. Mellier, G. Soucail and W. Forman:** XMM-Newton study of the lensing cluster of galaxies CL0024+17. *Astron. Astrophys.* **429**, 85-99 (2005).
- Zhdanov, S.K., A.V. Ivlev and G.E. Morfill:** Non-Hamiltonian dynamics of grains with spatially varying charges. *Phys. Plasmas* **12**, 072312 (2005).
- Zibetti, S., B. Ménard, D. Nestor and D. Turnshek:** Constraining the Photometric Properties of Mg II-absorbing Galaxies with the Sloan Digital Sky Survey. *Ap. J. Lett.* **631**, L105-L108 (2005).
- Zibetti, S., S.D.M. White, D.P. Schneider and J. Brinkmann:** Intergalactic stars in z~0.25 galaxy clusters: systematic properties from stacking of Sloan Digital Sky Survey imaging data. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **358**, 949-967 (2005).
- Ziegler, B.L., D. Thomas, A. Böhm, R. Bender, A. Fritz and C. Maraston:** Kinematic and Chemical Evolution of Early-Type Galaxies. *Astron. Astrophys.* **433**, 519-530 (2005).

4.2 Referierte Proceedings / Refereed Proceedings

- Boehm, H., F. Jamitzky, R. Monetti, D. Mueller, A. Linaroudis, R. Hegerl and C. Raeth:** Morphological Filtering based on the Minkowski Functionals in 3D for Segmentation of Macromolecular Structures in Intact Eukaryotic Cells Depicted by Cryo-Electron Tomography. In: *Proceedings of the SPIE: Medical Imaging*. (Eds.) J.N. Fitzpatrick, J.N. Reinhardt. Progress in Biomedical Optics and Imaging Vol. **6**, SPIE, Bellingham, WA, 606-613 (2005).
- Boehm, H., T. Link, R. Monetti, D. Mueller, E. Rummery and C. Raeth:** Performance of Linear and Non-Linear Texture Measures in 2D and 3D for Monitoring Architectural Changes in Osteoporosis Using Computer-Generated Models of Trabecular Bone. In: *Proceedings of the SPIE: Medical Imaging*. (Eds.) J. M. Fitzpatrick, J.M. Reinhardt. Progress in Biomedical Optics and Imaging Vol. **6**, SPIE, Bellingham, WA, 249-257 (2005).
- Boller, Th.:** Measuring the Masses and Accretion Rates in Rapidly Growing Young NLS1s. In: *Proceedings of the MPA/ESO/MPE/USM Joint Astronomy Conference Held at Garching, Germany, June 2004*. (Eds.) A. Merloni, S. Nayakshin, R.A. Sunyaev. *ESO Astrophysics Symposia*, Springer Verlag, Heidelberg, 170-174 (2005).
- Diehl, R.:** Gamma-ray Line Astronomy. In: *Proceedings of International Symposium on High Energy Gamma-Ray Astronomy*, Heidelberg, July 2004. (Eds.) F. Aharonian, H. Völk, D. Horns. AIP Conference Proceedings **745**, American Institute of Physics, Melville, NY, 172-183 (2005).
- Diehl, R.:** Gamma-ray Lines and High-Energy Sources. In: *Proceedings of International Symposium „Astrophysical Sources of High-energy Particles and Radiation“*, Torun (Poland), June 2005. (Eds.) T. Bulik, B. Rudak, G. Madejski. AIP Conference Proceedings **801**, American Institute of Physics, Melville, NY, 63-71 (2005).
- Kanbach, G., A. Slowikowska, S. Kellner and H. Steinle:** New optical polarization measurements of the Crab pulsar. In: *AIP Conference Proceedings “Astrophysical Sources of High Energy Particles and Radiation”*. (Eds.) T. Bulik et al. AIP Conference Proceedings **801**, American Institute of Physics, Melville, NY, 306-311 (2005).
- Kanbach, G.:** Cosmic Accelerators: An Introduction. In: *Proceedings of “Astrophysical Sources of High Energy Particles and Radiation”*, Torun (Poland), 2005. (Eds.) T. Bulik, B. Rudak, G. Madejski. AIP Conference Proceedings **801**, American Institute of Physics, Melville, NY, 1-14 (2005).

- Khrapak, S.A., S. Ratynskaia, A. Zobnin, M.H. Thoma, M. Kretschmer, A. Usachev, V. Yaroshenko, R.A. Quinn, G.E. Morfill, O. Petrov and V. Fortov:* Measurement of dust grain charge in a weakly ionized plasma of a dc discharge. In: Proceedings of Int. Conf. on "Dusty Plasmas in Application", Odessa, Ukraine, 2004. Ukrainian J. Phys. Vol. **50**, 151-156 (2005).
- Knapek, C., D. Samsonov, S. Zhdanov, U. Konopka and G.E. Morfill:* Structural properties and melting of 2D plasma crystals. AIP Conf. Proc. **799**, 231-234 (2005).
- Konopka, U., M. Schwabe, C. Knapek, M. Kretschmer and G.E. Morfill:* Complex Plasmas in Strong Magnetic Field Environments. In: Proceedings of The Forth International Conference on the Physics of Dusty Plasmas. (Eds.) L. Boufendi, M. Mikikian, P.K. Shukla. AIP Conference Proceedings **799**, American Institute of Physics, Melville, NY, 181-184 (2005).
- Ménard, B., S. Zibetti, D. Nestor and D. Turnshek:* Constraining MgII absorber systems with the SDSS. In: Probing Galaxies through Quasar Absorption Lines, (Eds.) R. Williams, C.-G. Shu, B. Ménard, Proceedings of the IAU **199**, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 86-91 (2005).
- Monetti, R., H. Boehm, D. Mueller, E. Rummeny, T. Link and C. Raeth:* Structural analysis of human proximal femur for the prediction of biomechanical strength in vitro: the locally adapted scaling vector method. In: Proceedings of the SPIE: Medical Imaging. (Eds.) J.M. Fitzpatrick, J.M. Reinhardt. Progress in Biomedical Optics and Imaging Vol. **6**, SPIE, Bellingham, WA, 231-239 (2005).
- Quinn, P.J., D.G. Barnes, I. Csabai, C. Cui, F. Genova, B. Hanisch, A. Kembhavi, S.C. Kim, A. Lawrence, O. Malkov, M. Ohishi, F. Pasian, D. Schade and W. Voges:* The International Virtual Observatory Alliance: recent technical developments and the road ahead. In: Proceedings of SPIE: Ground-based Telescopes. (Ed.) J.M. Oschmann Jr. SPIE Vol. **5493**, 137-145 (2004).
- Raeth, C., D. Mueller, H. Boehm, E. Rummeny, T. Link and R. Monetti:* Improving the textural characterization of trabecular bone structure to quantify its changes: the locally adapted scaling vector method. In: Proceedings of the SPIE: Medical Imaging. (Eds.) J. M. Fitzpatrick, J. M. Reinhard. Progress in Biomedical Optics and Imaging Vol. **6**, SPIE, Bellingham, WA, 240-248 (2005).
- Runov, A., Y. Asano, Z. Vörös, R. Nakamura, W. Baumjohann, G. Paschmann, J. Quinn, C. McIlwain, A. Balogh and H. Rème:* Cluster magnetotail probe during the 13 September 2002 substorm. In: Proc. 7th Int. Conf. Substorms, N. Ganushkina and T. Pulkkinen (Eds), Finnis Meteorological Institute Helsinki, 188-194 (2004).
- Scholer, M. and S. Matsukiyo:* On kinetic structure of quasi-perpendicular collisionless shocks, in Physics of Collisionless Shocks, AIP Conf. Proc. **781**, p. 22-26 (2005).
- Slowikowska, A., A. Jessner, B. Klein and G. Kanbach:* Polarization Characteristics of the Crab Pulsar's Giant Radio Pulses at HFCs Phases. In: Proceedings of "Astrophysical Sources Of High Energy Particles and Radiation", Torun, Poland 2005. (Eds.) T. Bulik, B. Rudak, G. Madejski. AIP Conference Proceedings **801**, American Institute of Physics, Melville, NY, 324-329 (2005).
- Thoma, M.H., H. Höfner, S. A. Khrapak, M. Kretschmer, R.A. Quinn, S. Ratynskaia, G.E. Morfill, A. Usachev, A. Zobnin, O. Petrov and V. Fortov:* Measurement of the ion drag force in a complex dc plasma using the PK-4 experiment. In: Proceedings of Int. Conf. on "Dusty Plasmas in Applications", Odessa, Ukraine, 2004. (Ed.). Ukrainian J. Phys. Vol. **50**, 179-183 (2005).
- Yatsu, Y., J. Kataoka, N. Kawai, T. Kotani, K. Tamura and W. Brinkmann:* Chandra Observation of the Interaction between the hot Plasma Nebula RCW89 and the Pulsar Jet of PSR B1509-58. In: Proceedings of the Cospar Meeting in Paris. Adv. Sp. Res. **35**, American Institute of Physic, 1066-1069 (2005).
- Zhang, Y.-Y., H. Böhringer, A. Finoguenov, Y. Ikebe, K. Matsushita, P. Schuecker, L. Guzzo and C.A. Collins:* Exploring the Structure of Galaxy Clusters: XMM-Newton observations of the REFLEX-DXL clusters at z~0.3. In: Proceedings of the COSPAR Scientific Assembly, "Clusters of Galaxies: New Insights from XMM-Newton, Chandra and INTEGRAL", Paris (France), July 2004. (Ed.) J.S. Kaastra. Adv. Sp. Res. Vol. **36**, 667-671 (2005).
- Zibetti, S. and S.D.M. White:* Diffuse light in z≤0.25 galaxy clusters: constraining tidal damage and the faint end of the luminosity function. In: Near-fields cosmology with dwarf elliptical galaxies, (Eds.) H. Jerjen, B. Binggeli. Proc. IAU **198**, Cambridge University Press, Cambridge, UK., 337-341 (2005).
- Zibetti, S. and The GOLDMiNe Research Team:* NIR observations of dEs in the Virgo cluster: a structural continuity with giant ellipticals. In: Near-fields cosmology with dwarf elliptical galaxies, (Eds.) H. Jerjen, B. Binggeli. Proc. IAU **198**, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 380-381 (2005).

4.3 Instrumentelle Veröffentlichungen / Instrumental Publications

- Andritschke, R. et al:* The Compton and Pair Creation Telescope MEGA, Poster, Gamma Wave 2005, Bonifacio, France, September 2005.
- Briel, U.B., V.B. Burwitz, K.D. Dennerl, M.F. Freyberg, U.G. Geppert, F.H. Haberl, M.E. Esquej and M.K. Kirsch:* "EPIC-pn CCD camera onboard XMM-Newton: an update of calibration". Proceedings of the SPIE **5898**, doi: 10.1117/12.616824, 194-200 (2005).
- Briel, U.G.:* Crab: the standard X-ray candle with all (modern) X-ray satellites, contributed talk, UV, X-Ray, and Gamma-Ray Space Instrumentation for Astronomy XIV, San Diego, USA, August 2005.
- Briel, U.G.:* EPIC-pn CCD camera onboard XMM-Newton: an update of the calibration, contributed talk, UV, X-Ray, and Gamma-Ray Space Instrumentation for Astronomy XIV, San Diego, USA, August 2005.
- Briel, U.G., V. Burwitz, K. Dennerl, M.J. Freyberg, U. Gepper, F. Haberl, M.P. Esquej and M.G.F. Kirsch:* EPIC-pn CCD camera on-board XMM-Newton: An update of the Calibration. In: UV, X-Ray, and Gamma-Ray Space Instrumentation for Astronomy XIV, San Diego, CA (USA), 2005. (Ed.) O.H.W. Siegmund. SPIE Conference Proceedings **5898**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington, 58980P-1-58980P-7 (2005).
- Eisenhauer, F.:* Faint Object Multiple Beam Combiner for the VLTI, contributed talk, European Southern Observatory, Garching, Germany, October 2005.
- Eisenhauer, F.:* Faint Object Multiple Beam Combiner for the VLTI, The power of optical/IR interferometry: recent scientific results and 2nd generation VLTI instrumentation, contributed talk, Garching, Germany, April 2005.
- Ferrando, P., A. Goldwurm, P. Laurent, O. Limousin, J. Martignac, F. Pinsard, Y. Rio, J. P. Roques, O. Citterio, G. Pareschi, G. Tagliaferri, F. Fiore, G. Malaguti, U. Briel, G. Hasinger and L. Strüder:* SIMBOL-X: a formation flying mission for hard X-rays astrophysics. In: Optics for EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Astronomy II, San Diego, CA (USA), 2005. (Eds.) O. Citterio, S. O'Dell. SPIE Conference Proceedings **5900**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington, 195-204 (2005).
- Finoguenov, A.:* XMM background in deep fields: taking a deep breath before diving, invited talk, XMM calibration workshop, Mallorca, Spain, February 2005.
- Freyberg, M. et al:* Comparison of EPIC-pn calibration measurements: ground-based (PANTER) and in-flight (XMM-Newton), poster, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting: 5 years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Freyberg, M. et al:* Comparison of EPIC-pn ground-based and in-orbit calibration measurements, poster, 10th European Symposium on Semiconductor Detectors, Wildbad Kreuth, Germany, June 2005.
- Friedrich, P., B. Aschenbach, H. Bräuninger, G. Hasinger et al:* Recent results on manufacturing of segmented X-ray mirrors with slumped glass. In: Optics for EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Astronomy II. (Eds.) O. Citterio, S. O'Dell. Proceedings of the SPIE **5900**, 258-265 (2005).
- Kanbach, G.:* Compton-Pair Telescope for low-energy Gamma-ray astronomy, invited talk, Prospects in space-based Gamma-Ray Astronomy for Europe, Rome, Italy, March 2005.
- Kasper, M., N. Ageorges, A. Boccaletti, W. Brandner, L. Close, R. Davies, G. Finger, R. Genzel, M. Hartung, A. Kaufer, S. Kellner, N. Hubin, R. Lenzen, C. Lidman, G. Monnet, A. Moorwoerd, T. Ott, P. Riaud, H.-J. Roeser, D. Rouan and J. Spyromilio:* New Observing Modes with NACO. ESO Messenger **119**, 9-13 (2005).
- Kirsch, M.G., A. Abbey, B. Altieri, D. Baskill, K. Dennerl, J. van Dooren, J. Fauste, M.J. Freyberg, C. Gabriel, F. Haberl, H. Hartmann, G. Hartner, N. Meidinger, L. Metcalfe, B. Olabarri, A.M. Pollock, A.M. Read, S. Rives, S. Sembay, M.J. Smith, M. Stuhlinger and A. Talavera:* Health and cleanliness of the XMM-Newton science payload since launch. In: UV, X-Ray, and Gamma-Ray Space Instrumentation for Astronomy XIV, San Diego, USA, 2005. (Ed.) O.H.W. Siegmund. SPIE Conference Proceedings **5898**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, WA, 58980S-1-58980S-12 (2005).
- Kirsch, M.G.F., U.G. Briel, D. Burrows, S. Campana, G. Cusumano, K. Ebisawa, M.J. Freyberg, M. Guainazzi, F. Haberl, K. Jahoda, J. Kaastra, P. Kretschmar, S. Larsson, P. Lubinski, K. Mori, P. Plucinsky, A.M.T. Pollock, R. Rothschild, S. Sembay, J. Wilms and M. Yamamoto:* Crab: the standard X-ray candle with all (modern) X-ray satellites. In: UV, X-Ray, and Gamma-Ray Space Instrumentation for Astronomy XIV, San Diego, USA, 2005. (Ed.) O.H.W. Siegmund. SPIE Conference Proceedings **5898**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, WA, 589803-1-589803-12 (2005).
- Klein, R. et al:* FIFILS@SOFIA: An Airborne, Imaging Far-Infrared Spectrometer also for Galactic Star Formation, poster, Protostars and Planets V, Waikoloa, USA, October 2005.
- Meidinger, N., R. Andritschke, K. Dennerl, O. Häcker, G. Hasinger, R. Hartmann, G. Hartner, S. Herrmann, P. Holl, N. Kimmel, H. Soltau and L.*

- Strüder:** First measurements with DUO/ROSITA pnCCDs. In: X-Ray, and Gamma-Ray Space Instrumentation for Astronomy XIV, San Diego, CA (USA), 2005. (Ed.) O.H.W. Siegmund. SPIE Proceedings **5898**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, WA, 58980W-1 -58980W-9 (2005).
- Meidinger, N.:** First measurements with DUO/ROSITA pnCCDs, contributed talk, UV, X-Ray, and Gamma-Ray Space Instrumentation for Astronomy XIV, San Diego, USA, August 2005.
- Meidinger, N.:** Next Generation of pnCCDs for X-ray spectroscopy and Imaging, contributed talk, 10th European Symposium on Semiconductor Detectors, Wildbad Kreuth, Germany, June 2005.
- Meidinger, N.:** PNCCD for photon detection from near-infrared to X-rays, contributed talk, Pixel 2005 - International Workshop on Semiconductor Pixel Detectors for Particles and Imaging, Bonn, Germany, September 2005.
- Pfeffermann, E. et al:** The Focal Plane Instrumentation of the ROSITA Telescope, poster, IEEE Nuclear Science Symposium & Medical Imaging Conference, Fajardo, Puerto Rico, October 2005.
- Raab, W. and A. Poglitsch:** ESI: A European Imaging Far-Infrared Spectrometer for the Japanese SPICA space observatory. Astronomische Nachrichten **326**, 584-585 (2005).
- Raab, W.:** ESI: A European Imaging Far-Infrared Spectrometer for the Japanese SPICA space observatory, contributed talk, Herbsttagung der Astronomischen Gesellschaft, Cologne, Germany, September 2005.
- Rabien, S.:** GRAVITY: The AO-Assisted, Two-Object Beam-Combiner Instrument, contributed talk, AG-Tagung 2005, Cologne, Germany, September 2005.
- Rabien, S.:** High resolution astrophysics and laser guide stars, colloquium, IAP Jena, Jena, Germany, May 2005.
- Rabien, S.:** Laser Interferometry for Atmospheric Turbulence Compensation, colloquium, MPIA Heidelberg, Heidelberg, Germany, July 2005.
- Reichertz, L.A., B.L. Cardozo, J.W. Beeman, D.I. Larsen, S. Tschanz, G. Jakob, R. Katterloher, N.M. Haegel and E.E. Haller:** First Results on GaAs blocked impurity band (BIB) structures for far-infrared detector arrays. In: Infrared Spaceborne Remote Sensing 2005, San Diego, CA (USA), (Ed.) M. Strojnik. SPIE Conference Proceedings **5883**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington, 164-171 (2005).
- Sharples, R., R. Bender, R. Bennett, K. Burch, P. Carter, M. Casali, P. Clark, R. Content, R.I. Davies, R.L. Davies, M. Dubbeldam, G. Finger, R. Genzel, R. Haefner, A. Hess, M. Kissler-Patig, K. Laidlaw, M. Lehnert, I. Lewis, A. Moorwood, B. Muschielok, N. Foerster Schreiber, J. Pirard, S. Ramsay Howat, P. Rees, J. Richter, D. Robertson, I. Robson, R. Saglia, M. Tecza, N. Thatte, S. Todd and M. Wegner:** Surveying the High Redshift Universe with KMOS. The Messenger **122**, 2-5 (2005).
- von Kienlin, A. et al:** The calibration of the GLAST Burst Monitor NaI- and BGO-detectors, poster, Gamma-Ray Bursts in the Swift Era, 16th Annual Maryland Astrophysics Conference, Washington DC, USA, November 2005.
- Wieprecht, E. et al:** The HERSCHEL/PACS early Data Products, poster, Astronomical Data Analysis Software & Systems XV, San Lorenzo de El Escorial, Spain, October 2005.

4.4 Nicht-referierte Veröffentlichungen / Non-refereed Publications

- Andronov, I.L., A.V. Baklanov and V. Burwitz:** Two-Color V and R CCD Photometry of the SW Sex-Type Eclipsing Cataclysmic Variable V1315 Aql. In: The Astrophysics of Cataclysmic Variables and Related Objects. (Eds.) J.-M. Hameury, J.-P. Lasota. ASP Conf. Ser. **330**, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 499 (2005).
- Andronov, I.L., N.I. Ostrova and V. Burwitz:** O-C Analysis of FO Aqr, "King of Intermediate Polars". In: Proceedings of "The Light-Time Effect in Astrophysics" Conference, Brussels, Belgium, 2004. (Ed.) C. Sterken. ASP Conf. Ser. **335**, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 229 (2005).
- Andronov, I.L., V. Burwitz, K. Reinsch, H. Barwig, L.L. Chinarova, S.V. Kolesnikov, N.M. Shakhovskoy, V. Hambarayan, K. Beuermann and D.A. Yukhanov:** Four-Component Model of the Auto-Correlation Function of AM Her Based on a CHANDRA Observation. In: The Astrophysics of Cataclysmic Variables and Related Objects. (Eds.) J.-M. Hameury, J.-P. Lasota. ASP Conf. Ser. **330**, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 407 (2005).
- Andronov, I.L., V. Burwitz, L.L. Chinarova, K. Gazeas, Y. Kim, P.G. Niarchos, N. Ostrova, L. Patkós and J.N. Yoon:** TT Ari: Out from the Positive Superhump State. Commissions 27 and 42 Of The IAU Information Bulletin On Variable Stars (IBVS) **5664**, 1-3 (2005).
- Annaratone, B.M., T. Antonova, D.D. Goldbeck, H.M. Thomas and G.E. Morfill:** Complex-plasma manipulation by radiofrequency biasing. Plasmaphysics and Controlled Fusion **46** SI Suppl.12B, 495-509 (2004).
- Antonova, T., B.M. Annaratone, H.M. Thomas and G.E. Morfill:** The structure of a plasma cluster as seen by an injected particle. In: Electronic

- Proceedings of Thirty-Second EPS Conference on Plasma Physics, Tarragona, Spain. (Eds.) C. Hidalgo et al. Europhysics Conference Abstracts Vol. **29C**, European Physical Society, P-2.132 (2005).
- Antonova, T., B.M. Annaratone, D.D. Goldbeck, V. Yaroshenko, H.M. Thomas and G.E. Morfill:* Interaction Among Particles in 3D Plasma Clusters. In: Proceedings of Fourth International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, June 2005. (Eds.) L. Boufendi et al AIP Conference Proceedings **799**, American Institute of Physics, Melville, NY 2005, 299-302 (2005).
- Aschenbach, B.:* Boundary between geometric and wave optical treatment of X-ray mirrors. In: Optics for EUV, X-ray, and Gamma-Ray Astronomy II. (Eds.) O. Citterio, S.L. O'Dell. SPIE Conference Proceedings **5900**, SPIE, Bellingham, WA, D-D-7 (2005).
- Aschenbach, B.:* Mass and Angular Momentum of Sgr A*. In: Growing Black Holes: Accretion in a Cosmological Context, Proceedings of the MPA/ESO/MPE/USM Joint Astronomy Conference, (Eds.) A. Merloni, S. Nayakshin, R.A. Sunyaev. ESO Astrophysics Symposia, Springer, Berlin, 302-303 (2005).
- Aschenbach, B.:* Mass and spin of the galactic center black hole Sgr A*. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloss Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 89-92 (2005).
- Baker, A., R. Davies, R. Genzel, R. Hofmann, M. Lehnert, S. Rabien, N. Thatte and W. Viehhauser:* Survey of a Wide Area with NACO: Cosmology at (Almost) the Diffraction Limit of the VLT. In: Science with Adaptive Optics. (Eds.) W. Brandner, M. Kasper. ESO Astrophysics Symposia Vol. **19**, Springer, Heidelberg, 359-364 (2005).
- Barbier, L., L. Angelini, A. Blustin, D.N. Burrows, S. Barthelmy, S. Campana, J. Cummings, E. Fenimore, N. Gehrels, O. Godet and J. Greiner:* Swift-BAT trigger 155072 ground analysis. GCN Circ. **3975**, 1 (2005).
- Barbier, L., S. Barthelmy, J. Cummings, E. Fenimore, N. Gehrels, J. Greiner, D. Hullinger, K. Hurley, H. Krimm, C. Markwardt et al:* GRB050715: Refined analysis of the Swift-BAT burst. GCN Circ. **3622**, 1 (2005).
- Barthelmy, S., L. Barbier, J. Cummings, E. Fenimore, N. Gehrels, J. Greiner, D. Hinshaw, D. Hullinger, H. Krimm, C. Markwardt et al:* Swift-BAT detects two bursts: GRB050215a and GRB050215b. GCN Circ. **3024**, 1 (2005).
- Bayet, E., M. Gerin, A. Contursi and T.G. Phillips:* The C and CO cooling rates in nearby galaxies: A new tracer of star formation activity. In: Semaine de l'Astrophysique Francaise, Strasbourg, France, June 2005. (Eds.) F. Casoli, T. Contini, J.M. Hameury, L. Pagani. EdP-Sciences, Conference Series, 383 (2005).
- Bayet, E., M. Gerin, A. Contursi and T.G. Phillips:* The C and CO lines in nearby galaxies: the cooling of the interstellar medium. In: The dusty and molecular universe: a prelude to Herschel and ALMA, October 2004, Paris, France. (Ed.) A. Wilson. ESA SP-**577**, ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands, 343-344 (2005).
- Beardmore, A.P., K.L. Page, N. Gehrels, J. Greiner, J. Kennea, J. Nousek, J.P. Osborne and G. Tagliaferri:* GRB050925: Swift/XRT limits. GCN Circ. **4043**, 1 (2005).
- Bennert, N., B. Jungwiert, S. Komossa, M. Haas and R. Chini:* Size and properties of AGN narrow-line regions from emission-line diagnostics. Astron. Nachr. **326**, 537 (2005).
- Bloser, P.F., J.M. Ryan, M. McConnell, J.R. Macri, U. Bravar, G. Kanbach, R. Andritschke, M. Ajello, A. Zoglauer, S.D. Hunter, B.F. Philips, E.A. Wulf, D.H. Hartmann, R.S. Miller, W.S. Paciesas, A.D. Zych, R.M. Kippen, T. Vestrand, M.L. Cherry, T.G. Guzik, J.G. Stacy, J.P. Wefel, V. Reglero, G. Di Cocco and J.P. Cravens:* MEGA: a medium-energy gamma-ray astronomy mission concept. SPIE **5898**, 34-45 (2005).
- Böhringer, H., C. Mullis, P. Rosati, G. Larmer, R. Fassbender, A. Schwope and P. Schuecker:* Galaxy cluster archaeology. The Messenger **120**, 33-36 (2005).
- Boone, F., F. Combes, S. Garcia-Burillo, A.J. Baker, L. Hunt, S. Leon, E. Schinnerer, R. Neri, L.J. Tacconi, P. Englmaier and A. Eckart:* The Molecular Gas in the Nuclear Region of NGC 4569. In: The Evolution of Starbursts: The 331st Wilhelm and Else Heraeus Seminar. AIP Conference Proceedings **783**, American Institute of Physics, Melville, NY, 161-164 (2005).
- Bouché, N., M.T. Murphy, C. Péroux and I. Csabai:* Measuring the halo mass of Mg II absorbers from their cross-correlation with Luminous Red Galaxies. In: Probing Galaxies through Quasar Absorption Lines, held March 2005, Shanghai, China. (Eds.) P.R. Williams, C.-G. Shu, B. Ménard. Proc. IAU Coll. **199**, Cambridge University Press, Cambridge, 403-405 (2005).
- Breitschwerdt, D., M.A. de Avillez and M.J. Freyberg:* Galactic and Extragalactic Super-bubbles. In: The Young Local Universe, La Thuile, March 2004, XXXIXth Rencontres de Moriond. (Eds.) A. Chalabaev, T. Montmerle, J. Tran Thanh Van, The Gioi Publishers, Vietnam, 217-228 (2005).
- Bremer, M.N. and M.D. Lehnert:* The most distant starbursts. In: Proceedings of The Evolution of Starbursts: The 331st Wilhelm and Else Heraeus Seminar. (Eds.) S. Hüttemeister, E. Manthey, D. Bomans, K. Weis. AIP Conference Proceedings

- 783**, American Institute of Physics, Melville, NY, 374-380 (2005).
- Briel, U.G., A. Finoguenov and J.P. Henry:* EPIC-XMM-Newton Observations of two nearby Galaxy Clusters. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 127-130 (2005).
- Brinkmann, W.:* Variability of the BL Lac Mrk 421. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 87-88 (2005).
- Brusa, M., A. Comastri, E. Daddi, L. Pozzetti, G. Zamorani, C. Vignali, A. Cimatti, F. Fiore, M. Mignoli, P. Ciliegi, and H.J.A. Rötter:* The masses of X-ray emitting EROs. In: Proceedings of the MPA/ESO/MPE/USM Joint Astronomy Conference Growing black holes: accretion in a cosmological context, Garching (Germany), 2004. (Eds.) A. Merloni, S. Nayakshin, R.A. Sunyaev. ESO astrophysics symposia, Springer, Berlin, 126-127 (2005).
- Capalbi, M., M. Perri, J. Kennea, D.N. Burrows, D. Morris, L. Angelini and J. Greiner:* GRB 051006: XRT refined analysis. GCN Circ. **4066**, 1 (2005).
- Chester, M., M. Page, P. Roming, F. Marshall, P. Boyd, L. Angelini, J. Greiner and N. Gehrels:* Swift/UVOT photometry of GRB050820. GCN Circ. **3838**, 1 (2005).
- Comastri, A., F. Fiore, C. Vignali, M. Brusa and F. Civano:* Obscured accreting black holes at high redshift. In: Proceedings of the MPA/ESO-/MPE/USM Joint Astronomy Conference Growing black holes: accretion in a cosmological context, Garching, 2004. (Eds.) A. Merloni, S. Nayakshin, R.A. Sunyaev. ESO astrophysics symposia, Springer, Berlin, 441-446 (2005).
- Contursi, A., E. Sturm, D. Lutz, A. Verma, R. Genzel, M. Lehnert, A. Poglitsch, L. Tacconi, U. Klaas, M. Stickel, H. Hippelein, D. Lemke, E. Krmpotic, H. Dannerbauer, J. Schreiber, E. Schinnerer, F. Walter, S. Madden, M. Sauvage and M. Haas:* Study of Local Infrared Bright Galaxies with HERSCHEL-PACS. In: AG Tagung 2005. (Ed.). Astronomische Nachrichten **326**, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, Germany, 523-524 (2005).
- Dannerbauer, H., M.D. Lehnert, D. Lutz, L.J. Tacconi, F. Bertoldi, C. Carilli, R. Genzel and K.M. Menten:* The Faint Counterparts of MAMBO 1.2mm Sources Near the NTT Deep Field. In: Proceedings of the Dusty and Molecular Universe: A Prelude to Herschel and ALMA. (Ed.) A. Wilson. ESA Publications ESA SP-**577**, ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands, 277-278 (2005).
- Dasyra, K.M., E.M. Xilouris, A. Misiriotis and N.D. Kylafis:* Modelling the dust content of spiral galaxies: More dust mass vs. enhanced dust grain emissivity. In: Proceedings of "The Spectral Energy Distributions of Gas-Rich Galaxies: Confronting Models with Data", International Workshop, October 2004, Heidelberg, Germany. (Eds.) C.C. Popescu, R.J. Tuffs. AIP Conf. Ser. **761**, 197-201 (2005).
- Davies, R., L. Tacconi, R. Genzel and N. Thatte:* Nuclear Dynamics and Star Formation of AGN. In: Science with Adaptive Optics. (Eds.) W. Brandner, M. Kasper. ESO Astrophysics Symposia Vol. **19**, Springer, Heidelberg, 291-297 (2005).
- de Martino, D., G. Matt, K. Mukai, J.-M. Bonnet-Bidaud, B.T. Gänsicke, F. Haberl and M. Mouchet:* XMM-Newton confirmation of the Intermediate Polar HT Cam. In: The Astrophysics of Cataclysmic Variables and Related Objects. (Eds.) J.-M. Hameury, J.-P. Lasota. ASP Conf. Ser. **330**, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 403-404 (2005).
- de Martino, D., M. Mouchet, J.-M. Bonnet-Bidaud, B.T. Gänsicke and F. Haberl:* Can White Dwarfs in Intermediate Polars be Unveiled? In: 14th European Workshop on White Dwarfs. (Eds.) D. Köster, S. Möhler. ASP Conf. Ser. **334**, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 411-412 (2005).
- de Martino, D., M. Mouchet, J.-M. Bonnet-Bidaud, F. Haberl and B.T. Gänsicke:* The long period Intermediate Polar RX J1548-4528. In: The Astrophysics of Cataclysmic Variables and Related Objects. (Eds.) J.-M. Hameury, J.-P. Lasota. ASP Conf. Ser. **330**, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, 401-402 (2005).
- Dennerl, K., B. Aschenbach, U.G. Briel, H. Brunner, V. Burwitz, J. Engelhauser, M.J. Freyberg, F. Haberl, G. Hartner, A.F. Iyudin, E. Kendziorra, N. Meidinger, E. Pfeffermann, W. Pietsch, L. Strüder and V.E. Zavlin:* Improving the quality of XMM-Newton / EPIC pn data at low energies: method and application to the Vela SNR. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 153-158 (2005).
- Douglas, L., M.N. Bremer and M.D. Lehnert:* Search for z~5 galaxies. In: Proceedings of Starbursts: From 30 Doradus to Lyman Break Galaxies, Cambridge, UK, 2004. (Eds.) R. de Grijs, R. González Delgado. Astrophysics & Space Science Library Vol. **329**, Springer, Dordrecht, 16-17 (2005).
- Erard, S., O. Forni, M. Ollivier, E. Dotto, T. Roush, F. Poulet and T.G. Müller:* The 2004 Opposition of Ceres Observed with Adaptive Optics on the

- VLT. In: 36th Annual Lunar and Planetary Science Conference. (Ed.). Proceedings of the 36th Annual Lunar and Planetary Science Conference Vol. **XXXVI**, League City, Texas, 1388 (2005).
- Esquej, M.P., R.D. Saxton, M.G.F. Kirsch, B. Altieri, M.J. Freyberg, F. Haberl, L. Metcalfe, A.M.T. Pollock, A.M. Read, S. Sembay, M.J.S. Smith and M. Stuhlinger:* XMM-Newton (cross-) calibration. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 149-152 (2005).
- Falcone, A., D.N. Burrows, D.C. Morris, D. Grupe, J.L. Racusin, J.A. Nousek, J. Greiner, D. Hinshaw and N. Gehrels:* GRB 050712 Swift XRT afterglow position. GCN Circ. **3574**, 1 (2005).
- Fenimore, E., L. Angelini, L. Barbier, S. Barthelmy, J. Cummings, N. Gehrels, J. Greiner, D. Hullinger, H. Krimm, C. Markwardt et al:* GRB 050603: Swift-BAT refined analysis of a long three-spiker burst. GCN Circ. **3512**, 10 (2005).
- Fenimore, E., L. Angelini, L. Barbier, S. Barthelmy, J. Cummings, N. Gehrels, J. Greiner, D. Hullinger, H. Krimm, C. Markwardt et al:* GRB 051109: Swift-BAT refined analysis. GCN Circ. **4217**, 1 (2005).
- Fink, M.A., M. Kretschmer, V. Fortov, H. Höfner, U. Konopka, G.E. Morfill, O. Petrov, S. Ratynskaia, A. Usachev and A. Zobnin:* Cooperative phenomena in laminar fluids: Observation of streamlines. In: Proceedings of 4th Int. Conf. on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans (France), 2005. (Eds.) L. Boufendi, M. Mikikian, P. K. Shukla. AIP Conference Proceedings **799**, American Institute of Physics, Melville, NY, 295-298 (2005).
- Finoguenov, A., S. Borgani, D.S. Davis, J.S. Mulchaey, J.P.F. Osmond, T.J. Ponman and M. Zimer:* XMM-Newton survey of IGM: news for the modified entropy scaling. In: Proceedings of "Baryons in Dark Matter Halos". Novigrad, Croatia, October 2004. (Eds.) R. Dettmar, U. Klein, P. Salucci. Proceedings of Science Vol. **14**, SISSA, 28-31 (2004).
- Finoguenov, A., U.G. Briel and J.P. Henry:* XMM-Newton discovery of an X-ray filament in Coma. In: Proceedings of "Soft X-ray Emission from Clusters of Galaxies and Related Phenomena". (Eds.) R. Lieu, M. Mittez. Astrophysics and Space Science Library Vol. **309**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 45-52 (2004).
- Finoguenov, A.:* Cluster scaling and its redshift evolution from XMM-Newton. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 111-113 (2005).
- Finoguenov, A.:* Inferring the Star-formation History from X-ray Observations of Clusters. In: Proceedings of the "Multiwavelength Cosmology" conference, Mykonos Island, Greece, 2003. (Ed.) M. Plionis. Astrophysics and Space Science Library Vol. **301**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 295-298 (2004).
- Finoguenov, A.:* XMM-Newton view on cluster outskirts. In: Proceedings of IAU Colloquium "Outskirts of galaxy clusters: intense life in the suburbs". (Ed.) A. Diaferio. IAU Colloq. Series **195**, Cambridge University Press, Cambridge, 126-130 (2004).
- Fortov, V., G. Morfill, O. Petrov, M. Thoma, A. Usachev, H. Höfner, A. Zobnin, M. Kretschmer, S. Ratynskaia, M. Fink, K. Tarantik, Yu. Gerasimov and V. Esenkov:* The project "Plasmakristall-4" (PK-4) - a new stage in investigations of dusty plasmas under microgravity conditions: first results and future plans. In: Proceedings of 32nd EPS Plasma Physics Conf., Tarragona, Spain, 2005. Plasma Phys. Control. Fusion Vol. **47**, B537-B549 (2005).
- Freyberg, M., P. Mendes, D. Breitschwerdt and J. Alves:* The nearby ISM and the Local Bubble model. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 21-22 (2005).
- Freyberg, M.J., W. Burkert, G. Hartner, M.G.F. Kirsch and E. Kendziorra:* Comparison of EPIC-pn ground-based and in-orbit calibration measurements. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 159-164 (2005).
- Friedrich, P., P. Predehl, N. Meidinger, L. Strüder, M. Vongehr, W. Burkert, M. J. Freyberg, G. Hartner, H. Bräuninger, G. Hasinger, S. Hofer, T. Stüfler, F. Hagl and C. Hollerith:* Results from a contamination experiment on the ISS. In: Proceedings of "Optics for EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Astronomy II", San Diego, USA, 2005. (Eds.) O. Citterio, S. O'Dell. SPIE Conference Proceeding **5900**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington, 172-183 (2005).
- Friedrich, S., H. Zinnecker, W. Brandner, S. Correia and M. McCaughrean:* A NICMOS Direct Imaging Search for Giant Planets around the Single White Dwarfs in the Hyades. In: Proceedings of 14th European Workshop on White Dwarfs. (Eds.) D. Koester, S. Moehler. ASP Conference Series Vol. **334**, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, CA, 431-434 (2005).
- Friedrich, S., S. Jordan and D. Koester:* Do Magnetic Fields Prevent Hydrogen from Accreting

- onto Cool Metal-line White Dwarf Stars? In: Proceedings of 14th European Workshop on White Dwarfs. (Eds.) D. Koester, S. Moehler. ASP Conference Series **334**, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, CA, 273-276 (2005).
- Gallo, L.C.*: XMM-Newton Observations of Narrow-line Seyfert 1 Galaxies. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 85-86 (2005).
- Gillessen, S., R. Davies, M. Kissler-Patig, M. D. Lehnert, P. van der Werf, N. Nowak, F. Eisenhauer, R. Abuter, M. Horrobin, A. Gilbert, R. Genzel, R. Bender, R. Saglia, M. Lemoine-Busserolle, J. Reunanen, K. Kjaer, M. Messineo, D. Nürnberger and C. Dumas*: First Science with SINFONI. ESO Messenger **120**, 26-32 (2005).
- Grebenev, S.A., A.J. Bird, S.V. Molkov, S. Soldi, P. Kretschmar, R. Diehl, C. Budz-Joergensen and B. McBreen*: IGR J16493-4348 - a radiopulsar or a new X-ray binary. The Astronomer's Telegram 457 (2005).
- Greiner, J., A. Beardmore, D.N. Burrows, M. Chester, J. Cummings, N. Gehrels, J. Kennea, K. Page, J. Osbourne, O. Godet and P. Schady*: Swift-BAT trigger 155072 is probably not a GRB. GCN Circ. **3974**, 1 (2005).
- Greiner, J., S. Barthelmy, H. Krimm, D. Palmer and A. Parsons*: GRB 050715: Swift-BAT detection. GCN Circ. **3621**, 1 (2005).
- Haberl, F.*: The Magnificent Seven: Nearby Isolated Neutron Stars with strong Magnetic Fields. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 39-44 (2005).
- Holland, S.T., J. Norris, J. Greiner, D. Hinshaw and N. Gehrels*: GRB 051006: Swift/UVOT Upper Limits. GCN Circ. **4089**, 1 (2005).
- Hoover, A.S., R.M. Kippen, C.A. Meegan, G.J. Fishman, R.B. Wilson, C.A. Wilson-Hodge, C. Kouveliotou, G.G. Lichti, A. von Kienlin, R. Diehl, J. Greiner, V. Schoenfelder, H. Steinle et al*: The GLAST Burst Monitor Instrument Response Simulation System. 4th Workshop on Gamma-Ray Bursts in the Afterglow Era **3**, 1 (2005).
- Iyudin, A.F., V. Burwitz, J. Greiner, A. Reimer and O. Reimer*: Gamma-Ray Absorptions in the SED of QSO. In: Proceedings of the conference „High Energy Gamma-Ray Astronomy“: Heidelberg, 2004. (Eds.) F.A. Aharonian, H.J. Völk, D. Horns. AIP Conference Proceedings **745**, American Institute of Physics, New York, 573-577 (2005).
- Iyudin, A.F., V. Burwitz, J. Greiner, A. Reimer and O. Reimer*: Gamma-ray probe of the dense QSO environment. Mem. della Soc. Astron. Ital. **76**, 146-246 (2005).
- Iyudin, A.F., V. Burwitz, J. Greiner, A. Reimer and O. Reimer*: Gamma-Ray absorption in the SED of QSOs. AIP Conf. **745**, 573-577 (2005).
- Jamitzky, F., W. Bunk and R.W. Stark*: The Influence of Q-control on the Non-linear Dynamics of Amplitude Modulation Atomic Force Microscopy. In: Proceedings of the International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Brügge, Belgium 2005. IEICE Proceedings, 1-4 (2005).
- Khrapak, S.A., S.V. Ratynskaja, M.H. Thoma, A.V. Zobnin, A.D. Usachev, V.V. Yaroshenko, M. Kretschmer, H. Höfner, G.E. Morfill, O.F. Petrov and V.E. Fortov*: Grain charge in the bulk of gas discharges. In: Proceedings of 4th Int. Conf. on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, 2004. (Eds.) L. Boufendi, M. Mikikian, P.K. Shukla. AIP Conf. Proc. **799**, American Institute of Physics, Melville, NY, 177-180 (2005).
- Khrapak, S.A., A.V. Ivlev and G.E. Morfill*: Momentum Transfer in Complex Plasmas: Results of Binary Collision Approach. In: Proceedings of the Fourth International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, 2005. (Eds.) L. Boufendi, M. Mikikian, P. K. Shukla. AIP Conference Proceedings **799**, American Institute of Physics, Melville, NY, 283-286 (2005).
- Kienlin, A. von and G.G. Lichti*: Intensiver Gammablitz eines Magnetars trifft die Erde. Sterne und Weltraum **44**, 16-19 (2005).
- Klecker, B., E. Möbius, M.A. Popecki, L.M. Kistler, H. Kucharek, and M. Hilchenbach*: Ionic charge states of Mg, Si and Fe in Fe-rich solar energetic Particle events, In: Proc. Solar Wind 11 - SOHO 16 "Connecting Sun and Heliosphere", ESA-SP **592**, 77-80 (2005).
- Klose, S., B. Stecklum and J. Greiner*: GRB 050714, R-band candidate. GCN Circ. **3611**, 1 (2005).
- Klose, S., B. Stecklum, B. Fuhrmann, F. Ludwig and J. Greiner*: GRB 050714, optical observations. GCN Circ. **3609**, 1 (2005).
- Klose, S., U. Laux, B. Stecklum and J. Greiner*: GRB 050408, optical observations. GCN Circ. **3194**, 1 (2005).
- Komossa, S.*: Growing black holes: observational evidence for stellar tidal disruption events. In: Proceedings of Growing black holes: accretion in a cosmological context. (Eds.) A. Merloni, N. Nayakshin, R.A. Sunyaev. ESO astrophysics symposia, Springer, Berlin, 159-163 (2005)
- Kretschmer, M., H. Höfner, M. Thoma, M. Fink, S. Ratynskaja, G.E. Morfill, K. Tarantik, V. Fortov, O. Petrov, A. Usachev, A. Zobnin and Y. Gerasimov*: "PK-4" - laser-driven shear flow in a dc discharge complex plasma. In: Proceedings of 4th Int. Conf. on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans,

- France, 2004. (Eds.) L. Boufendi, M. Mikikian, P.K. Shukla. AIP Conf. Proc. 799, American Institute of Physics, Melville, NY, 235-238 (2005).
- Krimm, H., M. Still, S. Barthelmy, L. Barbier, S. Campana, M. Capalbi, M. Chester, J. Cummings, E. Fenimore, N. Gehrels, J. Greiner et al:* Swift Detection of GRB 050319. GCN Circ. **3117**, 1 (2005).
- Kuster, M., S. Cebrian, A. Rodriguez, R. Kotthaus, H. Bräuninger, J. Franz, P. Friedrich, R. Hartmann, D. Kang, G. Lutz and L. Strüder:* pnCCDs in a Low-Background Environment: Detector Background of the CAST X-ray Telescope. SPIE **5898**, OU1-OU11 (2005).
- Mangano, V., G. Cusumano, T. Mineo, M. Perri, P. Giommo, M. Capalbi, F. Tamburelli, D.N. Burrows, D.C. Morris, J. Hill, J. Greiner et al:* GRB 050306: Confirmation of X-ray afterglow. GCN Circ. **3086**, 1 (2005).
- Martins, F., R. Genzel, T. Paumard, R. Abuter, F. Eisenhauer, S. Gillessen, T. Ott and S. Trippe:* Stellar populations in the Galactic Center. In: Proceedings of "Semaine de l'Astrophysique Francaise". (Eds.) F. Casoli, T. Contini, J.M. Hameury, L. Paganini. SF2A EdP-Sciences, 581 (2005).
- Milvang-Jensen, B. and A. Aragon-Salamanca:* The Tully-Fisher relation of cluster spirals at $z = 0.83$. In: Proceedings of conference in Venice 2003: Multiwavelength Mapping of Galaxy Formation and Evolution. (Eds.) A. Renzini, R. Bender. ESO Astrophysics Symposia Springer, Berlin, 428-429 (2005).
- Misanovic, Z., W. Pietsch, F. Haberl, M. Ehle, D. Hatzidimitrou and G. Trinchieri:* Variability of the X-ray sources detected in XMM-Newton survey of M33. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 99-102 (2005).
- Moretti, A., S. Campana, T. Mineo, et al.:* In-flight calibration of the Swift XRT Point Spread Function. In: Proceedings of "UV, X-Ray, and Gamma-Ray Space Instrumentation for Astronomy XIV", San Diego, CA , 2005. (Ed.) O.H.W. Siegmund. SPIE Conference Proceedings Vol. **5898**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, WA, 360-368 (2005).
- Müller, A.:* Aktive schwarze Löcher: Ultraheiß Leuchtfeuer im All, Webportal Einstein-Online.(Ed.) M. Pössel. Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, Golm, 1 (2005).
- Müller, A.:* Glühende Scheiben: Wie schwarze Löcher ihre Nachbarschaft zum Leuchten bringen, Webportal Einstein-Online.(Ed.) M. Pössel. Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, Golm, 1 (2005).
- Müller, T.G., Herschel Calibration Steering Group and ASTRO-F Calibration Team:* The Asteroid Preparatory Programme for HERSCHEL, ASTRO-F & ALMA. In: The dusty and molecular universe: a prelude to Herschel and ALMA. (Ed.) A. Wilson. Proceedings of the dusty and molecular universe: a prelude to Herschel and ALMA Vol. ESA SP-**577**, ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands, 471-472 (2005).
- Noll, S., D. Mehlert, I. Appenzeller and C. Tapken:* The FORS Deep Field Spectroscopic Survey of High-Redshift Galaxies. In: Proceedings of the ESO Workshop Multiwavelength Mapping of Galaxy Formation and Evolution, Venice, Italy, October 2003. (Eds.) A. Renzini, R. Bender. ESO Astrophysics Symposia, Springer, Berlin, 434-435 (2005).
- Noll, S., D. Mehlert, I. Appenzeller and the FDF Team:* Exploring galaxy evolution at high redshift. In: Starbursts: From 30 Doradus to Lyman Break Galaxies, Cambridge, UK, September 2004. (Eds.) R. de Grijs, R. M. González Delgado. Astrophysics & Space Science Library Vol. **329**, Springer, Dordrecht, 53 (2005).
- Nošek, J.A., D.C. Morris, D.N. Burrows, D. Grupe, M. Chester, P. Meszaros, V. La Parola, V. Mangano, S. Campana, G. Tagliaferri, J. Greiner et al:* GRB050318: Swift XRT position. GCN Circ. **3113**, 1 (2005).
- O'Toole, S.J., S. Jordan, S. Friedrich and U. Heber:* Discovery of Magnetic Fields in Hot Subdwarfs. In: Proceedings of 14th European Workshop on White Dwarfs. (Eds.) D. Koester, S. Moehler. ASP Conference Series Vol. **334**, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, CA, 261-264 (2005).
- Pareschi, G., S. Basso, O. Citterio, M. Ghigo, F. Mazzoleni, D. Spiga, W. Burkert, M.J. Freyberg, G. Hartner, G. Conti, E. Mattaini, G. Grisoni, Valsecchi, B. Negri, G. Parodi, A. Marzorati and P. dell'Acqua:* Development of grazing-incidence multilayer mirrors by direct Ni electroforming replication: a status report. In: Proceedings of "Optics for EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Astronomy II", San Diego, CA. (Eds.) O. Citterio, S. O'Dell. SPIE Conference Proceedings Vol. **5900**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington, 47-58 (2005).
- Paumard, T., G. Perrin, A. Eckart, R. Genzel, P. Lena, R. Schoedel, F. Eisenhauer, T. Mueller and S. Gillessen:* Scientific prospects for VLTI in the Galactic Centre: Getting to the Schwarzschild radius. AG Tagung 2005, Köln. Astron. Nachr. **326**, Wiley-VCH, Berlin, 568 (2005).
- Paumard, T., J.-P. Maillard and M. Morris:* Sgr A West: a parsec scale reservoir for accretion onto Sgr A*?. In: Growing black holes: accretion in a cosmological context. Proceedings of the MPA/ESO/MPE/USM Joint Astronomy Conference held at Garching, Germany, June 2004. (Eds.)

- R.A. Merloni, S. Nayakshin, ESO astrophysics symposia, Springer, Berlin, 197-202 (2005).
- Perri, M., M. Capalbi, P. Giommi, D. Grupe, D.N. Burrows, L. Angelini and J. Greiner:* GRB 050730: XRT refined analysis. GCN Circ. **3722**, 1 (2005).
- Pierini, D., C. Maraston, K.D. Gordon and A.N. Witt:* The nature of the red disk-like galaxies at high redshift. In: Proceedings of The dusty and molecular universe: a prelude to Herschel and ALMA, Paris, France, 2004. (Ed.) A. Wilson. ESA SP Vol. **577**, ESA Publications Division, Noordwijk, The Netherlands, 307-308 (2005).
- Pierini, D., C. Maraston, K.D. Gordon and A.N. Witt:* The nature of the red disk-like galaxies at high redshift:dust attenuation vs. intrinsically red stellar populations. In: Proceedings of The Spectral Energy Distributions of Gas-Rich Galaxies: Confronting Models with Data, Heidelberg, Germany, 2004. (Eds.) C.C. Popescu, R.J. Tuffs. AIP Conference Proceedings **761**, American Institute of Physics, Melville, NY, 313-319 (2005).
- Pierini, D., C. Maraston, R. Bender and A.N. Witt:* Extremely Red Galaxies: Dust Attenuation and Classification. In: Proceedings of Multiwavelength Mapping of Galaxy Formation and Evolution, Venice, Italy, 2003. (Eds.) A. Renzini and R. Bender. ESO Astrophysics Symposia, Springer, Berlin, 125-130 (2005).
- Pietsch, W., V. Burwitz, R. Stoss and S. Sanchez:* Possible nova in M31. The Astronomer's Telegram **520** (2005).
- Pietsch, W.:* XMM-Survey of the Andromeda galaxy. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 103-104 (2005).
- Poole, T., D. Grupe, A. Breeveld, L. Angelini and J. Greiner:* GRB050712: Swift UVOT Observation of Afterglow Emission. GCN Circ. **3596**, 1 (2005).
- Porquet, D.:* The He-like triplet ratios as powerful plasma diagnostic tools. In: Proceedings of "X-Ray Diagnostics of Astrophysical Plasmas: Theory, Experiment, and Observation", Boston (USA), 2004. (Ed.) R. S. Smith. AIP Conference Proceedings **774**, American Institute of Physics, Melville, NY, 177-186 (2005).
- Porter, T.A. and A.W. Strong:* A new estimate of the Galactic interstellar radiation field between 0.1 and 1000 microns. In: Proceedings of the 29th International Cosmic Ray Conference, Pune, India, 2005, **OG2.1**, 101-104 (2005).
- Pott, J.-U., A. Eckart, A. Glindemann, T. Viehmann, R. Schoedel, C. Straubmeier, C. Leinert, M. Feldt, R. Genzel and M. Roberto:* VLTI Observations of IRS 3: The Brightest Compact MIR Source at the Galactic Centre. The Messenger **119**, 43-44 (2005).
- Read, A., R.D. Saxton, M.P. Esquej, M.J. Freyberg and B. Altieri:* The XMM-Newton Slew Survey. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 137-139 (2005).
- Reig, P., D. Hatzidimitiou, A. Manousakis, W. Pietsch and G. Papamastorakis:* Optical spectra of the M31 Optical Transient. The Astronomer's Telegram **618** (2005).
- Romaine, S., S. Basso, R.J. Bruni, W. Burkert, O. Citterio, G. Conti, D. Engelhardt, M.J. Freyberg, M. Ghigo, P. Gorenstein, M. Gubarev, G. Hartner, F. Mazzoleni, S. O'Dell, G. Pareschi, B.D. Ramsey, C. Speegle and D. Spiga:* Development of a prototype nickel optic for the Constellation-X hard x-ray telescope: III. In: Proceedings of "Optics for EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Astronomy II", San Diego, CA. (Eds.) O. Citterio, S. O'Dell. SPIE Conference Proceedings **5900**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington, 225-231 (2005).
- Salvato, M., J. Greiner and B. Kudrodt:* Exploring the central kiloparsec in Seyfert galaxies. Cambridge Univ. Press **197**, 111-112 (2005).
- Sasaki, M., W. Pietsch, F. Haberl, T.J. Gaetz, P. Ghavamian, K.S. Long, T.G. Pannuti and P.P. Plucinsky:* Eclipse ingress and egress of the M33 HMXRB X-7 resolved by Chandra. The Astronomer's Telegram **633** (2005).
- Sato, G., L. Angelini, L. Barbier, S. Barthelmy, J. Cummings, E. Fenimore, N. Gehrels, J. Greiner, D. Hullinger, H. Krimm, et al:* GRB 050813: Swift-BAT refined analysis. GCN Circ. **3793**, 1 (2005).
- Sauvageot, J.-L., E. Belsole, G.W. Pratt, S. Maurogordato and H. Bourdin:* A3266: XMM/Newton View of a compact merging cluster. In: Proceedings of the EPIC XMM-Newton Consortium Meeting, Schloß Ringberg (Germany) 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay, A. Read. MPE Report **288**, MPE, Garching, 121-125 (2005).
- Saxton, R.D., B. Altieri, A.M. Read, M.J. Freyberg, M.P. Esquej and D. Bermejo:* Processing challenges in the XMM-Newton slew survey. In: Proceedings of "UV, X-Ray, and Gamma-Ray Space Instrumentation for Astronomy XIV", San Diego, USA, 2005. (Ed.) O.H.W. Siegmund. SPIE Conference Proceedings **5898**, International Society for Optical Engineering, Bellingham, WA, 73-84 (2005).
- Schönfelder, V.:* What we have learnt from the Compton Gamma Ray Observatory and what we expect from INTEGRAL. In: Proceedings of 7th Paris Cosmology Symp. on High Energy Astrophysics for and from Space. (Eds.) H.J. de Vega, N.G. Sanchez. Proceedings of the 7th Paris Cosmology Symposium on High Energy Astrophysics for and from Space 1-17 (2005).

- Schuecker, P., A. Finoguenov, F. Miniati, H. Böhringer and U.G. Briel:* Indications for Turbulence in the Coma Galaxy Cluster. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 115-116 (2005).
- Schweitzer, M., E. Sturm, D. Lutz, A. Contursi, M.D. Lehnert, L.J. Tacconi, S. Veilleux, D.S. Rupke, D.-C. Kim, A. Sternberg, D. Maoz, S. Lord, J. Mazzarella and D.B. Sanders:* Silicate Emission in Active Galaxies - From LINERs to QSOs. In: AG Tagung 2005. Astronomische Nachrichten **326**, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 556 (2005).
- Silver, E., H.W. Schnopper, C. Jones, W. Forman, S. Romaine, N. Madden, D. Landis, J. Beeman, E.E. Haller, M. Barbera, F. Christensen, B. Ramsey, S. Woosley and R. Diehl:* High Energy, High Resolution X-Ray Spectroscopy: Microcalorimeters For Nuclear Line Astrophysics. In: Proceedings of Conference "X-Ray Diagnostics of Astrophysical Plasmas: Theory, Experiment and Observation". (Ed.) R.K. Smith. AIP Conference Proceedings **774**, American Institute of Physics, Melville, NY, 391-399 (2005).
- Stecklum, B., S. Klose, U. Laux and J. Greiner:* GRB 050410, optical observations. GCN Circ. **3224**, 1 (2005).
- Streblyanskaya, A., G. Hasinger, X. Barcons, J. Bergeron, H. Brunner, A.C. Fabian, A. Finoguenov and S. Mateos:* Probing the X-ray Universe: Analysis of faint sources with XMM-Newton. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 143-145 (2005).
- Tacconi, L.J., K. Dasyra, R. Davies, R. Genzel, D. Lutz, A. Burkert, T. Naab, E. Sturm, S. Veilleux, A. Baker and D. Sanders:* The Dynamics and Evolution of Luminous Galaxy Mergers: ISAAC Spectroscopy of ULIRGs. The Messenger **122**, 28-31 (2005).
- Thomas, H.M. and G.E. Morfill:* Plasmakristalle an Bord der ISS. Physik in Unserer Zeit **36/2**, 76-83 (2005).
- Treis, J., P. Fischer, O. Häcker, S. Herrmann, R. Kohrs, H. Krüger, P. Lechner, G. Lutz, I. Peric, M. Porro, R. Richter, L. Strüder, M. Trimpl, N. Wermes and S. Wölfel:* Noise and spectroscopic performance of DEPMOSFET matrix devices for XEUS. SPIE **5989**, OX1-OX9 (2005).
- Trümper, J.:* Observations of Cooling Neutron Stars, (Eds.) A. Baykal et al, The Electromagnetic Spectrum of Neutron Stars, NATO Science Series, II. Mathematics, Physics and Chemistry – Vol. **210**, 117-131 (2005).
- Turler, M., M. Cadolle-Bel, R. Diehl, N.-J. Westergaard, B. McBreen, O.W. Williams, S.A. Grebenev and A. Lutovinov:* New X-ray transient IGR J17269-4737 discovered with INTEGRAL. Astronomers Telegram **624** (2005).
- Usachev, A., A. Zobnin, O. Petrov, V. Fortov, M. Thoma, M. Kretschmer, S. Ratynskaia, R. Quinn, H. Höfner and G.E. Morfill:* The project "Plasmakristall-4" (PK-4) - a dusty plasma experiment in a combined dc/rf (i) discharge plasma under microgravity conditions. Czechoslovak Journal of Physics **54** (4), 639-647 (2004).
- Weidenspointner, G., J. Knöldseeder, P. Jean, V. Lonjou, P. von Ballmoos, M. Harris, A. Marcowith, G. Skinner, G. Vedrenne, C. Shrader, B. J. Teegarden, N. Guessoum, R. Diehl, V. Schönfelder, S. Schanne and C. Winkler:* A Mystery of the Galactic Bulge: SPI Observations of Positron Annihilation. In: Proceedings of Semaine de l'Astrophysique Francaise, Strasbourg, France, 2005. (Eds.) F. Casoli, T. Contini, J.M. Hameury, L. Pagani. EdP-Sciences Conference Series **SF2A**, EdP-Sciences, Strasbourg, 471-478 (2005).
- Yaroshenko, V., S. Ratynskaia, S.A. Khrapak, M.H. Thoma, M. Kretschmer, H. Höfner, G.E. Morfill, A. Zobnin, A. Usachev, O. Petrov and V. Fortov:* Experimental determination of the ion drag force in a complex plasma. In: Proceedings of 4th Int. Conf. on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, 2005. (Eds.) L. Boufendi, M. Mikikian, P.K. Shukla. AIP Conf. Proc. **799**, American Institute of Physics, Melville, NY, 243-246 (2005).
- Yaroshenko, V.V., A.V. Ivlev and G.E. Morfill:* Linear conversion of dust-lattice modes in complex plasmas. In: Proceedings of 4th Int. Conf. on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, 2005. (Eds.) L. Boufendi, M. Mikikian, P.K. Shukla. AIP Conf. Proc. **799**, American Institute of Physics, Melville, NY, 239-242 (2005).
- Zhang, T.L., M. Volwerk, R. Nakamura, W. Baumjohann, A.V. Runov, C.M. Carr, A. Balogh, J.K. Shi, H.U. Eichelberger, H. Lammer and H.I.M. Lichtenegger:* Double Star initial results of magnetotail current sheet. In: Proc. Workshop Auroral Phenomena, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia, 82-88 (2005).
- Zhang, Y.-Y., H. Böhringer, A. Finoguenov, Y. Ikebe, K. Matsushita, P. Schuecker, L. Guzzo and C.A. Collins:* Exploring Massive Galaxy Clusters: XMM-Newton observations of the REFLEX-DXL sample at z~0.3. Proceedings of the 2005 EPIC XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, 2005. (Eds.) U.G. Briel, S. Sembay and A. Read. MPE Report **288**, 131-133 (2005).

4.5 Bücher / Books

- Friedrich, S. and P. Friedrich: Finsternisse – verstehen, beobachten und fotografieren. Oculum-Verlag, Erlangen 2005, 80 p.
- LaBelle, J. and R.A. Treumann (Eds.): Geospace Electromagnetic Waves and Radiation. Lecture Notes in Physics **687**, Springer, Heidelberg-Newark, 1-345, 2005.
- Paschmann, G., S.J. Schwartz, C.P. Escoubet and S. Haaland (Eds.): Outer Magnetospheric

Boundaries: Cluster Results, Space Science Series of ISSI, Vol. **20**; reprinted from Space Science Reviews, Vol. 118, Nos. 1-4, 2005.

Vidal, C.R.: 4.2 Frequency conversion in gases and liquids, LANDOLT-BÖRNSTEIN Group VIII Vol. 1 Laser Physics and Applications, edited by H. Weber, G. Herziger and R. Poprawe, Subvol. A Laser Fundamentals Part 1, Springer, Berlin, 205-215 (2005).

4.6 Poster / Posters

- Annaratone, B.M. et al: Measurement of Dust Charge by Resonant Radio Frequency in RF Plasma, 20th National Symposium on Plasma Science and Technology, Plasma 2005, Cochin, India, December 2005.
- Annaratone, B.M. et al: Particle manipulation and removal using radiofrequency and resonant radiofrequency, International Conference on Plasma and Ionised Gas, 2005, Eindhoven, The Netherlands, July 2005.
- Aschenbrenner, T. et al: Therapiebedingte Änderung der raumzeitlichen Strukturierung des Oberflächen-EEG bei Kindern mit Frontallappenepilepsie, Gemeinsame Jahrestagung der Deutschen, Österreichischen und Schweizerischen Sektion der Internationalen Liga gegen Epilepsie, Innsbruck, Austria, May 2005.
- Bauer, M. et al: A detailed RGS analysis of the plume and circumnuclear X-ray emission of NGC 253, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Bauer, M. et al: The recurrent ultra-luminous X-ray transient NGC 253 ULX1, IAU Symposium 230, Populations of High Energy Sources in Galaxies, Dublin, Ireland, August 2005.
- Blagau, A. et al: Dependence of the Walen test on the density estimate: A Cluster case study. EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 2005.
- Briel, U.G. et al: EPIC-XMM-Newton Observations of the WHIM associated with the Coma Cluster of Galaxies, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Briel, U.G. et al: EPIC-XMM-Newton Observations of two nearby Galaxy Clusters. EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Burwitz, V. et al: Evolution of the X-ray Spectrum of the Super Soft Source RXJ0513.9-6954: Chandra and XMM-Newton Observations, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.

Burwitz, V. et al: Evolution of the X-ray Spectrum of the Super Soft Source RXJ0513.9-6954 during its Optical Low State: New Insights from Chandra LETGS Observations, "A Life with Stars", A meeting in honor of Ed van den Heuvel, Amsterdam, Holland, August 2005.

Dennerl, K. et al: Improving the quality of XMM-Newton/EPIC pn data at low energies: method and application to the Vela SNR. EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.

Dennerl, K.: X-rays from comets and their planetary analogs Venus and Mars, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.

Erwin, P. et al: The Outer Disks of Early-Type Barred Galaxies, Nearly Normal Galaxies in a Lambda CDM Universe, Santa Cruz, USA, August 2005.

Fassbender, R. et al: The XMM-Newton Distant Cluster Project, Einstein's Legacy, München, Germany, November 2005.

Fink, M.A. et al: Cooperative phenomena in laminar fluids: Observation of streamlines, 4th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, June 2005.

Fink, M.A. et al: Experimental studies of complex plasma fluids, Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin, Germany, March 2005.

Förster, M. et al: Dynamics of the ionospheric convection systems during the superstorm on Nov 20, 2003. Solar Extreme Events: Fundamental Science and Applied Aspects (SEE-2005), International Symposium, Nor Amberd, Armenia, September 2005.

Freyberg, M. et al: Comparison of EPIC-pn ground-based and in-orbit calibration measurements. EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.

Friedrich, P. and H. Bräuninger: Glass segmented mirrors for large X-Ray Optics. EPIC-XMM-

- Newton Consortium Meeting 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Georgescu, E. et al:* Archiving of the Cluster EDI Data. Cluster and Double Star Symposium-5th Anniversary of Cluster in Space, Noordwijk, The Netherlands, September 2005.
- Georgescu, E. et al:* Use of EDI Time-of-Flight Data for FGM Calibration Check on CLUSTER. Cluster and Double Star Symposium-5th Anniversary of Cluster in Space, Noordwijk, The Netherlands, September 2005.
- Georgescu, E. et al:* FGM Data Restitution on TC-1 Using The Dual Magnetometer Technique. EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 2005.
- Hamrin, M. et al:* Concentrated generator regions in the nightside auroral magnetosphere, IAGA Scientific Assembly, Toulouse, France, July 2005.
- Hasinger, G. et al:* X-Ray Evolving Universe Spectrometer (XEUS). EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Hui, C.Y. et al:* An X-ray Study of the Central Compact Object in Puppis A, 7th Pacific Rim Conference on Stellar Astrophysics, Seoul, Korea, November 2005.
- Jamitzky, F. et al:* Complex dynamics in dynamic atomic-force microscopy, 8th International Conference on Non-Contact Atomic Force Microscopy, Bad Essen, Germany, August 2005.
- Jamitzky, F. et al:* Structural Studies of Oligonucleotides Containing G-Quadruplex Motifs Using Molecular Modeling, Scanning Probe Microscopies and Organic Materials XIV, München, Germany, September 2005.
- Johnson, L.:* Experiments with micro-rods in an RF plasma sheath, 32th European Conference on Plasma Physics, Tarragona, Spain, June 2005.
- Kanbach, G. et al:* New optical polarization measurements of the Crab pulsar, Astrophysical Sources of High Energy Particles and Radiation, Torun, Poland, June 2005.
- Khrapak, S. et al:* Effect of ion-neutral collisions on particle charge in gas-discharge plasmas, 32nd EPS Plasma Physics Conference, Tarragona, Spain, June 2005.
- Khrapak, S. et al:* Momentum transfer in Complex plasmas: Results of the Binary Collision Approach. 4th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, June 2005.
- Kis, A. et al:* Field-aligned beams, intermediate distributions, and different diffuse ion distributions observed by Cluster upstream of Earth's bow shock, EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 2005.
- Klein, R. et al:* Millimeter continuum survey of protostars in the outer Galaxy, IAU Symposium 227: Massive Star Birth: A Crossroads of Astrophysics, Acireale, Italy, May 2005.
- Kompaneets, R. et al:* Dust-lattice waves: Role of charge variations and anisotropy of dust-dust interaction, 32nd EPS Plasma Physics Conference, Tarragona, Spain, June 2005.
- Kretschmer, M. et al:* "PK-3 Plus" - The next step of complex plasma experiments onboard the ISS, ELGRA Biennial Symposium 2005, Santorini, Greece, September 2005.
- Kretschmer, M. et al:* "PK-4" - Laser driven shear flow in a DC discharge complex plasma, 4th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, June 2005.
- Marghitu, O. et al:* The auroral generator: A case study using conjugated Cluster and FAST data, EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 2005.
- Martins, F. et al:* Wind properties of young O stars, Massive Star Birth: A Crossroads of Astrophysics, IAU Symposium 227, Acireale, Italy, May 2005.
- Martins, F. et al:* A new calibration of stellar parameters of Galactic O stars, Massive Star Birth: A Crossroads of Astrophysics, IAU Symposium 227, Acireale, Italy, May 2005.
- Mendes, P. et al:* The Soft X-Ray Emission in direction of Hyades, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Mishin, V.M. et al:* Dynamics of the field-aligned currents systems and the polar cap boundary observed during the superstorm on Nov 20, 2003. Solar Extreme Events: Fundamental Science and Applied Aspects (SEE-2005), International Symposium, Nor Amberd, Armenia, September 2005.
- Mishin, V.M. et al:* Basic regimes of the superstorm on Nov 20, 2003, Solar Extreme Events: Fundamental Science and Applied Aspects (SEE-2005), International Symposium, Nor Amberd, Armenia, September 2005.
- Mokler, F. et al:* The influence of charge-induced dust gelation on (earthlike) planet formation, Protostars and Planets V, Hawaii, Big Island, USA, October 2005.
- Müller, A. et al:* Iron K lines of AGN in the X-ray background, Einstein's Legacy - Relativistic Astrophysics and Cosmology, München, Germany, November 2005.
- Müller, T.G. et al:* Thermophysical characterisation of space mission target asteroids, IAU Symposium No. 229 Asteroids, Comets, Meteors, Búzios, Brazil, August 2005.
- Nesvadba, N. et al:* AGN feedback at high redshift: shaping the most massive galaxies? Science Perspective for 3D Spectroscopy, ESO Garching, Germany, October 2005.
- Noll, S. et al:* Dust properties of UV-bright galaxies at z~2, Annual Scientific Meeting of the Astro-

- nomische Gesellschaft, Köln, Germany, September 2005
- Nowak, N. et al:* SINFONI observations of NGC4486a, XVII Canary Island Winter School of Astrophysics "3D Spectroscopy", Puerto de la Cruz, Tenerife, Spain, November 2005.
- Nowak, N. et al:* Supermassive Black Holes in Galaxies, Einstein's Legacy - Relativistic Astrophysics and Cosmology, München, Germany, November 2005.
- Pfeffermann, E. et al:* Shielding of cosmic ray induced background in CCD detectors. EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Pitout, F. et al:* Evolution of a flux transfer event along the magnetopause: Cluster and Double Star observations, EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 2005.
- Raeth, C. et al:* Modelling trabecular changes using cellular automata, Dynamics Days 2005, Berlin, Germany, July 2005.
- Raeth, C. et al:* Phase Correlations in Financial Time Series, Dynamics Days 2005, Berlin, Germany, July 2005.
- Sala, G. et al:* XMM-Newton observations of the microquasars GRO J1655-40 and GRS 1915+105, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Samsonov, D. et al:* Structure of a shock in a complex (dusty) plasma, 14th American Physical Society topical conference on Shock compression of condensed matter, Baltimore, USA, August 2005.
- Thoma, M.H. et al:* First experiments with PK-4 under Microgravity, 4th Int. Conf. on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, June 2005.
- Verma, A. et al:* Properties of star forming Lyman Break Galaxies at redshift 5, Extreme Starbursts: Near and Far, Lijiang, China, August 2005.
- Verma, A.:* Hyperluminous Infrared Galaxies, Extreme Starbursts: Near and Far, Lijiang, China, August 2005.
- Volwerk, M. et al:* Multipoint Measurements of ULF waves in the Earth's magnetotail, Cluster and Double Star Symposium, Noordwijk, The Netherlands, September 2005.
- Volwerk, M. et al:* Coordinated Cluster and Double Star Observations of a Plasma Flow Channel with ULF Waves, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, December 2005.
- Volwerk, M. et al:* Plasma flow channel with ULF waves observed by Cluster and Double Star, Chapman Conference on Magnetospheric ULF Waves, San Diego, USA, March 2005.
- Yaroshenko, V.V. et al:* Conversion of dust-lattice modes in complex plasmas, 4th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, June, 2005.
- Yaroshenko, V.V. et al:* Measurements of the ion drag force in dc-discharge plasmas, 4th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, June 2005.
- Zhang, Y.-Y. et al:* Exploring Massive Galaxy Clusters: XMM-Newton observations of the REFLEX-DXL sample at z~0.3. EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Zhdanov, S. et al:* Evolution of the cloud of charged dust particles in a DC discharge plasma, 4th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas (ICPDP 2005), Orleans, France, June 2005.
- Zhdanov, S. et al:* Impact of Structural Inhomogeneity on Waves in a 2D Complex Plasma, 32nd EPS Conference on Plasma Physics (EPS 2005), Tarragona, Spain, July 2005.
- Zhdanov, S. et al:* Non-Hamiltonian dynamics of grains with spatially varying charges, 13th General Meeting of the European Physical Society (EPS-13), Bern, Switzerland, July 2005.
- Zhdanov, S. et al:* Wave spectra in solid and liquid complex plasma, 4th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas (ICPDP 2005), Orleans, France, June 2005.

4.7 Vorträge / Talks

- Annaratone, B.M.:* Complex (dusty) plasmas in gravity and microgravity, invited talk, NBI Group, Institute for Plasma Research, Bhat, Gandhinagar, Ahmedabad, India, March 2005.
- Antonova, T.:* Microparticles as a diagnostic tool in multi-component plasmas, Kharkiv National V.N. Karazin University, Kharkiv, Ukraine, October 2005.
- Aschenbach, B.:* Ein neuer Effekt der Allgemeinen Relativitätstheorie zur Bestimmung von Masse und Drehimpuls schwarzer Löcher, invited talk, Fraunhofer Einstiehnung veranstaltet von Fraunhofer Micro Materials Center Berlin in Kooperation mit der Leibniz-Sozietät Berlin, der Arnold-Sommerfeld-Gesellschaft Leipzig und der TU Berlin, Berlin, Germany, April 2005.
- Aschenbach, B.:* Mass and angular momentum of black holes: An overlooked effect of General Relativity applied to the Galactic Center Black Hole and microquasars, invited talk, Frascati workshop 2005 on Multifrequency Behaviour of High Energy Cosmic Sources, Vulcano Island, Italy, May 2005.
- Aschenbach, B.:* Mass and spin of the galactic center black hole Sgr A, invited talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.

- Aschenbach, B.*: Mass and Spin of the Galactic Center Black Hole, colloquium, Astrophysical Colloquium of the University of Tübingen, Germany, June 2005.
- Aschenbach, B.*: Non-thermal X-rays from shell like supernova remnants, invited talk, H.E.S.S. & Magic: Workshop on Pulsars, Pulsar Wind Nebulae, and Supernova Remnants, Berlin, Germany, April 2005.
- Aschenbach, B.*: Sgr A*: Recent developments in the understanding of Kerr black holes, invited talk, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Aschenbach, B.*: X-ray telescopes for astronomy, invited talk, DPG School on Physics: The physics of imaging, Bad Honnef, Germany, September 2005.
- Bauer, M.*: A detailed RGS analysis of the Outflow of NGC 253, X-ray group meeting, Ringberg castle, Germany, February 2005.
- Bauer, M.*: The Outflow of NGC 253 in X-rays: A high resolution spectroscopic view, colloquium, Astronomisches Institut der Universität Erlangen-Nürnberg, Germany, December 2005.
- Becker, W.*: Future optical, X-ray and Gamma-ray facilities for pulsar studies, contributed talk, Workshop on compact Objects, Hsinchu, Taiwan, March 2005.
- Blagau, A.*: The day-side magnetopause as seen by Cluster: A case study and a statistical report, contributed talk, Solar-Terrestrial Interactions from Microscale to Global Models (STIMM) Conference, Sinaia, Romania, September 2005.
- Boese, F.G.*: Qualified Thresholds for Wavelet Shrinkage, contributed talk, Jahrestagung der Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik, Luxembourg, March 2005.
- Boese, F.G.*: Zur Impulsverzerrung in dispersiven Medien, contributed talk, 16. Internationaler Kongress der Österreichischen Mathematischen Gesellschaft und Jahrestagung der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, Klagenfurt, Austria, September 2005.
- Böhringer, H.* : X-ray Clusters of Galaxies as Cosmological Probes, colloquium, Institute Seminar, CalTech, California, USA, March 2005.
- Böhringer, H.*: Conference Summary Talk, invited talk, Workshop: Distant Clusters of galaxies, Schloß Ringberg, Germany, October 2005.
- Böhringer, H.*: Cosmological Tests with Galaxy Clusters, invited talk, Einstein Conference, München, Germany, November 2005.
- Böhringer, H.*: Galaxy Cluster Structure Studies for Cosmological Applications, contributed talk, The X-Ray Universe 2004, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Böhringer, H.*: Precision Cosmology with Galaxy Clusters, colloquium, Institute Seminar, High Energy Physics Institute, CAS, Beijing, China, November 2005.
- Böhringer, H.*: Precision Cosmology with Galaxy Clusters, colloquium, Institute Kolloquium, National Observatory, Beijing, China, Octorber 2005.
- Böhringer, H.*: Precision Cosmology with Galaxy Clusters, colloquium, Instiute Colloquium, Tsing Hua University, Beijing, China, Novermber 2005.
- Böhringer, H.*: Tracing Cosmic Structure Evolution and Testing Cosmological Models with X-ray Galaxy Clusters, invited talk, ConX-XEUS-Workshop, CfA Harvard, Cambridge, USA, February 2005.
- Böhringer, H.*: Tracing Cosmic Structure Evolution and Testing Cosmological Models with X-ray Galaxy Clusters, invited talk, XEUS working group meeting, Garching, Germany, May 2005.
- Böhringer, H.*: X-ray Clusters as probes for Cosmology, colloquium, Institute Seminar, University Bonn, Germany, May 2005.
- Böhringer, H.*: X-ray Galaxy Clusters as Probes for Cosmology, contributed talk, The Future of Cosmology with Galaxy Clusters, Kona, Hawaiii, USA, February 2005.
- Böhringer, H.*: X-ray Studies of Galaxy Clusters, contributed talk, IAP Colloquium, Strcuture of Dark Matter Halos, IAP Paris, France, July 2005.
- Boller, Th.*: Anfang und Ende des Universums, public talk, Rotary Club Fürstenfeldbruck, Germany, September 2005.
- Boller, Th.*: Anfang und Ende des Universums, public talk, Volkssternwarte München, Germany, January 2005.
- Boller, Th.*: Die wahre Geschichte des Sterns von Bethlehem, public talk, Volkshochschule Hallbergmoos, Germany, December 2005.
- Boller, Th.*: Die wahre Geschichte des Sterns von Bethlehem, public talk, Rotary Club Fürstenfeldbruck, Germany, December 2005.
- Boller, Th.*: Dunkle Energie, Dunkle Materie, Schwarze Löcher: Ein kosmisches Puzzle, colloquium, Kolloquium der Johann-Wolfgang Goethe Universität Frankfurt a. M., Germany, Januar 2005.
- Boller, Th.*: Present and future opportunities for MWL observations from the point of X-ray astronomy, invited talk, Astroteilchenphysik in Deutschland: Status und Perspektiven 2005, Desy Zeuthen, Germany, October 2005.
- Braig, Christoph*: High resolution X-ray imaging, contributed talk, X-ray group meeting, Schloß Ringberg, Germany, February 2005.
- Brinkmann, W.*: Variability of the BL Lac Mrk 421, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Brusa, M.*: An XMM-Newton survey of Extremely Red Objects, contributed talk, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.

- Brusa, M.*: The AGN content of the COSMOS, contributed talk, The role of wide and deep surveys in understanding galaxy evolution, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Brusa, M.*: The optical and X-ray properties of AGN in COSMOS, contributed talk, Einstein's Legacy: relativistic astrophysics and cosmology, München, Germany, November 2005.
- Brusa, M.*: The XMM-Newton COSMOS survey, contributed talk, Kyoto COSMOS meeting, Kyoto, Japan, May 2005.
- Bunk, W.H.*: Medizin und Chaostheorie, invited talk, Ringvorlesung der medizinischen Fakultät LMU München, Germany, November 2005.
- Bunk, W.H.*: Untersuchung raum-zeitlicher Korrelationen im Mehrkanal-Elektroenzephalogramm, invited talk, Arbeitskreis Mathematik in Forschung und Praxis (Universität Duisburg-Essen), 26. Symposium: Medizin und Mathematik, Bad Honnef, Germany, February 2005.
- Burwitz, V.*: XMM-Newton and Chandra high-resolution spectroscopy of Super Soft X-ray Binaries, invited talk, COSPAR Colloquium on "Spectra and Timing of Compact X-ray Binaries" at the Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India, January 2005.
- Collmar, W.*: Blazars at MeV Energies: An Update, contributed talk, Blazar Variability Workshop II: Entering the GLAST Era, Miami, USA, April 2005.
- Dasyra, K.M.*: Evolution of local ULIRGs and their relation to QSOs, contributed talk, The Spitzer Science Center 2005 Conference: Infrared Diagnostics of Galaxy Evolution, Pasadena, USA, November 2005.
- Dasyra, K.M.*: Evolution of local Ultraluminous mergers from NIR spectroscopy, contributed talk, The Fabulous Destiny of Galaxies: Bridging Past and Present, Marseille, France, June 2005.
- Dasyra, K.M.*: Evolution of local Ultraluminous mergers from NIR spectroscopy, contributed talk, Institute for Astronomy, Hawaii, USA, November 2005.
- Dasyra, K.M.*: Evolution of local Ultraluminous mergers from NIR spectroscopy, contributed talk, University of Maryland, Baltimore, USA, November 2005.
- Dasyra, K.M.*: Probing for evolutionary links between local ULIRGs and QSOs from NIR spectroscopy, contributed talk, QSO Host Galaxies: Evolution and Environment, Leiden, The Netherlands, August 2005.
- Davies, R.*: First Results from the SINFONI GTO Program, contributed talk, Adaptive Optics Assisted Integral Field Spectroscopy, La Palma, Spain, May 2005.
- Davies, R.*: SINFONI's take on Black Hole Masses and the Star-Forming Torus in AGN, contributed talk, Science Perspectives for 3D Spectroscopy, München, Germany, October 2005.
- Davies, R.*: Stellar Dynamical Black Hole Masses in AGN, contributed talk, Superunification of AGN, Elba, Italy, May 2005.
- Dennerl, K.*: Cometary, Martian and Venusian X-rays, invited talk, Spring Meeting of the American Geophysical Union, New Orleans, USA, May 2005.
- Dennerl, K.*: Kometen und Planeten in neuem Licht: Unser Sonnensystem im Röntgenteleskop, public talk, FH Rosenheim, Germany, December 2005.
- Diehl, R.*: Astronomical Observations and Nuclear Physics, invited talk, Munich Accelerator for Fission Fragments (MAFF) Workshop, Kloster Banz, Germany, March 2005.
- Diehl, R.*: Galactic ^{26}Al : Current Status from INTEGRAL, contributed talk, Conference "Astronomy with Radioactivities", Clemson, SC, USA, September 2005.
- Diehl, R.*: Gamma-Ray Astronomy, invited talk, VISTARS Workshop No. 2, Russbach, Austria, March 2005.
- Diehl, R.*: Gamma-Ray Astrophysics, colloquium, Michigan State University Physics Colloquium, East Lansing, MI, USA, April 2005.
- Diehl, R.*: Gamma-Ray Line Astrophysics with INTEGRAL, invited talk, Astrophysics Seminar of Nuclear Lab of Triangles University (TUNL), Chapel Hill, NC, USA, August 2005.
- Diehl, R.*: Gamma-Ray Lines and High-Energy Sources, invited talk, Conference "Astrophysical Sources of High-Energy Radiation and Particles", Torun, Poland, June 2005.
- Diehl, R.*: Implications of Cosmic Diffuse Gamma-Ray Line Results from INTEGRAL, contributed talk, 1st Workshop of CARINA Association, Aiguablava, Spain, June 2005.
- Diehl, R.*: INTEGRAL/SPI and ^{26}Al in the Galaxy, contributed talk, INTEGRAL Science Workshop, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, January 2005.
- Diehl, R.*: Neutron Stars and other Science Results with INTEGRAL, colloquium, Physics Department of University of Notre Dame, Notre Dame, IN, USA, April 2005.
- Diehl, R.*: Nuclear Astrophysics with Gamma-ray Astronomy, invited talk, 3rd European Summer School on Nuclear Astrophysics, Santa Tecla, Italy, October 2005.
- Diehl, R.*: Observations of the Inner Galaxy with INTEGRAL, contributed talk, American Physics Society Meeting, Tampa, FL, USA, April 2005.
- Diehl, R.*: Spatial Distribution of Nucleosynthesis in the Galaxy, colloquium, NSSTC Astrophysics Colloquium, Huntsville, AL, USA, April 2005.
- Diehl, R.*: Studies of Isotopic Abundances through Gamma-Ray Lines, invited talk, Conference on Origin and Evolution of Galaxies, Tokyo, Japan, November 2005.

- D'Onghia, E.*: Are Fossil groups challenging CDN models?, colloquium, University of Zürich, Switzerland, October 2005.
- D'Onghia, E.*: The angular momentum problem in LambdaCDM models, colloquium, IAC, Tenerife, Spain, April 2005.
- D'Onghia, E.*: The origin of Galactic Disks, contributed talk, UC Santa Cruz, USA, August 2005.
- D'Onghia, E.*: The angular momentum problem in CDM simulations and the origin of Galactic Disks, contributed talk, Ascona, Switzerland, June 2005.
- D'Onghia, E.*: The origin of Galactic Disks, contributed talks, Vulcano Island, Italy, June 2005.
- Eisenhauer, F.*: SINFONI in the Galactic Center: young stars and IR flares in the central light month, invited talk, The Paradoxes of Massive Black Holes: A Case Study in the Milky Way, Santa Barbara, USA, April 2005.
- Eisenhauer, F.*: SINFONI Science Highlights, contributed talk, Science Perspectives for 3D Spectroscopy, Garching, Germany, October 2005.
- Eisenhauer, F.*: The Galactic Center: The nearest Laboratory for Studying Supermassive Black Holes, invited talk, American Physical Society Meeting 2005, Tampa, USA, April 2005.
- Esquej, M.P.*: XMM-Newton (cross-) calibration, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Fassbender, R.*: Serendipitous Search for Very Distant Galaxy Cluster in XMM-Newton Archive Data, contributed talk, MPE X-ray Group Meeting, Schloß Ringberg, Germany, February 2005.
- Fassbender, R.*: The XMM-Newton Distant Cluster Project, contributed talk, Distant Clusters of Galaxies, Ringberg, Germany, October 2005.
- Finoguenov, A.*: Cluster scaling and its redshift evolution from XMM-Newton, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Finoguenov, A.*: Cluster search in deep XMM Fields, contributed talk, Distant cluster workshop, Schloß Ringberg, Germany, October 2005.
- Finoguenov, A.*: Cluster structure, luminosity function and strategies of X-ray surveys, invited talk, Horologium collaboration meeting at Catania Observatory, Catania, Italy, May 2005.
- Finoguenov, A.*: Current stand of galaxy group research in the COSMOS survey, colloquium, UIUC, Urbana-Champaign, USA, February 2005.
- Finoguenov, A.*: Evolution of X-ray galaxy groups, colloquium, ETH, Zürich, Switzerland, March 2005.
- Finoguenov, A.*: Galaxy groups in the COSMOS, colloquium, The University of Birmingham, UK, April 2005.
- Finoguenov, A.*: Galaxy groups in XMM-Newton surveys, colloquium, LAM OAMP, Marseille, France, September 2005.
- Finoguenov, A.*: Poor clusters in rich XMM fields, contributed talk, Annual meeting of Russian HEA, Moscow, Russia, December 2005.
- Finoguenov, A.*: Scaling and structure in galaxy clusters with XMM-Newton, contributed talk, Japanese-German workshop, Schloß Ringberg, Germany, February 2005.
- Finoguenov, A.*: Thermodynamics and chemical evolution of galaxy groups, invited talk, Rencontres de Moriond, La Thuile, Italy, March 2005.
- Finoguenov, A.*: X-ray search and photo-z identification of galaxy groups in the COSMOS, invited talk, COSMOS collaboration meeting, Kyoto, Japan, May 2005.
- Förster Schreiber, N.M.*: SINS: high-redshift spectroscopic imaging survey in the near-infrared with SINFONI, contributed talk, The Fabulous Destiny of Galaxies: Bridging Past and Present, Marseille, France, June 2005.
- Förster, M.*: Current structures in the transmission region between plasma sheet and ionospheric substorm current wedge as seen by Cluster, contributed talk, The XXVIIIth URSI General Assembly, Vigyan Bhavan, New Delhi, India, October 2005.
- Förster, M.*: Cross-polar magnetospheric plasma drift as observed by Cluster (EDI) compared with ground-based radar observations in magnetically conjugate positions, contributed talk, The 12th International EISCAT Workshop, Kiruna, Sweden, August 2005.
- Förster, M.*: Die transpolare magnetosphärische Plasma-drift nach Messungen des EDI-Instruments auf Cluster, contributed talk, Nationaler Space Weather Workshop, DLR Neustrelitz, September 2005.
- Freyberg, M.*: The nearby ISM and the Local Bubble model, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Freyberg, M.J.*: The XMM-Newton EPIC-pn slew survey: a status report, contributed talk, X-ray Group Meeting, Schloß Ringberg, Germany, February 2005.
- Freyberg, M.J.*: The XMM-Newton Slew Survey: a wide-angle X-ray survey in the 0.2-12 keV band, contributed talk, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Gallo, L.C.*: XMM-Newton Observations of Narrow-line Seyfert 1 Galaxies, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of

- Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Genzel, R.*: The Massive Black Hole at the Center of the Milky Way, colloquium, SSL, University of California, Berkeley, USA, September 2005.
- Genzel, R.*: Dynamics of High Redshift Galaxies, colloquium, CITA, University of Toronto, Canada, May 2005.
- Genzel, R.*: From the Circum-Nuclear Disk to Star Disks in the Galactic Center, invited talk, Jack Welch Retirement Symposium, University of California, Berkeley, USA, September 2005.
- Genzel, R.*: High-Redshift Galaxy Kinematics, invited talk, Workshop dedicated to the 65th birthday of Alvio Renzini, Schloß Ringberg, Germany, July 2005.
- Genzel, R.*: Inward Bound: High Resolution Astronomy and the Quest for Black Holes and Extrasolar Planets, public evening lecture, Symposium "Amazing Light" in Honor of Charles H. Townes' 90th Birthday, Berkeley, USA, October 2005.
- Genzel, R.*: Inward Bound: Potential, Techniques and Results of High Resolution Astronomy. I. Results and expectations: Why you should learn it and use it, colloquium, Rossi Lecture, INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Florence, Italy, March 2005.
- Genzel, R.*: Inward Bound: Potential, Techniques and Results of High Resolution Astronomy. II. Seeing limited and diffraction limited: Basic physics, techniques, colloquium, Rossi Lecture, INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Florence, Italy, March 2005.
- Genzel, R.*: Inward Bound: Potential, Techniques and Results of High Resolution Astronomy. III. The next steps: A primer for the enthusiastic novice, colloquium, Rossi Lecture, INAF Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Florence, Italy, March 2005.
- Genzel, R.*: Massive Black Holes and Galaxy Evolution, colloquium, AY290 Seminar, University of California, Berkeley, USA, January 2005.
- Genzel, R.*: Massive Black Holes in Galaxies, invited talk, Petrie Prize Lecture of CASCA (Canadian Astronomical Society of Canada), Montréal, Canada, May 2005.
- Genzel, R.*: Massive Black Holes in Galaxies, invited talk, Symposium „Geometry and Physics after 100 Years of Einstein's Relativity“, Max Planck Institute for Gravitational Physics/Albert Einstein Institute, Golm/Potsdam, Germany, April 2005.
- Genzel, R.*: Massive Black Holes, colloquium, Observatory of Strasburg, France, November 2005.
- Genzel, R.*: Massive Black Holes, invited talk, Grubb Parsons Lecture, University of Durham, UK, November 2005.
- Genzel, R.*: Massive Black Holes, invited talk, Halley Lecture, Oxford, UK, May 2005.
- Genzel, R.*: Massive Schwarze Löcher und Galaxien, Joint colloquium, MPI für Polymer Research and MPI für Chemie, Mainz, Germany, November 2005.
- Genzel, R.*: Massive Schwarze Löcher und Galaxien, colloquium, Max Planck Institute for Plasma Physics (IPP), Garching, Germany, April 2005.
- Genzel, R.*: Massive Schwarze Löcher und Galaxien, colloquium, Universität Hannover, Germany, October 2005.
- Genzel, R.*: Massive Schwarze Löcher und Galaxien, invited talk, Einstein-Tag, Universität/Akademie der Wissenschaften, Göttingen, Germany, April 2005.
- Genzel, R.*: Massive Schwarze Löcher: "gravity strikes back", invited talk, Wolfgang Pauli Lecture, Symposium Physics in the 21st Century-100 Years after Einstein's "Annus Mirabilis", ETH, University of Zürich, Switzerland, June 2005.
- Genzel, R.*: Massive Schwarze Löcher: Gibt es sie, und was ist ihre Rolle im Universum? public talk, Open House Day, "Forschung live", Garching, Germany, October 2005.
- Genzel, R.*: News from the Galactic Center, contributed talk, Becklin-Fest "40 Years of Infrared Astronomy: A Tribute to Eric Becklin", Los Angeles, USA, April 2005.
- Genzel, R.*: Recent Results from the Home of Black Holes and Massive Stars, colloquium, Radio Astronomy Laboratory, University of California, Berkeley, USA, August 2005.
- Genzel, R.*: Science perspective on what has been achieved and what is needed for the future, invited talk, International Workshop "Integral Field Spectroscopy: Techniques and Data Production", Centre for Advanced Instrumentation, University of Durham, UK, July 2005.
- Genzel, R.*: The Black Hole and Nuclear Star Cluster at the Center of the Milky Way, colloquium, Institute of Astronomy, Cambridge, UK, May 2005.
- Genzel, R.*: The Central Black Hole and Nuclear Star Cluster of the Galaxy, colloquium, Cornell University, Ithaca, USA, May 2005.
- Genzel, R.*: The Central Black Hole and Nuclear Star Cluster of the Galaxy, colloquium, CITA, University of Toronto, Canada, May 2005.
- Genzel, R.*: The Central Black Hole and Nuclear Star Cluster of the Galaxy, invited talk, Elba Workshop on Superunification of Active Galactic Nuclei: Black Hole Mass, Spin and Accretion Rate, Elba, Italy, May 2005.
- Genzel, R.*: The Central Black Hole and Nuclear Star Cluster of the Galaxy, invited talk, Conference "Relativistic Astrophysics and Cosmology" – Einstein's Legacy, TU München, Germany, November 2005.

- Genzel, R.*: The Galactic Center, invited talk, Workshop on AGN and Galaxy Evolution, Castel Gandolfo (Rome), Italy, October 2005.
- Genzel, R.*: The Galactic Center, invited talk, Workshop on Science Perspectives for 3D Spectroscopy, ESO, Garching, Germany, October 2005.
- Genzel, R.*: The Massive Black Hole and Nuclear Star Cluster at the Center of the Milky Way, colloquium, Santa Cruz, USA, February 2005.
- Genzel, R.*: The Massive Black Hole at the Center of the Milky Way, colloquium, Golm (Berlin), Germany, January 2005.
- Genzel, R.*: The Massive Black Hole at the Center of the Milky Way, colloquium, Institute for Advanced Study, Princeton University, USA, September 2005.
- Genzel, R.*: Massive Schwarze Löcher und Galaxien, public talk, Deutsches Museum, München, Germany, November 2005.
- Genzel, R.*: Massive Schwarze Löcher und Galaxien, public talk, Volkssternwarte München, Germany, December 2005.
- Genzel, R.*: New results from integral field spectroscopy of z~2 galaxies, colloquium, University of Durham, UK, November 2005.
- Genzel, R.*: Spuren des Unsichtbaren: Massive Schwarze Löcher, invited talk, Helmholtz-Vorlesung, Humboldt University Berlin, Germany, November 2005.
- Genzel, R.*: The Central Black Hole and Nuclear Star Cluster in the Milky Way, invited talk, 11th Latin-American Regional IAU Meeting, Pucón, Chile, December 2005.
- Geppert, U.*: Can a dynamo generate the observed neutron star magnetic fields?, colloquium, colloquium of the Astronomical Institute of UNAM, Mexico D.F., March 2005.
- Geppert, U.*: Magneto-thermal evolution of isolated neutron stars', invited talk, Workshop on Pulsars, Pulsar-Wind Nebulae, and Supernova Remnants, Berlin, Germany, April 2005.
- Geppert, U.*: Magneto-thermal evolution of isolated neutron stars, invited talk, ECT* Workshop on Compact Stars, Trento, Italy, September 2005.
- Geppert, U.*: Non-linear magnetic field evolution in neutron stars - theory and observation, colloquium of the Department of Physics, University of Notre Dame, USA., April 2005.
- Geppert, U.*: The fate of the magnetic field: from supernova progenitors to neutron stars, Kolloquium des Institutes für Astronomie und Astrophysik, Tübingen, Germany, July 2005.
- Gilli, R.*: The evolving obscured AGN population, The X-ray Universe, contributed talk, San Lorenzo de El Escorial, September 2005.
- Haaland, S.*: Discontinuity Analysis with Cluster, invited talk, Cluster and Double Star Symposium - 5th Anniversary of Cluster in Space, Noordwijk, The Netherlands, September 2005.
- Haaland, S.*: Discontinuity Analysis with Cluster: New Methods, contributed talk, Workshop on Solar-Terrestrial interactions from microscale to global models, Sinaia, Romania, September 2005.
- Haberl, F.*: EPIC observations of bright BL Lac objects: What can we learn from the X-ray spectra, contributed talk, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Haberl, F.*: Nearby radio-quiet isolated neutron stars with strong magnetic fields, invited talk, Neutron stars at the crossroads of fundamental physics, Vancouver, Canada, August 2005.
- Haberl, F.*: The Magnificent Seven: Nearby Isolated Neutron Stars with strong Magnetic Fields, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Hasinger, G.*: Am Himmel ist die Hölle los!, "Einstein-Party" auf dem Münchener Marienplatz, public talk, München, Germany, October 2005.
- Hasinger, G.*: Am Himmel ist die Hölle los!, public talk, Festvortrag auf der DFG Jahressammlung, Berlin, July 2005.
- Hasinger, G.*: Am Himmel ist die Hölle los!, public talk, Reihe „Wahrnehmung“, Max-Planck-Gesellschaft, München, Germany, December 2005.
- Hasinger, G.*: Am Himmel ist die Hölle los!, public talk, Tag der offenen Tür, MPE Garching, October 2005.
- Hasinger, G.*: Astrophysik in Deutschland, Status, Probleme, Perspektiven, Astroteilchenphysik in Deutschland: Status und Perspektiven, invited talk, DESY Zeuthen, Germany, October 2005.
- Hasinger, G.*: Auf der Suche nach der Dunklen Energie, colloquium, Math.-Nat. Klassensitzung, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, December 2005.
- Hasinger, G.*: Conference Summary & Concluding Remarks, The X-ray Universe, invited talk, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Hasinger, G.*: Das Schicksal des Universums, Der Mensch im Universum – das Universum des Menschen, public talk, Planetarium Wien, Austria, October 2005.
- Hasinger, G.*: Das Schicksal des Universums, public talk, Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, Germany, November 2005.
- Hasinger, G.*: Das Schicksal des Universums, public talk, Studium Generale Mainzer Universitätsgespräche, Germany, June 2005.
- Hasinger, G.*: Das Schicksal des Universums, XXI. Weltraumphysikalisches Kolloquium, Der Weltraum als Labor, Ruhr-Universität Bochum, Germany, November 2005.
- Hasinger, G.*: Das Schicksal des Universums: Neue Erkenntnisse der Kosmologie, public talk,

- Max-Planck-Gymnasium München-Pasing, Germany, February 2005.
- Hasinger, G.: Deep X-ray Surveys, invited talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005
- Hasinger, G.: Die Entwicklung der Schwarzen Löcher im Kosmos, invited talk, WE-Heraeus Lehrerfortbildung, 100 Jahre Einstein: Vom Quant zum Kosmos, Potsdam, Germany, February 2005.
- Hasinger, G.: Die Geschichte der Schwarzen Löcher, Physik-Kolloquium Göttingen, Germany, May 2005.
- Hasinger, G.: Die Geschichte der Schwarzen Löcher, public talk, Festvortrag zur Wissenschaftlichen Sitzung am Leibniztag der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, May 2005.
- Hasinger, G.: Evolution of Black Holes from Deep X-ray Surveys, The X-ray Universe, invited talk, San Lorenzo de El Escorial, September 2005.
- Hasinger, G.: Formation and Evolution of Supermassive Black Holes, Science themes for a New-Generation X-ray Telescope, contributed talk, XEUS/Con-X Workshop, Boston, USA, February 2005.
- Hasinger, G.: Formation and Evolution of Supermassive Black Holes, contributed talk, XEUS Consortium Meeting, MPE Garching, Germany, May 2005.
- Hasinger, G.: Formation and Growth of Black Holes in the Universe, invited talk, Evening Lecture at 10th European Symposium on Semiconductor Detectors, Wildbad Kreuth, Germany, June 2005.
- Hasinger, G.: Formation and growth of massive black holes, Current Topics in Astroparticle Physics, invited talk, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Hasinger, G.: Formation and Growth of Supermassive Black Holes, colloquium, University Innsbruck, Austria, June 2005.
- Hasinger, G.: Formation and Growth of Supermassive Black Holes, colloquium, ETH Zürich, Switzerland, December 2005.
- Hasinger, G.: Large-scale X-ray Cluster Surveys, contributed talk, DFG Graduiertenkolleg 787, 21. Meeting, Bad Honnef, Germany, November 2005.
- Hasinger, G.: Optical/NIR follow-up of the eROSITA surveys, MPE IR Group Retreat, contributed talk, Frauenchiemsee, Germany, December 2005.
- Hasinger, G.: Röntgen-Surveys: Where to go from here? contributed talk, Schloß Ringberg-Workshop der MPE Röntgengruppe, Germany, February 2005.
- Hasinger, G.: Schwarze Löcher – Anfang und Ende?, Einstein-Lecture im Rahmen der Einstein-Ausstellung, public talk, Berlin, Germany, August 2005.
- Hasinger, G.: Schwarze Löcher und die Geschichte des Universums, public talk, Evangelisches Gymnasium Potsdam-Hermannswerder, Germany, May 2005.
- Hasinger, G.: The anti-hierarchical evolution of AGNs, Stellar Populations, a Rosetta Stone for Galaxy Formation, invited talk, Schloß Ringberg, Germany, July 2005.
- Hasinger, G.: The Growth of Black Holes in the Universe, Münchener Physik-Kolloquium, Germany, April 2005.
- Hasinger, G.: The growth of supermassive Black Holes in the Universe, colloquium, Albert Einstein Institut, Golm, Germany, February 2005.
- Hasinger, G.: The History Evolution of Black Holes, colloquium, International University Bremen, Germany, May 2005.
- Hasinger, G.: The Violent Universe, Science and Art in Europe 2005: Highlights in Astronomy, invited talk, Harnackhaus Berlin, Germany, May 2005.
- Hasinger, G.: The X-ray Background, From T Tauri stars to the edge of the universe, invited talk, Heidelberg, Germany, July 2005.
- Hasinger, G.: Vom Schicksal der Schwarzen Löcher, public talk, Festkolloquium der Max-Planck-Gesellschaft zum Einstein-Jahr, Urania Berlin, Germany, June 2005.
- Hasinger, G.: Vom Schicksal des Universums: Neue Erkenntnisse über Schwarze Löcher, public talk, Ernst-Abbe-Kolloquium Planetarium Jena, Germany, January 2005.
- Hasinger, G.: Vom Urknall zum Stern von Bethlehem, invited talk, Cottbus, Germany, December 2005.
- Hasinger, G.: Von der Relativitätstheorie zum GPS, public talk, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, Germany, January 2005.
- Hasinger, G.: X-ray surveys of Clusters, DFG Schwerpunkt: Witnesses of Cosmic History – Formation and Evolution of Black Holes, Galaxies and their Environment, invited talk, Irsee, September 2005.
- Hasinger, G.: X-ray surveys of Clusters, Summer School: Dark Energy and Dark Matter in the Universe, invited talk, Alpbach, Austria, July 2005.
- Hasinger, G.: X-ray surveys of Clusters, Workshop on Dark Energy, invited talk, Arnold Sommerfeld Center for Theoretical Physics, München, Germany, October 2005.
- Ivlev, A.V.: Kinetics of dusty (complex) plasmas: Role of variable charges, contributed talk, 32nd IEEE International Conference on Plasma Science, Monterey, USA, June 2005.
- Ivlev, A.V.: Kinetics of particle ensembles with variable charges, contributed talk, 32th EPS

- Conference on Plasma Physics, Tarragona, Spain, June 2005.
- Jamitzky, F.*: The Influence of Q-control on the Non-linear Dynamics of Amplitude Modulation Atomic Force Microscopy, contributed talk, 2005 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, Bruges, Belgium, October 2005.
- Kanbach, G.*: Cosmic accelerators, invited talk, Prospects in space-based Gamma-Ray Astronomy for Europe, Rome, Italy, March 2005.
- Kanbach, G.*: Die Grundlagen der Gammastrahlen-Astronomie im MPE, invited talk, 200 + Years of MPE Science, Schloß Ringberg, Germany, November 2005.
- Kanbach, G.*: High time resolution astronomy across the e-m spectrum, invited talk, Sino-German workshop on radioastronomy: Cosmos probed by radio, Urumqi, China, September 2005.
- Kanbach, G.*: High-Energy Pulsars, invited talk, H.E.S.S. & MAGIC: Workshop on Pulsars, Pulsar Wind Nebulae, and Supernova Remnants, Humboldt-Universität Berlin, Germany, April 2005.
- Kanbach, G.*: Opening review on cosmic accelerators, invited talk, Astrophysical Sources of High Energy Particles and Radiation, Torun, Poland, June 2005.
- Kanbach, G.*: Status and future of Gamma-ray astronomy and the perspectives of multi-wavelength observations, invited talk, Sino-German workshop on radioastronomy: Cosmos probed by radio, Urumqi, China, September 2005.
- Khrapak, S.*: Does complex plasmas have a critical point? (a theoretical study), invited talk, Institute for High Energy Densities (IHED), Moscow, Russia, December 2005.
- Khrapak, S.*: "Trampoline effect" and the force field inside the void in complex plasma under microgravity conditions, contributed talk, 32nd EPS Plasma Physics Conference, Tarragona, Spain, June 2005.
- Khrapak, S.*: Critical point in complex plasmas, contributed talk, Annual Moscow Workshop on the Non-ideal Plasma Physics (NPP-2005), Moscow, Russia, December 2005.
- Khrapak, S.*: Critical point in complex plasmas: Theory, invited talk, Meeting on critical point studies in complex plasmas at MPE, Garching, Germany, May 2005.
- Khrapak, S.*: Particle charge in the bulk of gas discharges, contributed talk, 4th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, June 2005.
- Klecker, B.*: Die Ionenladung schwerer Ionen in impulsiven solaren Ereignissen: ein Schlüssel zum Verständnis der Beschleunigungsregion, contributed talk, DPG/AEF Tagung, Berlin, Germany, March 2005.
- Klecker, B.*: Die Magnetosphäre der Erde, 2. Deutscher Weltraumwetter Workshop, invited talk, Neustrelitz, Germany, September 2005.
- Klecker, B.*: Heavy ion charge states in solar energetic particle events, invited talk, Workshop on Solar Terrestrial Interactions from Microscale to Global Models, Sinaia, Romania, September 2005.
- Klecker, B.*: Ionic charge states of Mg, Si and Fe in Fe-rich solar energetic particle events, contributed talk, Solar Wind 11 / SOHO 16 Workshop: Connecting Sun and Heliosphere, Whistler, Canada, June 2005.
- Klecker, B.*: Ionic charge states: a clue for the understanding of the location of the source region of solar energetic particles, contributed talk, EGU General Assembly, Vienna, Austria, April 2005.
- Klecker, B.*: Progress in the study of the magnetospheric ion population made by Cluster, invited talk, IAGA Scientific Assembly, Toulouse, France, July 2005.
- Klecker, B.*: Solar energetic particle charge states: an overview, invited talk, ISSI Workshop on Solar Dynamics and its Effects on Heliosphere and Earth, Bern, Switzerland, April 2005.
- Komossa, S.*: Flares in the X-ray sky: observational evidence for stellar tidal disruption events, colloquium, Yunnan Observatory, Kunming, China, August 2005.
- Komossa, S.*: Growing black holes: black hole merger events and tidal disruptions, invited talk, Japanese-German Symposium on the Formation and Co-Evolution of Black Holes and Galaxies, Regensburg, Germany, July 2005.
- Komossa, S.*: Massive Black Holes in the Nearby and Distant Universe, invited talk, Physik seit Einstein. DPG Jahrestagung, Berlin, Germany, March 2005.
- Komossa, S.*: Observational Evidence for Binary Black Holes and Active Double Nuclei, invited talk, AGN And Galaxy Evolution, Castel Gandolfo, Rome, Italy, October 2005.
- Konopka, U.*: Complex Plasmas – from the laboratory to space, invited talk, Deutsche Experimente auf Sounding Rocket-Flügen 1995-2004, Köln Porz, Germany, March 2005.
- Konopka, U.*: Complex Plasmas in Strong Magnetic Field Environments, contributed talk, Forth International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, June 2005.
- Kretschmer, K.*: Radioaktives ²⁶Al in der Milchstraße, invited talk, PSI Seminar, E12, TUM, Garching, Germany, December 2005.
- Kretschmer, K.*: Tracing radioactive ²⁶Al in the Milky Way, colloquium, Space Sciences Laboratory, UCB, Berkeley, USA, June 2005.

- Lehnert, M.D.*: LBGs at $z>5$ and Reionization, colloquium, ESO/USM/MPA/MPE, Garching, Germany, January 2005.
- Lehnert, M.D.*: Spectroscopic Imaging Survey in the Near-Infrared with SINFONI (SINS) of High Redshift Galaxies, contributed talk, Science Perspectives for 3D Spectroscopy, Garching, Germany, October 2005.
- Lehnert, M.D.*: The Properties of Young Galaxies Observed 1 Gyr After the Big Bang, contributed talk, Open Questions in Cosmology: the First Billion Years, Garching, Germany, August 2005.
- Lehnert, M.D.*: The Properties of Young Galaxies Observed 1 Gyr After the Big Bang, colloquium, ESO, Chile, Santiago, Chile, September 2005.
- Lehnert, M.D.*: The Properties of Young Galaxies Observed 1 Gyr After the Big Bang, colloquium, LAM, Marseille, France, September 2005.
- Lutz, D.*: High redshift infrared galaxies: Spitzer and mm views, colloquium, University of Maryland, College Park, USA, November 2005.
- Lutz, D.*: Infrared constraints on dust properties and torus, contributed talk, Superunification of active galactic nuclei, Marciana Marina, Elba, Italy, May 2005.
- Lutz, D.*: Science with Herschel-PACS, invited talk, New Observing Opportunities in the Far-Infrared and Submillimeter Range, Splinter at AG Meeting, Köln, Germany, September 2005.
- Lutz, D.*: Spitzer spectroscopy of submillimeter galaxies, contributed talk, Infrared Diagnostics of Galaxy Evolution, Pasadena, USA, November 2005.
- Marghitu, O.*: CIS moments calculation- CODIF and HIA: CCAT extension package-2, contributed talk, CIS Team Meeting, Paris, France, July 2005.
- Marghitu, O.*: Concentrated generator regions observed by Cluster in the plasma sheet boundary layers: Theoretical considerations, contributed talk, Workshop on Solar-Terrestrial Interactions from Microscale to Global Models, Sinaia, Romania, September 2005.
- Marghitu, O.*: Energy conversion in the auroral magnetosphere, contributed talk, DPG/AEF Annual Meeting, Berlin, March 2005.
- Marghitu, O.*: Experimental evidence for concentrated generator regions in the nightside auroral magnetosphere by Cluster/FAST conjunctions, contributed talk, CIS Team Meeting, Paris, France, July 2005.
- Marghitu, O.*: Experimental investigation of the auroral generator with conjugated Cluster and FAST data, contributed talk, IAGA Scientific Assembly, Toulouse, France, July 2005.
- Martins, F.*: Stellar populations in the Galactic Center with SINFONI, contributed talk, Science Perspectives for 3D Spectroscopy, ESO, Garching, Germany, October 2005.
- Martins, F.*: Stellar populations in the Galactic Center, contributed talk, SF2A 2005, Strasbourg, France, June 2005.
- Milvang-Jensen, B.*: Spectroscopy of clusters in the ESO Distant Cluster Survey (EDisCS), contributed talk, Danish Physical Society annual meeting 2005, Nyborg, Denmark, June 2005.
- Misanovic, Z.*: Variability of the X-ray sources detected in XMM-Newton survey of M33, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Mokler, F.*: Charge-induced coagulation of dust and runaway growth, colloquium, Astrophysikalisches Institut, Universität Jena, Germany, April 2005.
- Mokler, F.*: Charge-induced coagulation of dust and runaway growth, colloquium, Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg, Germany, March 2005.
- Monetti, R.*: Detecting Non-linearities in Data Sets via the Analysis of Fourier Phase Coupling, contributed talk, XXV Dynamics Days Europe 2005, Berlin, Germany, July 2005.
- Monetti, R.*: Structural Analysis of Human Proximal Femur for the Prediction of Biomechanical Strength In Vitro. The Locally Adapted Scaling Vector Method, contributed talk, SPIE Medical Imaging 2005, San Diego, USA, February 2005.
- Monetti, R.*: Structural Analysis of Human Proximal Femur for the Prediction of Biomechanical Strength In Vitro. The Locally Adapted Scaling Vector Method, invited talk, Magnetic Resonance Science Center, Department of Radiology, University of California, San Francisco, USA, February 2005.
- Monetti, R.*: Quantitative Analysis of Bone Mineral Structures, invited talk, Arbeitskreis Mathematik in Forschung und Praxis, 26. Symposium: Medizin und Mathematik, Bad Honnef, Germany, March 2005.
- Morfill, G.E.*: "Materiekreislauf", public talk, Radio Interview, Südwestfunk, May 2005.
- Morfill, G.E.*: Analyse komplexer Systeme, colloquium, BASF Münster, Germany, January 2005.
- Morfill, G.E.*: Complex Plasmas – a Review, contributed talk, Japanese Plasma Fusion Conference, Tokyo, Japan, November 2005.
- Morfill, G.E.*: Complex Plasmas: fundamental physics and applications, contributed talk, UK-Plasma Conference, Edinburgh, UK, December 2005.
- Morfill, G.E.*: Entstehung des Sonnensystems. Analyse komplexer Systeme, colloquium, TU Kaiserslautern, Germany, January 2005.
- Morfill, G.E.*: European Space Program on Complex Plasmas, contributed talk, Japanese Plasma Fusion Conference, Tokyo, Japan, November 2005.

- Morfill, G.E.:* Liquid Complex Plasmas, contributed talk, Nanofluidics Workshop, Bad Berkelo, The Netherlands, April 2005.
- Morfill, G.E.:* New Developments in Complex (dusty) Plasma Research, contributed talk, IPELS, Tromso, Norway, July 2005.
- Morfill, G.E.:* New Physics of and with Compex Plasmas, contributed talk, International Plasma Summer School, Trieste, Italy, September 2005.
- Morfill, G.E.:* New Vistas in Complex (dusty) Plasmas, invited talk, ICDCP-Conference, Orleans, France, June 2005.
- Morfill, G.E.:* Saturn's Spokes, contributed talk, Midnight-Sun Workshop, Tromsoe, Norway, July 2005.
- Morfill, G.E.:* Self-Organising Plasmas: fundamental physics and applications, colloquium, TU/LMU München, Germany, December 2005.
- Morfill, G.E.:* Strong Coupling Phenomena in Complex Plasmas, contributed talk, SCCS Conference, Moscow, Russia, June 2005.
- Müller, A.:* Active Cores in Deep Fields, invited talk, IAU Symposium 230: Populations of High Energy Sources in Galaxies, Dublin, Ireland, August 2005.
- Müller, A.:* Astrophysics of Kerr Black Holes, invited talk, MPE, Garching, Germany, January 2005.
- Müller, A.:* Einsteins Universum - Das Geheimnis der Dunklen Energie, public talk, Westfälische Volkssternwarte und Planetarium Recklinghausen, Germany, November 2005.
- Müller, A.:* Schüler treffen Astronomen: Schwarze Löcher in Fulda! public talk, Rabanus-Maurus Schule, Fulda, Germany, May 2005.
- Müller, A.:* Schwarze Löcher - Das dunkelste Geheimnis der Gravitation, public talk, FH Kaiserslautern, Standort Zweibrücken, Germany, December 2005.
- Müller, A.:* Schwarze Löcher - Das dunkelste Geheimnis der Schwerkraft, public talk, Tag der offenen Tür am MPE, Garching, Germany, October 2005.
- Müller, T.G.:* Asteroids in the infrared universe, invited talk, Frontiers of the Infrared-Astronomy, Heidelberg, Germany, December 2005.
- Noll, S.:* Dust properties of UV-bright galaxies at z~2, contributed talk, The Fabulous Destiny of Galaxies: Bridging Past and Present , Marseille, France, June 2005.
- Paschmann, G.:* Review on Cluster results on the dayside, the ISSI book. Cluster and Double Star Symposium, Noordwijk, The Netherlands, September 2005.
- Paschmann, G.:* Magnetopause Structure and Reconnection: Cluster Results, invited talk, IPELS Conference, Tromsoe, Norway, July 2005.
- Paumard, T.:* Getting to the Schwarzschild Radius, contributed talk, International Conference of the 5th APC Workshop: High Energy Phenomena in the Galactic Center, Paris, France, June 2005.
- Paumard, T.:* Scientific Prospects for VLTI in the Galactic Centre, contributed talk, The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and Second Generation VLTI Instrumentation, Garching, Germany, April 2005.
- Paumard, T.:* The massive black hole and central star cluster in the Milky Way Center, invited talk, 5th AGILE Science Workshop: "The Galactic Center and Other Cosmic Accelerators", Rome, Italy, February 2005.
- Pierini, D.:* Near-IR Scaling Relations for Bulges and Disks at z=0, contributed talk, The Origin of the Hubble Sequence, Vulcano Island, Italy, June 2005.
- Pierini, D.:* The nature of high-z red disk galaxies, colloquium, Universidad de Chile, Santiago de Chile, November 2005.
- Pietsch, W.:* An X-ray source population study of the Andromeda galaxy, contributed talk, The X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Pietsch, W.:* The X-ray source population in M31 and M33, invited talk, IAU Symposium 230: Populations of High Energy Sources in Galaxies, Dublin, Ireland, August 2005.
- Pietsch, W.:* The X-ray source populations in M33 and M31, colloquium, Observatoire de Strasbourg, France, November 2005.
- Pietsch, W.:* XMM-Survey of the Andromeda galaxy, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Pitout, F.:* Evolution of a flux transfer event along the magnetopause: Cluster and Double Star observations, EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 2005.
- Pitout, F.:* Magnetopause motion and ionospheric effects: Cluster and ground-based observations, IAGA meeting, Toulouse, France, July 2005.
- Posselt, B.:* Direct Imaging of Neutron Star Planets, contributed talk, IAU Colloquium 2005 Direct Imaging of Exoplanets, Villefranche-sur-mer, France, October 2005.
- Posselt, B.:* Searching for new isolated neutron star candidates, contributed talk, The New Physics of Compact Stars, Trento, Italy, September 2005.
- Posselt, B.:* Searching for Sub-stellar Companions around Neutron Stars, contributed talk, H.E.S.S. & MAGIC: Workshop on Pulsars, Pulsar Wind Nebulae, and Supernova Remnants, Berlin, Germany, April 2005.
- Pratt, G.:* Structural and scaling properties of galaxy clusters, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.

- Pratt, G.W.: Dark matter and gas in galaxy clusters, contributed talk, EPIC Consortium Meeting, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Pratt, G.W.: Entropie du gaz dans les amas de galaxies, contributed talk, Colloque du PNC, Orsay, France, November 2005.
- Pratt, G.W.: Entropy in galaxy clusters, contributed talk, National Astronomy Meeting, Birmingham, UK, April 2005.
- Pratt, G.W.: Similarity in galaxy systems, colloquium, Bristol, UK, June 2005.
- Pratt, G.W.: Structure and scaling of the entropy in nearby galaxy clusters, contributed talk, X-ray Universe 2005, San Lorenzo de El Escorial, Spain, September 2005.
- Pratt, G.W.: Structure and scaling properties of nearby galaxy clusters, contributed talk, Distant Clusters of Galaxies, Schloß Ringberg, Germany, October 2005.
- Pratt, G.W.: The mass distribution in galaxy clusters, contributed talk, National Astronomy Meeting, Birmingham, UK, April 2005.
- Predehl, P.: Raum und Zeit, public talk, Fachhochschule Rosenheim, Germany, July 2005.
- Predehl, P.: Raum und Zeit, public talk, Förderkreis Planetarium, Göttingen, Germany, April 2005.
- Predehl, P.: Raum und Zeit, public talk, Volksternwarte, München, Germany, April 2005.
- Raeth, C.: Improving the textural characterization of trabecular bone structure to quantify its changes: the locally adapted scaling vector method, contributed talk, SPIE: Medical Imaging, San Diego, USA, February 2005.
- Raeth, C.: Improving the textural characterization of trabecular bone structure to quantify its changes: the locally adapted scaling vector method, invited talk, University of California, San Francisco, USA, February 2005.
- Raeth, C.: On Noise Properties in MR-Sequences at Three Tesla - Some Empirical Findings, invited talk, General Electric Global Research, Garching, Germany, July 2005.
- Raeth, C.: Status und Perspektiven der Forschung in Deutschland, public talk, Förderungswerk der Hanns-Seidel-Stiftung, München, Germany, October 2005.
- Raeth, C.: Structural Analysis of tomographic Images with the Locally Adapted Scaling Vector Method, invited talk, Workshop of the MPI for Biochemistry, Schloß Ringberg, Germany, January 2005.
- Ratynskiaia, S.: Nonlocality and memory effects in grain dynamics on a 2D dust plasma quasi-crystal, contributed talk, 32nd EPS Plasma Physics Conference, Tarragona, Spain, June 2005.
- Ratynskiaia, S.: The delights and pitfalls of electric probe measurements in plasmas, invited talk, Workshop on "Frontiers in Low Temperature Plasma Diagnostics", Les Houches, France, April 2005.
- Rau, A.: Constraining the LGRB Collimation with a Survey for Orphan Afterglows, contributed talk, Gamma Ray Bursts in the Swift Era, Washington DC, USA, November 2005.
- Rau, A.: Gamma-Ray Bursts: A Population Study, colloquium, California Institute of Technology, Pasadena, USA, September 2005.
- Rau, A.: GRB/XRF 030528: redshift and host galaxy properties, contributed talk, GRBs: the first three hours - RTN School, Santorini, Greece, August 2005.
- Rau, A.: SPI-ACS: from GRBs to SGPs, contributed talk, Meeting of the RTN on Gamma-Ray Bursts, Reykjavik, Island, April 2005.
- Saglia, R.: The cosmic star formation rate from the FDF and the Goods-S fields, invited talk, Conference in Honour of Alvio Renzini, Schloß Ringberg, Germany, July 2005.
- Sala, G.: X-ray Emission from Classical Novae, colloquium, Institut für Astronomie und Astrophysik, Universität Tübingen, Germany, July 2005.
- Samsonov, D.: Complex (dusty) plasmas, invited talk, University of Liverpool, UK, November 2005.
- Samsonov, D.: Complex plasmas: a review, invited talk, European Low Gravity Research Association Symposium (ELGRA 2005), Santorini, Greece, September 2005.
- Samsonov, D.: Wave phenomena in complex (dusty) plasmas with low damping, contributed talk, 32nd EPS Conference on Plasma Physics (EPS 2005), Taragona, Spain, June 2005.
- Samsonov, D.: Wave Phenomena in Complex (Dusty) Plasmas With Low Damping, invited talk, XXVIIIth General Assembly of International Union of Radio Science (URSIGA 2005), New Delhi, India, October 2005.
- Samsonov, D.: Waves and dynamic phenomena in complex (dusty) plasmas, invited talk, Institut für Niedertemperatur Plasmaphysik (INP) Greifswald, Germany, November 2005.
- Scheingraber, H.: Entstehung der Materie aus kosmologischer Sicht, colloquium, Sonderveranstaltung Weltschöpfung, CG Jung Institut, Zürich, Switzerland, November 2005.
- Scheingraber, H.: Leben und Sterben der Sterne, public talk, Bürgerforum GOD, Günzenhausen, Germany, October 2005.
- Scholer, M.: An overview of particle distributions upstream of Earth's bow shock, invited talk, AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, December 2005.
- Scholer, M.: Injection and acceleration at interplanetary traveling shocks, planetary bowshocks, and the heliospheric termination shock, invited talk, EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 2005.

- Scholer, M.*: Kinetic structure of quasi-perpendicular collisionless shocks, invited talk, 4th Annual Intern. Astrophys. Conference IGPP, Palm Springs, USA, February 2005.
- Scholer, M.*: Magnetic reconnection: A Tutorial, colloquium, Queen Mary College - University London, UK, October 2005.
- Scholer, M.*: Particles and field at collisionless shocks: simulation results versus recent Cluster bow shock observations, invited talk, International Space Simulation School/ Symposium 7, Kyoto, Japan, March 2005.
- Scholer, M.*: Particles and fields at collisionless shocks: Simulations versus recent Cluster bow shock observations, invited talk, Cluster and Double Star Symposium, Noordwijk, The Netherlands, September 2005.
- Scholer, M.*: Quasi-perpendicular shock structure: full particle electromagnetic simulations, invited talk, EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 2005.
- Scholer, M.*: Review on shock physics: Modified two-stream instability, Buneman instability, Bernstein modes, etc, in the various parameter regimes, invited talk, Workshop on Energetic Particle Phenomena in the Magnetosphere, Tokyo, Japan, March 2005.
- Scholer, M.*: What can shock simulations tell us about the true structure of the termination shock?, invited talk, Symposium on Future Perspectives in Heliospheric Research: Unsolved Problems, New Missions – New Sciences, Bad Honnef, Germany, April 2005.
- Schuecker, P.*: Einsteins kosmologische Konstante, public talk, Sternfreunde Nordenham, Germany, March 2005.
- Schuecker, P.*: Indications for Turbulence in the Coma Galaxy Cluster, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting – 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Schuecker, P.*: Large-scale structure from galaxy clusters: Present status and future prospectives, contributed talk, Ringberg workshop: Distant clusters of galaxies, Schloß Ringberg, Germany, October 2005.
- Schuecker, P.*: Observational constraints on Dark Energy and the equation of state w of the Dark Energy, contributed talk, Workshop on Dark Energy, München, Germany, October 2005.
- Schuecker, P.*: Scientific Methods to derive modern Cosmological Constraints, invited talk, Summer School Alpbach 2005: Dark Energy and Dark Matter in the Universe, Alpbach, Austria, July 2005.
- Streblyanskaya, A.*: Probing the X-ray Universe: Analysis of faint sources with XMM-Newton, contributed talk, EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 Years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, Germany, April 2005.
- Strong, A.W.* : Diffuse hard X-ray and gamma-ray emission from the Galaxy, invited talk, Joint GDR/PCHE meeting on high-energy cosmic phenomena, Institut d'Astrophysique de Paris, France, June 2005.
- Strong, A.W.*: Galactic Gamma-Ray Continuum with SPI, contributed talk, INTEGRAL Internal Science Workshop, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, January 2005.
- Strong, A.W.*: Hard X-rays from the interstellar medium: latest results from INTEGRAL, colloquium, Stanford University Astrophysics, Stanford, USA, September 2005.
- Strüder, L.*: DEPFET Active Pixel Sensors and pnCCDs for Room Temperature Imaging (X-Ray) Spectroscopy in Space Missions and Terrestrial Astronomy, contributed talk, IEEE Nuclear Science Symposium, San Juan, Puerto Rico, October 2005.
- Strüder, L.*: Focal Plane Detector Developments for Future X-ray Missions, contributed talk, Symposium on Radiation Detectors, Wildbad Kreuth, Germany, June 2005.
- Strüder, L.*: Halbleiterdetektoren in der angewandten Forschung, colloquium, FZJ, Jülich, Germany, April 2005.
- Strüder, L.*: High speed detectors from the NIR radiation to Gamma rays, invited talk, Space physics department, University Leicester, UK, February 2005.
- Strüder, L.*: High Speed Imagers from 1 Å to 1 μm, invited talk, LBL, Space Laboratory, Berkeley, USA, August 2005.
- Strüder, L.*: Orts- und energieauflösende Detektoren vom Sichtbaren bis zum Röntgenlicht, invited talk, Bruker-AXS, Karlsruhe, Germany, November 2005.
- Strüder, L.*: Ortsaufgelöste Hochratenspektroskopie bei Raumtemperatur, invited talk, Photonik Zentrum Berlin-Adlershof, Berlin, Germany, September 2005.
- Strüder, L.*: Position and Energy Resolved Room Temperature X-Ray Detectors, contributed talk, Conference "Microbeam Analysis & Microscopy", Honolulu, USA, August 2005.
- Strüder, L.*: Position, energy and time measurements with pixellated detectors, invited talk, Physik Department TU München, Germany, January 2005.
- Strüder, L.*: Semiconductor Detectors – Applications in Basic Science and Industry, invited talk, ICFA summer school, Istanbul, Turkey, September 2005.
- Strüder, L.*: Semiconductor Detectors – Basic Principles, invited talk, ICFA summer school, Istanbul, Turkey, September 2005.
- Strüder, L.*: Semiconductor Detectors for Ionizing Radiation - New Developments, contributed talk, Conference X-ray group, Schloß Ringberg, Germany, February 2005.

- Strüder, L.*: Semiconductor radiation detectors for position resolved electron spectroscopy, invited talk, MPI for Biochemistry, Martinsried, Germany, May 2005.
- Strüder, L.*: Semiconductor sensors for high resolution imaging, invited talk, Brunel University, Uxbridge, UK, June 2005.
- Strüder, L.*: Silicon Drift Detectors for X-ray Imaging, invited talk, SRI05 Workshop, Argonne National Lab., Chicago, USA, December 2005.
- Strüder, L.*: The XEUS Wide Field Imager, invited talk, EADS/Astrium UK, Stevenage, UK, June 2005.
- Strüder, L.*: Wide dynamic range imaging detectors for X-FEL beamlines, invited talk, X-ray detector workshop am SLAC, Stanford, USA, February 2005.
- Sturm, E.*: The mid-infrared spectra of X-ray selected type 2 QSOs, contributed talk, Spitzer Space Telescope: Infrared Diagnostics of Galaxy Evolution, Pasadena, USA, November 2005.
- Tacconi, L.J.*: Dynamics and Evolution of Ultraluminous Galaxies at Low and High Redshift: ULIRGs and SMGs, colloquium, Arcetri Observatory, Florence, Italy, March 2005.
- Tacconi, L.J.*: Dynamics and Evolution of Ultraluminous Galaxies at Low and High Redshift: ULIRGs and SMGs, invited talk, Specola Vaticana Meeting on AGN and Galaxy Evolution, Castel Gandolfo, Rome, Italy, October 2005.
- Tacconi, L.J.*: Dynamics and Evolution of Ultraluminous Mergers at Low and High Redshift, invited talk, Spitzer Science Center 2005 Conference: IR Diagnostics of Galaxy Evolution, Pasadena, California, USA, November 2005.
- Tacconi, L.J.*: Galaxy Centers at High Redshift: Kinematics and Evolution at z~2-3, colloquium, Max Planck Institut für Astronomie, Heidelberg, Germany, June 2005.
- Tacconi, L.J.*: The Dynamics and Evolution of Ultraluminous Mergers, contributed talk, Superunification of AGN, Marciana Marina, Elba, Italy, May 2005.
- Thoma, M.H.*: Complex plasmas as a model for the quark-gluon-plasma liquid, invited talk, Quark Matter 2005, Budapest, Hungary, August 2005.
- Thoma, M.H.*: Parabolic flight experiments with PK-4, contributed talk, ELGRA Biennial Symposium, Santorini, Greece, September 2005.
- Thomas, H.M.*: Experiments under Microgravity Conditions – New Directions, invited talk, International Conference on the Physics of Complex Plasmas, Orleans, France, May 2005.
- Thomas, H.M.*: Plasma Crystal Research on the International Space Station: Past, Present and Future, public talk, MAKS 2005 - International Aviation & Space Salon, Moscow, Russia, August 2005.
- Treumann, R.A.*: Die Entstehung der Erde, public talk, Evangelische Akademie Mecklenburg, Zingst, Germany, September 2005.
- Treumann, R.A.*: Phase space holes in the Earth's environment, invited talk, EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, April 2005.
- Trippe, S.*: SgrA* and the central cluster in NIR, contributed talk, High energy phenomena in the Galactic Center, Paris, France, June 2005.
- Trümper, J.*: Deep searches for isolated radio-quiet neutron stars, invited talk, IAU Symposium 232, The Scientific Requirements for Extremely Large Telescopes, Cape Town, South Africa, November 2005.
- Trümper, J.*: Gammastrahlen – Blitze vom Rande des Universums, public talk, Nordenham, Germany, September 2005.
- Trümper, J.*: Gammastrahlen – Blitze vom Rande der Welt, public talk, Rosenheim, Germany, January 2005.
- Trümper, J.*: My Encounters with Neutron Stars and Russian Astrophysicists, Yuri Gnedin Colloquium, St. Petersburg, Russia, September 2005.
- Trümper, J.*: Neuere Ergebnisse der Röntgenastronomie, invited talk, IAA Regional Meeting, Bremen, Germany, April 2005.
- Trümper, J.*: Observations of Neutron Star Cooling in X-rays, invited talk, A Life with Stars, Meeting in honor of Ed van den Heuvel, Amsterdam, The Netherlands, August 2005.
- Trümper, J.*: Observations of Neutron Stars and the Equation of State of Nuclear Matter, invited talk, ECT Trento workshop "The New Physics of Compact Stars", Trento, Italy, September 2005.
- Trümper, J.*: Observations of Neutron Stars and the Equation of State of Nuclear Matter, invited talk, University of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, December 2005.
- Trümper, J.*: The Equation of State at Supranuclear Densities – Results from Recent Astronomical Observations, invited talk, Conference on Theoretical Physics, Lebedev Physical Institute Moskau, Russia, April 2005.
- Trümper, J.*: The Photospheric Radii of Cooling Neutron Stars and the Equation of State of Nuclear Matter, colloquium, Nizhni Novgorod, September 2005.
- Trümper, J.*: X-ray observations of neutron stars and the equation of state at high densities, colloquium, GSI Darmstadt, Germany, December 2005.
- Verma, A.*: The properties of star-forming Lyman Break Galaxies at z>5, contributed talk, The Fabulous Destiny of Galaxies: Bridging past and present, Marseille, France, June 2005.
- Wilman, D.J.*: The CNOC2 sample of intermediate redshift galaxy groups - the powerhouse of galaxy evolution, contributed talk, The Fabulous Destiny of Galaxies: Bridging Past and Present, Marseille, France, June 2005.

Wilman, D.J.: The influence of the group environment since $z \sim 0.5$: Morphologies and Star Formation, contributed talk, Groups of galaxies in the nearby Universe, Santiago, Chile, December 2005.

Yaroshenko, V.V.: Coupling of dust-lattice modes in complex plasmas, contributed talk, 32nd EPS Conference, Tarragona, Spain, June 2005.

Zibetti, S.: Photometric properties of MgII absorber systems from the stacking of ~800 SDSS-EDR QSOs, contributed talk, From Simulations to Surveys, MPA Workshop, Schloß Ringberg, Germany, June 2005.

Zibetti, S.: Stellar halos around disk galaxies: results from SDSS stacking and Hubble UDF

surface photometry, contributed talk, Outer edges of disk galaxies: A truncated perspective - A joint Granada-Groningen workshop, Leiden, The Netherlands, October 2005.

Zibetti, S.: Ultra deep photometry with large surveys: The image stacking approach, colloquium, University of Pennsylvania, Philadelphia, USA, September 2005.

Zibetti, S.: Very deep photometry with the SDSS: the image stacking approach, colloquium, Institute for Advanced Study, Princeton, NJ, USA, September 2005.

Zibetti, S.: What's left when Galaxies are torn to shreds? contributed talk, The Origin of the Hubble Sequence, Vulcano Island, Italy, June 2005.

4.8 Dissertationen / PhD Theses

Gallo, L.C.: X-ray Properties of Narrow-line Seyfert 1 Galaxies. LMU München 2004.

Rabien, S.: Wirtsgalaxien von Quasaren und der Laserleitstern für das Very Large Telescope. LMU München 2005.

Zoglauer, A.C.: First Light for the Next Generation of Compton and Pair Telescopes. TU München 2005.

4.9 Diplomarbeiten / Diploma Theses

Hess, S.: Ultraweiche und Ultraharte Quellen im 1XMM Katalog. MPE Garching und Johann-Wolfgang-Goethe Universität Frankfurt a. M., 2005.

Howaldt, C.A.V.: Untersuchung der Röntgenemissionseigenschaften des Pulsars PSR 0628-28. LMU München, 2005.

5 Lehre, Ausbildung und Öffentlichkeitsarbeit

Teaching, Training & Public Relations



5.1 Lehrveranstaltungen / Teaching

IMPRS for Astrophysics, MPE Garching

Böhringer

The Inhomogeneous Universe (WS 04/05)

Genzel

Advanced Course 1: Experimental Astrophysics
(WS 05/06) (WS 04/05)

Bender

Introductory Course Astrophysics (WS 05/06)

Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife, Canary Islands

Eisenhauer

Science Motivation for Integral Field Spectroscopy
and Galactic Studies (IAC Winterschool 05)

Johann-Wolfgang v. Goethe-Universität Frank- furt a. M.

Boller

Astrophysik I (WS 04/05)
Astrophysik III (Master Course) (WS 04/05)
Astronomisches Praktikum (SS 05)
Astrophysik III (Master Course) (WS 05/06)
Übungen zur Vorlesung Astrophysik I (WS 05/06)
Astrophysik I (Bachelor Course) (WS 05/06)

Ludwig-Maximilians Universität München

Annaratone

Introduction to Complex Plasma (WS 05/06)
Low Temperature Plasma Physics (SS 05)

Becker

Gravitationswellen und deren Nachweis (SS 05)
Weiße Zwerge, Neutronensterne und schwarze
Löcher (WS 05/06)

Bender

Astronomisches Hauptseminar zur Astrophysik
(SS 05)
Astrophysikalisches Praktikum „A“ und Übungen
(SS 05)
Astronomisches Kolloquium (SS 05)
Extragalactic Group Seminar (SS 05)
Extragalactic Journal Club (SS 05)
Einführung in die Astronomie und Astrophysik II
(WS 04/05)
Astronomisches Hauptseminar zur Astrophysik
(WS 04/05)
Astrophysikalisches Praktikum “A“ und Übungen
(WS 04/05)
Astronomisches Kolloquium (WS 04/05)
Extragalactic Journal Club (WS 04/05)
Extragalactic Group Seminar (WS 04/05)
Astronomisches Hauptseminar zur Astrophysik
(WS 05/06)
Astrophysikalisches Praktikum “A“ und Übungen
(WS 05/06)
Astronomisches Kolloquium (WS 05/06)
Extragalactic Journal Club (WS 05/06)
Extragalactic Group Seminar (WS 05/06)

Böhringer

Schwarze Löcher, mit Schuecker (SS 05)
Neuere Ergebnisse der beobachtenden
Kosmologie (WS 05/06)
Einführung in die Astrophysik (WS 05/06)

Jamitzky

Datenverarbeitung in den Geowissenschaften I
(WS 04/05)
Einführung in die molekülmechanische Simulation
(WS 04/05)
Einführung in die molekülmechanische Simulation.
(SS 05)

Schuecker

Schwarze Löcher (SS 05)
Weiße Zwerge, Neutronensterne, Schwarze
Löcher (WS 05/06)

Treumann

Festkörperphysik für Geophysiker I / II (WS 04/05)
Space Plasma Physics II (WS 04/05)
Oberseminar Physik der Hohenatmosphäre (WS
04/05)
Space Plasma Physics III (SS 05)
Einführung in die Physik der erdnaher Raumes
(SS 05)
Space Plasma Physics (WS 05/06)

Technische Universität München

Diehl

Advisor-Seminar Astrophysik, TUM Tapping Gravitational Energy: Accretion onto Compact Stars,
mit Greiner, Hasinger, Hillebrandt, Janka, Müller
(WS 04/05)
Observational High-Energy Astrophysics (SS 05)
Cosmic Nuclear Reactions: Nucleosynthesis (WS
05/06)

Hasinger

Weiße Zwerge, Neutronensterne, Schwarze
Löcher (WS 04/05)
Einführung in die Astrophysik (WS 05/06)

Universität Ulm

Boese

Seminar Stochastische Ungleichungen (WS
04/05)
Seminar Wavelets in der Statistik (SS 05)

Universität Gießen

Thoma

Theoretische Kernphysik I: Kernstruktur (SS 05)
Thermische Feldtheorie und Quark-Gluon-Plasma
(WS 04/05)

University of Padova

Boller

Multiwavelength Astrophysics (WS 04/05)

Westfälische Wilhelms Universität Münster

Schuecker

Astrophysikalische Aspekte der
Quantengravitation II (WS 04/05)

Universität Siegen

Strüder

Halbleiterdetektoren (SS 2005)

5.2 Seminare und Workshops / Seminars and Workshops

EPIC-XMM-Newton Consortium Meeting - 5 years of Science with XMM-Newton, Schloß Ringberg, 11.4.-13.4.2005, Organisation: M. Arnaud, U.G. Briel, P. Ferrando, E. Kendziorra, S. Molendi, S. Sciortino, S. Sembay, M. Turner.

Einstein's Legacy: International Conference on Relativistic Astrophysics and Cosmology, Munich, 7.11.-11.11.2005, Organisation: B. Aschenbach, V. Burwitz, M. Freyberg, R. Genzel, G. Hasinger and J. Trümper.

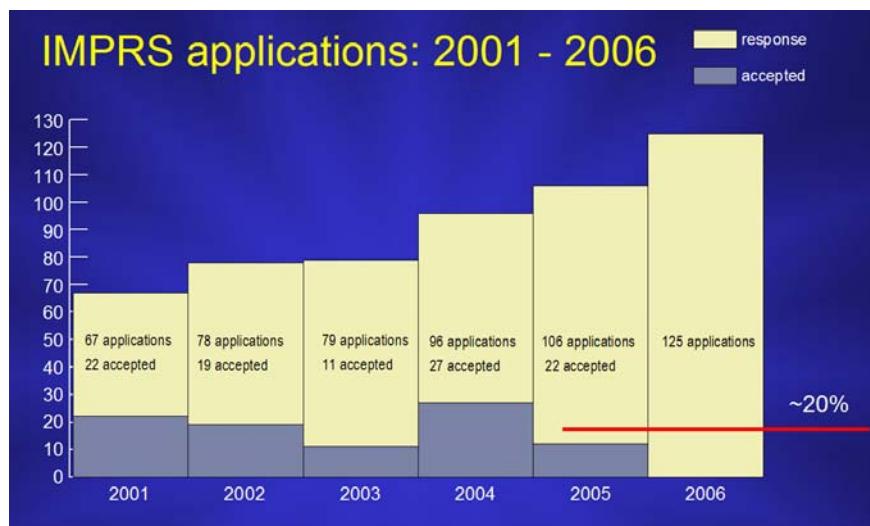
Munich Joint Astronomy Colloquium, Garching, Organisation: S. White, L.J. Tacconi, S. Komossa, W. Freudling, L. Pasquini, H. Spruit and A. Burkert.

Astronomy with Radioactivities V, celebrating the 70th anniversary of Prof. D.D. Clayton, Clemson, S.C. (USA), 5.9.-9.9.2005, Organisation: D.H. Hartmann, R. Diehl, N. Prantzos, E. Zinner.

SOHO/Celias – STEREO/Plastic Workshop, Insel Reichenau, 13.-17.3.2005, Organisation: B. Klecker and J. Zanker-Smith.

Solar - Terrestrial Interactions from Microscale to Global Models, Sinaia, Romania, 6.-10.9.2005, Organisation: A. Blagau, D. Constantinescu, M. Echim and O. Marghitu.

5.3 The International Max Planck Research School on Astrophysics at the Ludwig-Maximilians University of Munich / IMPRS



Übersicht über die Anzahl der jährlichen Bewerbungen für die Teilnahme am IMPRS Programm. Seit 2001 haben sich 551 Studenten aus dem In- und Ausland für eine Teilnahme an dem Programm in Garching beworben.

Summary of annual applications for the participation in the IMPRS Program in Garching. Since its start in 2001 a total of 551 students applied for participation in the program.

Die Max-Planck Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften hat die große Bedeutung des wissenschaftlichen Nachwuchses für die Zukunft von Wissenschaft und Forschung erkannt. Entsprechend hat sie im Jahr 2000, gemeinsam mit verschiedenen deutschen Universitäten, unter dem Namen *International Max Planck Research School*, ein Ausbildungsprogramm ins Leben gerufen, das sowohl deutschen als auch ausländischen Studenten exzellente Ausbildungs- und Lernmöglichkeiten

auf höchstem wissenschaftlichem Niveau bieten soll.

Im Rahmen dieses IMPRS-Projekts haben sich in Garching zwei Institute der Max-Planck-Gesellschaft, das Max-Planck Institut für extraterrestrische Physik und das Max-Planck Institut für Astrophysik sowie die Sternwarte der Ludwig-Maximilians Universität München und das European Southern Observatory zusammengeschlossen: Ein Verbund, sich optimal ergänzender wissen-

schaftlicher Institute, den Doktoranden der Astrophysik weltweit nur hier finden!

Die IMPRS für Astrophysik in Garching wurde ins Leben gerufen, um die wissenschaftliche Ausbildung der Doktoranden weiter zu optimieren. Eines der Ziele dieser Einrichtung ist es, den internationalen Studenten die Möglichkeit zu geben an einem der führenden Zentren für Astrophysik ihre Promotion vorzubereiten und so ihr Interesse für eine spätere Kooperation mit internationalen Wissenschaftsorganisationen zu fördern. Wer an der IMPRS für Astrophysik in Garching promoviert hat, hat beste Chancen für eine internationale Forscherkarriere.

Foto der im September 2005 in das Garchinger IMPRS Programm aufgenommenen Studenten.

Picture of the IMPRS students that started with their PhD at the IMPRS for Astrophysics in Garching in September 2005.

Studenten an dem Programm teil, für das sich seit seiner Gründung insgesamt 551 Studenten aus dem In- und Ausland beworben haben. Etwa 20% der akzeptierten Bewerber kommen aus Deutschland, etwa 40% aus dem europäischen Ausland. Um dem großen Interesse an Studienplätzen Rechnung zu tragen, wurden für die IMPRS in Garching zusätzliche finanzielle Mittel der Europäischen Gemeinschaft bewilligt. Seit Juni 2004 ist die IMPRS für Astrophysik an der Ludwig-Maximilians Universität in München ein Marie-Curie Trainingszentrum der EU für Doktoranden der Astrophysik.

25 Studenten der IMPRS haben bisher erfolgreich



Für die Max-Planck-Gesellschaft ist die internationale Ausrichtung der Ausbildung von zentraler Bedeutung, denn sie soll den Grundstein für eine zukünftige Zusammenarbeit über nationale Grenzen hinweg ermöglichen. Studenten, die sich hier kennen lernen, werden mit großer Wahrscheinlichkeit auch zukünftig miteinander arbeiten.

Im Rahmen des IMPRS Projekts halten an den jeweiligen Instituten renommierte Professoren, Privatdozenten und Wissenschaftler die Vorlesungen. Doktoranden erfahren aktuelle Erkenntnisse aus neuesten Beobachtungen und Experimenten: Beste Ausbildungsvoraussetzungen für die Wissenschaftler von morgen.

Um allerdings eine Doktorandenstelle im Rahmen der IMPRS zu erhalten werden beste Noten vorausgesetzt, denn wer auf dem hohen wissenschaftlichen Niveau mithalten will, muss über beste Kenntnisse in den jeweiligen Disziplinen verfügen. An der IMPRS für Astrophysik in Garching werden beispielsweise aus den mehr als 100 Bewerbern jährlich nur ca. 15-20 Hochschulabsolventen aufgenommen. Steigende Bewerberzahlen spiegeln dabei das große internationale Interesse an der IMPRS und den Erfolg des Programms wieder. Im akademischen Jahr 2005 nahmen insgesamt 55

ihre Doktorprüfung an einer der beiden Münchener Universitäten abgelegt. Etwa 85% der Studenten reichten ihre Promotion an der Ludwig-Maximilians Universität ein, 15% an der Technischen Universität. Welche Universität den Doktortitel verleiht hängt dabei im Allgemeinen nur von der Zugehörigkeit des die Doktorarbeit betreuenden Professors ab.

Im April 2005 wurde die IMPRS in Garching zum ersten Mal von einem international besetzten Fachgremium evaluiert, welches in einem unabhängigen Gutachten den Erfolg des Programms feststellte und in einem Bericht an den Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft die Verlängerung und weitere Förderung der IMPRS in Garching um weitere 6 Jahre vorschlägt.

The Max Planck Society for the Advancement of Science has realized the primary importance of educating and training junior scientists for the future of science and research. According to that in the year 2000 the Max Planck Society, together with the Association of Universities founded a program called the *International Max Planck Research Schools*. These schools offer especially gifted students from Germany and abroad the excellent opportunity of studying at the highest possible stage of science.

In the framework of this program two institutes of the Max-Planck Society, the Max-Planck Institute for Extraterrestrial Physics and the Max-Planck Institute for Astrophysics as well as the Observatory of the Ludwig-Maximilians University and the European Southern Observatory formed the school in a joint venture. The IMPRS in Garching therefore is a system of scientific institutes complementing each other perfectly, which PhD students of Astrophysics can only find here.

The IMPRS on Astrophysics in Garching was started in order to further optimize the academic development of the graduate students. One purpose of this school is providing the international students the possibility to prepare their dissertation in one of the leading centres of Astrophysics. This will also promote their interest for later collaborations with international scientific organizations. Someone that received a doctorate through the IMPRS on Astrophysics in Garching has the best chances for an international career as scientist.

For the Max Planck Society the international alignment of the education is of central importance, because it is a cornerstone for a future cooperation that knows no national boundaries. Students who are studying together in Garching most likely will continue to work together in the future.

In the framework of the IMPRS project renowned Professors, "Privatdozenten" and scientists are giving lectures at the participating institutes. Graduate students will learn about the most current results from new observations and experiments. It is the best foundation for the educational development of the scientists of tomorrow.

In order to get admitted to this PhD program however, applicants are expected to have the best university records, because whoever wants to keep up

on the high scientific level must have a thorough knowledge of all necessary disciplines. At the IMPRS for Astrophysics in Garching for example only 15 to 20 students are selected per year out of more than 100 applications. The increasing number of applications reflects the high international interest as well as the success of the program. In the academic year 2005, a total of 55 students were participating in the program for which 551 students from Germany and abroad have applied since it started. About 20% of the accepted students are from Germany; ~40% are from European and associated countries. In order to accommodate the wide international interest in the program the IMPRS in Garching received additional funding from the European Commission. Since June 2004 the IMPRS on Astrophysics at the Ludwig-Maximilians University of Munich is a Marie-Curie early stage training site of the European Commission for PhD students of Astrophysics.

So far, 25 students have successfully defended their PhD at one of the two Universities located in Munich. About 85% of the students have submitted their PhD thesis to the Ludwig-Maximilians University of Munich, whereas 15% have submitted it to the "Technische Universität". Which university awards the PhD depends only on the affiliation of the supervising Professor.

After four years of operation the IMPRS in Garching was evaluated for the first time by an international board of scientists in April 2005. They stated in an independent evaluation report the success of the program. It was recommended to the President of the Max Planck Society to continue the IMPRS in Garching for another 6 years, up to 2013.

5.4 Öffentlichkeitsarbeit / Public Outreach

Astrophysikalische Fragen erfreuen sich eines steigenden Interesses in der Öffentlichkeit und in den Medien. Als öffentlich finanzierte Einrichtung sieht sich das MPE in der Pflicht, diesem Interesse Rechnung zu tragen und bietet deshalb Institutsführungen und Schülerpraktika an, neben öffentlichen Vorträgen von Institutsmitgliedern auf verschiedensten gesellschaftlichen Ebenen. Darüber hinaus sind die Projekte und wissenschaftlichen Veröffentlichungen aller Abteilungen des Instituts allgemein zugänglich über die MPE Internetseite (<http://www.mpe.mpg.de>).

Im Jahre 2005 fanden insgesamt 24 Institutsführungen statt, mit Gruppen bis zu 30 Personen. In der Mehrzahl handelte es sich dabei um Schüler und Lehrer von naturwissenschaftlich orientierten Schulen, jedoch fanden sich auch Vereine und Berufsgruppen unter den Besuchern. Angeboten

wurden neben Übersichtsvorträgen aus den einzelnen Fachgebieten die Besichtigung von Experimentaufbauten im Labor und Hardware Exponate der verschiedenen Projekte.

Höhepunkt dieser Aktivitäten war der Tag der offenen Tür am Samstag den 22. Oktober, der institutsübergreifend auf dem gesamten Forschungsgeände unter dem Motto „Forschung live“ stattfand.

An 14 Stationen wurde die gesamte Breite unserer Forschungsaktivitäten den Besuchern „zum Anfassen“ angeboten und im einstündigen Rhythmus gab es allgemein verständliche Vorträge, die außerordentlich gut besucht waren. Insgesamt zeigten die mehr als ca. 1500 Besucher das enorme Interesse an der modernen astrophysikalischen Forschung.

Ein besonderes „Highlight“ unseres Instituts war sicherlich dabei das Kinderprogramm, das auch schon bei den Kleinsten die Begeisterung für extra-

terrestrische Forschung wecken konnte. Das Programm umspannte einen weiten Bogen von astronomisch motivierten Bastelarbeiten und Versuchen für die Jüngsten, über Massenstarts selbst gebauter Raketen, bis zu einer Instituts-Ralley der Älteren, die dabei ihr astronomisches Wissen erweitern konnten. Die mehr als 400 begeisterten Kinder, die das Institut „überschwemmten“ waren ein eindrucksvoller Dank an die vielen freiwilligen Mitarbeiter dieser Veranstaltung.

offer review talks from the different scientific teams, laboratory visits as well as hardware exhibits from the different projects.

A highlight of these activities was the “Open Day” on Saturday, October 22, which was organized campus-wide by all institutes with “Forschung live” as its motto.

The whole range of our research activities was presented to the visitors in an approachable way. At hourly intervals public talks were presented



Raketen basteln, eine Herausforderung für alle.

How to build a rocket? A challenging taste!

Astrophysical topics are currently subjects of increasing interest to the public and the media. As a publicly financed institution MPE feels obliged to take that into account and therefore offers guided tours through the institute and hands-on courses for pupils, in addition to public lectures by institute members on various technical levels. In addition the projects and scientific publications of all groups can be found on the MPE web site <http://www.mpe.mpg.de>.

In 2005 a total of 24 guided tours were organized, each consisting of a group of up to 30 people. In the majority these were pupils and teachers of science oriented schools, but tours were also organized for clubs and various occupational groups. We

which enjoyed great popularity. In total, more than 1500 visitors demonstrated the enormous interest of the public in modern astrophysical research.

A very special attraction of our institute turned out to be the children's program, which caused amongst even the youngest excitement for extraterrestrial research. The program covered a wide range: from astronomically motivated handicraft and experiments for the youngest, mass launches of self-built rockets, up to an “institute rally” for the older kids who could thus improve their astronomical knowledge. More than 400 enthusiastic children flooded the institute, presenting a impressive sign of gratitude for the many volunteers who helped to run this event.

5.5 Das Institutsleben / Social Events

Einen nicht vernachlässigbaren Anteil an einem funktionierenden Zusammenleben des Instituts bilden naturgemäß die gemeinsamen sozialen Aktivitäten, die von gruppeninternen Feiern bei wichtigen Anlässen bis zu unseren drei „fest installierten“ Institutsveranstaltungen reichen.

Im Februar fand wieder der gemeinsame Skiausflug statt, diesmal nach St. Johann in Tirol, der erfreulicherweise wieder ohne schwerwiegendere Verletzungen blieb. Naturgemäß rekrutieren sich die Teilnehmer bevorzugt aus bayerischen „Bergfexen“ aber es wurden auch einige absolute Neulinge gesichtet, wie z.B. chinesische Gäste, die ihre ersten Gehversuche auf Skiern machten.

Das Sommer „highlight“ ist unser jährlicher Betriebsausflug im Juli. Diesmal standen der Königssee und Berchtesgaden auf dem Programm. Obwohl wir etliche der geplanten Aktivitäten wegen mehrerer Unwetter und der daraus resultierenden Überflutung des Sees vor Ort abblasen mussten, erwies sich das „Notprogramm“ als großer Erfolg.



Absoluter Höhepunkt in München ist natürlich der alljährliche Besuch des Oktoberfests. Wie auf den Bildern zu sehen, erfreut er nicht nur die Einheimischen, sondern auch ganz besonders unsere ausländischen Mitarbeiter und Gäste, sowie auch deren Familien. Es gibt sogar Gerüchte, dass einige unserer wissenschaftlichen Kollaborationspartner ihren Besuch am MPE in Hinblick auf den Oktoberfest-Termin planen.

A non-negligible aspect of the daily life at the institute are certainly the social activities, ranging from group - internal celebrations of important events up to three well established annual activities.

In February our joint skiing excursion took place, this time to St. Johann in Tirol. Again we were fortunate that no serious casualties had to be claimed. Naturally, most of the participants were Bavarian mountain freaks, but some absolute newcomers were detected as well as for example some Chinese guests who tried skiing for the very first time.

The summer highlight is the annual works outing in July. In 2005 Lake Königssee and Berchtesgaden were on the program. Although several of the planned activities had to be cancelled “on the spot” due to torrential rain and flooding of the lake, the “emergency program” proved to be a big success.



The absolute highlight in Munich is, certainly, the annual visit of the Oktoberfest. As can be seen on the pictures, this is not only an event for the locals, but equally well for our foreign staff, guests and even their families. There are even rumours that some of our foreign scientific collaboration partners organise their visits to MPE in consideration of the schedule of the beer festival.



6 Personal, Projekte, Kollaborationen

Personnel, Projects, Collaborations



6.1 Personal / Personnel

Direktoren / Directors

Prof. Dr. R. Bender, optische und interpretative Astronomie, gleichzeitig Lehrstuhl für Astronomie/Astrophysik der Ludwig-Maximilians-Universität München
 Prof. Dr. R. Genzel, Infrarot und Submillimeter-Astronomie, gleichzeitig Prof. of Physics, University of California, Berkeley, USA (Geschäftsführung)
 Prof. Dr. G. Hasinger, Röntgen- und Gamma-Astronomie
 Prof. Dr. G. Morfill, Theorie, Nichtlineare Dynamik, komplexe Plasmen
 Prof. Dr. G. Haerendel (emeritiertes wiss. Mitglied)
 Prof. Dr. R. Lüst (emeritiertes wiss. Mitglied)
 Prof. Dr. J. Trümper (emeritiertes wiss. Mitglied)

Direktionsassistent / Manager's Assistant

Dr. H. Scheingraber

Wissenschaftlicher Sekretär / Scientific Secretary

Dr. W. Brinkmann

Auswärtige wissenschaftliche Mitglieder / External Scientific Members

Prof. Dr. V. Fortov, IHED, Moscow (Russia)
 Prof. Dr. R. Z. Sagdeev, University of Maryland (USA)
 Prof. Dr. M. Schmidt, CALTECH, Pasadena (USA)
 Prof. Dr. Y. Tanaka, JSPS, Bonn; MPE (Deutschland)
 Prof. Dr. C.H. Townes, University of California, Berkeley (USA)

Kuratorium (gemeinsam mit dem MPI für Astrophysik) / Curators (together with the MPI für Astrophysik)

Dr. L. Baumgarten, Ministerialdirektor im BMBF, Berlin
 Prof. Dr. A. Bode, TU München
 W.-M. Catenhusen, Staatssekretär im BMBF, Berlin
 H.-J. Dürrmeier, Süddeutschen Verlags, München
 Prof. Dr. W. Glatthaar, DG Bank (Vorsitzender des Kuratoriums), Frankfurt
 Dr. G. Gruppe, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, München
 Prof. Dr. B. Huber, Rektor der LMU München
 Dipl.-Ing. R. Klett, Kayser-Threde GmbH, München
 Dr. M. Mayer, Mitglied des Bundestages, Höhenkirchen
 Prof. Dr. E. Rohkamm, Thyssen Krupp AG, Düsseldorf

Fachbeirat / Scientific Advisory Board

Dr. C. Césarsky, ESO, Garching (Deutschland)
 Prof. Dr. R. Davies, Oxford University (UK)
 Prof. Dr. R. Ellis, CALTECH, Pasadena (USA)
 Prof. Dr. A. Fabian, University of Cambridge (UK)
 Prof. Dr. O. Havnes, University of Trømsø (Norway)
 Prof. Dr. P. Léna, Université Paris VII (France)
 Prof. Dr. R. McCray, University of Colorado (USA)
 Prof. Dr. T. Prince, CALTECH, Pasadena (USA)
 Prof. Dr. B. Sonnerup, Dartmouth College (USA)
 Prof. Dr. M.C. Weisskopf, NASA/MSFC (USA)

Humboldt-Forschungspreisträger / Humboldt Awardee

Prof. Dr. P. Henry, University of Hawaii (USA)
 Prof. Dr. B. Sonnerup, Dartmouth College (USA)
 Prof. Dr. V. Tsytovich, Russian Academy of Sciences, Moscow (Russia)
 Prof. Dr. H. Netzer, Tel Aviv University (Israel)

A. v. Humboldt-Stipendiaten / A. v. Humboldt Fellows

Prof. Dr. D. Jaffe, University of Texas (USA)
 Dr. F. Martins, Observatoire Midi-Pyrénées (France)/ Geneva Observatory (Switzerland)
 Dr. V. Yaroschenko, Universiteit Gent (Belgium)

MPE Senior Research Fellow

Dr. D. Porquet
 Dr. K. Iwasawa

Wissenschaftliche Auszeichnungen, Berufungen / Scientific Honours, Appointments

Böhringer, H.: APL Professur, LMU München, February 2005.
Genzel, R.: Petrie Prize of the Canadian Astronomical Society, May 2005
Genzel, R.: Rossi (Arcetri), Halley (Oxford), Helmholtz (Berlin) and Grubb Parsons (Durham) Lectures, May/November 2005
Khrapak, S.: Award for the outstanding work on dust-plasma interactions. 4th International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France, June 2005.
Boller, Th.: APL Professur, Johann-Wolfgang Goethe Universität Frankfurt am Main, October 2005.
Takahashi, K.: DPS 2004 Young Researcher Award, International Symposium on Dry Process, Cheja, Korea, November 2005

6.1.1 Wissenschaftliche Arbeitsgruppen / Science Groups

Physik des Erdnahen Weltraums

Teamassistentin: Zanker-Smith, J.

Förster, Dr. M. (bis 15.6.); Georgescu, Dipl.-Phys. E.; Haaland, Dr. S.; Ilie, D. (bis 31.3.); Kis, Dipl. Phys. (seit 19.11.) A., Klecker, Dr. B.; Leistner, Dipl.-Phys. G.; Marghitu, Dr. O. (bis 30.4., seit 1.11.); Paschmann, Dr. G.; Pitout, Dr. F. (seit 4.2.); Volwerk, Dr. M.

Gäste

Banescu, C. (21.11.-5.12.) Dröge, W (18.5.-8.6.); Giang, T. (21.11.-2.12.); Hamrin, Dr. M. (11.-24.4.); Kartavykh, Dr. J. (18.5.-8.6.); Kotze, Prof. P. (1.-12.8.); Mishin, Prof. V. (9.-30.5.); Nilsson, Dr. H. (22.-29.11.); Wara, M. (21.11.-2.12.)

Doktoranden / Diplomanden

(Betreuer in Klammern)

Blagau, A. (Klecker); Ilie, D. (seit 1.4.; Treumann); Kis, A. Dipl. Phys. (bis 18.11., Scholer)

Infrarot- und Sub-mm-Astronomie

Sekretariat: Harai-Ströbl, S.

Abuter, Dr. R.; Bauer, Dipl.-Phys. O.H.; Berg von, Dr. M. (bis 31.3.); Berger, P. (1.3.-31.8.); Bickert, Dipl.-Phys. K. (bis 31.12.); Bouché, Dr. N.; Cesarsky, Dr. D.; Contursi, Dr. A.; Dachev, T (19.7.-20.9.); Davies, Dr. R.; Eisenhauer, Dr. F.; Feuchtgruber, Dipl.-Phys. H.; Förster-Schreiber, Dr. N.; Friedl, A. (seit 23.9.); Friedrich, Dr. S. (seit 14.3.); Geis, Dr. N.; Gemperlein, H.; Gilbert, Dr. A. (bis 4.11.); Gillessen, Dr. S.; Hartinger, Ch. (seit 26.9.); Hofmann, Dr. R.; Horrobin, Dr. M. (bis 31.5.); Katterloher, Dr. R.; Kleiser, A.; Klein, Dr. R. (bis 30.6.); Krombach, H.; Kornberg, Dr. M.; Lehnert, Dr. M.; Lutz, Dr. D.; Maness, H. (24.5.-13.7.); Martins, Dr. F.; Müller, Dr. T.; Osterhage, S.; Paumard, Dr. T.; Poglitsch, Dr. A.; Raab, Dipl.-Phys. W.; Rabien, Dipl.-Phys. S.; Schmid, Dr. W.; Schubert, Dr. J. (bis 31.8.); Seidenschwang, K.; Sturm, Dr. E.; Tacconi, Dr. L. J.; Verma, Dr. A.; Wetzstein, Dr. M.; Wildgruber, G.; Zeh, A. (1.2.-31.7.)

Gäste

Netzer, Prof. Dr. H. (seit 6.7.); Saykally, Prof. Dr. R. (1.-31.7.)

Doktoranden / Diplomanden

(Betreuer in Klammern)

Cresci, G. (Davies); Dasyra, Dipl.-Phys. K. (Tacconi); Gobat, Dipl.-Phys. R. (seit 1.6., Lehnert); Harayama, Dipl.-Phys. Y. (Hofmann); Höhne, Dipl.-Phys. R. (Poglitsch); Ihle, S. (seit 1.11., Eisenhauer); Müller-Sánchez, F. (Eisenhauer); Nesvadba, Dipl.-Phys. N. (Lehnert); Schweitzer, Dipl.-Phys. M. (Poglitsch/Sturm); Trippe, S. (bis 31.1., Genzel); Valiante, Dipl.-Phys. E. (Lutz/Sturm); Viehhauser, Dipl.-Phys. W. (bis 28.2., Poglitsch);

Röntgen-Astronomie

Sekretariat: Jacobs, I.

Adorf, Dr. H.-M. (bis 15.9.); Andritschke, Dipl.-Phys. R. (seit 1.4.); Aschenbach, Dr. B.; Becker, Dr. W.; Blenniger, T. (1.-31.8.); Boese, Dr. G.; Boller, Dr. T.; Braig, Dipl.-Phys. C. (seit 1.9.); Bräuninger, Dr. H.; Briel, Dr. U.G.; Brunner, Dr. H.; Brusa, Dr. M.; Burkert, Dr. W.; Burwitz, Dr. V.; Dennerl, Dr. K.; Finoguenov, Dr. A.; Frankenhuizen, W.; Freyberg, Dr. M.; Friedrich, Dr. P.; Gallo, Dr. L.; Geppert, Dr. U.; Gruber, Dr. R.; Haberl, Dr. F.; Hälker, Dipl.-Ing. O.; Hartner, Dipl.-Math. G.; Hashimoto, Dr. Y. (bis 30.11.); Hirschinger, M.; Ihle, S. (bis 30.4.); Iwasawa, Dr. K. (seit 1.12.); Kahabka, Dr. P.; Kim, Dr. J.W. (seit 12.9.); Komossa, Dr. S.; Kruber, S. (bis 21.3.) Lange, R.; Lehmann, Dr. I. (bis 14.2.); Lemson, Dr. G.; Mainieri, Dr. V.; Matute, Dr. I. (bis 31.7.); Meidinger, Dr. N.; Miessner, D.; Misaki, K.; Müller, Dr. A. (seit 1.4.); Pfeffermann, Dipl.-Phys. E.; Pietsch, Dr. W.; Porquet, Dr. D.; Porro, Dr. M. (seit 1.10.); Predehl, Dr. P.; Schaller, G.; Schopper, Dr. F.; Shen, Dr. S.; Silverman, Dr. J.; Stettner, I. (1.-31.8.); Strüder, Prof. Dr. L.; Szokoly, Dr. G.; Treis, Dr. J.; Trill, M. (bis 31.3.); Voges, Dr. W.; Vongehr, A. (seit 1.6.)

Gäste

Henry, Prof. Dr. J.P. (2.5.-31.8.); Tanaka, Prof. Dr. Y. Trinchieri, Dr. G. (18.7.-12.8.); Xu, Dr. D. (3.11-23.12)

Doktoranden / Diplomanden

(Betreuer in Klammern)

Balestra, Dipl.-Phys. I. (Boller); Bauer, Dipl.-Phys. M. (Pietsch) Braig, Dipl.-Phys. C. (bis 31.8., Predehl); Cappelluti, Dipl.-Phys. N. (Hasinger); Deresch, A., (seit 1.3., Pfeffermann/Predehl); Fan, Dipl.-Phys. Y. (Komossa); Guglielmetti, Dipl.-Phys. F. (bis 31.5.; Voges/Boese); Hess, S. (bis 31.6., Boller); Howaldt, C. (Becker); Huang, Dipl.-Phys. H. (seit 17.8., Becker); Hui, D. (Becker); Hyde, E. (seit 1.8., Meidinger); Kimmel, Dipl.-Phys. N. (Strüder); Mendes, P. (Freyberg); Misanovic, Dipl.-Phys. Z. (Pietsch); Öztürk, C. (bis 1.9., Strüder); Pittroff, L. (Aschenbach); Posselt, Dipl.-Phys. B. (Haberl/Voges); Streblyanskaya, Dipl.-Phys. A. (Hasinger); Trill, M. (seit 1.4., Burwitz); Vongehr, M. (bis 31.5., Predehl); Wölfel, Dipl.-Phys. S. (Strüder); Zhang, C. (Strüder)

Gamma-Astronomie

Diehl, Dr. R.; Falke, L.; Greiner, Dr. J.; Halloin, H. (bis 30.8.); Kanbach, Dr. G.; Kienlin von, Dr. A.; Lerusse, L. (bis 15.10.); Lichti, Dr. G.; Rehm, D.; Sala, Dr. G. (seit 1.2.); Slowikowska, A. (seit 1.10.); Strong, Dr. A.; Yoldas, A.; Willis, Dr. D. (seit 1.4.); Zhang, Dr. X. (seit 15.9.)

Gäste

Chupp, Prof. E. (01.-31.8.); Hartmann, Prof. D. (28.5.-11.6.); Harris, Dr. M. (20.10.-20.12.); Iyudin, Dr. A. (1.5.-31.8.); Savaglio, Dr. S. (1.-15.6.)

Doktoranden / Diplomanden

(Betreuer in Klammern)

Ajello, Dipl.-Phys. M. (Kanbach) Andritschke, Dipl.Phys. R. (bis 28.2.; Kanbach) Bottacini, E. (seit 1.7., Collmar); Ciemniak, C. (bis 31.12., Diehl); Clemens, Chr. (seit 1.1., Greiner); Duscha, S. (seit 1.6., Kanbach); Krauß, M. (seit 15.9., Greiner); Kretschmer, Dipl.-Phys. K. (Diehl); Krühler, T. (seit 1.11., Greiner); Küpcü Y., Dipl.-Phys. A. (Greiner); Lang, M. (Diehl); Mühlegger, M. (seit 1.4., Kanbach); Orlando, E. (seit 1.7., Strong); Prymak, N. (seit 1.6., Greiner); Rau, Dipl.-Phys. A. (bis 30.11., Lichten/Greiner); Schächner, G. (seit 28.10., Diehl); Stefanescu, Dipl.-Phys. A. (Kanbach); Steiner, I. (bis 30.5., Greiner); Thöne, C. (bis 30.6., Greiner); Wagner, J. (seit 1.6., v. Kienlin); Wang, W. (Diehl)

Theorie

Sekretariat: Langer, A./Colmar, E.

Annaratone, Dr. B.; Aschenbrenner, Dr. T.; Böhringer, Dr. H.; Brinkmann, Dr. W.; Bunk, Dr. W.; Höfner, Dipl.-Phys. H.; Ivlev, Dr. A.; Jamitzky, Dr. F.; Khrapak, Dr. S.; Klumov, Dr. B.; Konopka, Dr. U.; Kretschmer, Dr. M.; Mimica, Dr. P. (seit 1.10.); Monetti, Dr. R.; Pierini, Dr. D. (seit 1.10.); Pompl, Dr. R.; Pratt, Dr. G.; Räth, Dr. Ch.; Ratynskaia, Dr. S.; Rubin-Zuzic, Dr. M.; Samsonov, Dr. D.; Sato, T. (seit 1.10.); Scheingraber, Dr. H.; Scholer, Prof. Dr. M. (bis 30.5.); Shimizu, Dr. T.; Sidorenko, Dr. I.; Thoma, Dr. M.; Thomas, Dr. H.; Treumann, Prof. Dr. R. (bis 30.5.); Uchida, Dr. G.; Yaroschenko, Dr. V.; Zhdanov, Dr. S.

Gäste

Dr. Harald Atmanspacher (24.02.-04.03.); Prof. Umberto de Angelis (22.08.-01.09.); Prof. Vladimir Fortov (19.07.-23.07.); Prof. Glenn Joyce (01.02.-31.03.); Prof. Alexey Khrapak (14.07.-24.09.); Professor Emeritus Noriyoshi Sato 21.07.-24.07.); Prof. Victor Steinberg (10.07.-23.07.); Prof. Vadim Tsytovich (19.07.-23.07.); Prof. Sergey Vladimirov (17.12.-22.12.).

6.1.2 Ingenieurbereich und Werkstätten / Engineering and Workshops**Elektronik**

Hippmann, Dipl.-Ing. H. (Leitung Elektronik)
Barl, Dipl.-Ing. (FH) L.; Bornemann, Dipl.-Ing. (FH) W.; Burghardt, Dipl.-Ing. (FH) T.; Cibooglu, H.; Deuter, M.; Emslander, A.; Fumi, Dr. F.; Gressmann, R.; Hagl, Dipl.-Ing. (FH) T.; Hälker, Dipl.-Ing. (FH) O.; Hans, O.; Hengmuth, M.; Herrmann, Dipl.-Ing. (FH) S.; Heuschmann, Dipl.-Ing. (FH) F. (bis 30.9.); Jakob, Dipl.-Ing. (FH) G.; Kaiser, K.-H. (bis bis 30.6.); Kellner, Dipl.-Ing. S.; Kink, Dipl.-Ing. (FH) W.; Lange, R.; Langer, Patricia; Lederer, R.;

Doktoranden / Diplomanden

(Betreuer in Klammern)

Antonova, Dipl.-Phys. T. (Annaratone); Arevalo, P. (bis 31.8., Brinkmann); Braglia, F. (seit 1.9., Böhringer); Chauduri, M. (seit 1.6., Annaratone); Elsässer, A. (seit 1.10., Morfill); Faßbender, Dipl.-Phys. R. (Böhringer); Fink, Dipl.-Phys. M. (Morfill); Gonzales, Dipl.-Phys. E. (Morfill); Huber, Dipl.-Phys. P. (Morfill); Johnson, Dipl.-Phys. L. (Morfill); Knapk, Dipl.-Phys. Ch. (Morfill); Kompaneets, Dipl.-Phys. R. (Morfill); Mokler, Dipl.-Phys. F. (Morfill); Santos, J. (seit 15.9., Böhringer); Schwabe, M. (seit 1.5., Konopka); Simionescu, A. (seit 28.8., Böhringer); Sütterlin, Dipl.-Phys. R. (Morfill); Tichmann, K. (seit 1.11., Konopka); Zhang, Y. (Böhringer)

Optische und Interpretative Astronomie

Sekretariat: Rieperdinger, M.

D'Onghia, E. (bis 30.9.); Gabasch, A.; Hopp, Dr. U.; Gebhardt, K. (seit 1.8.); Gerhard, Dr. O. (seit 1.10.); Maraston, Dr. C. (bis 28.2.); Milvang-Jensen, Dr. B.; Muschielok, B.; Neeser, M. (1.5.-31.10.); Noll, Dr. S.; Pierini, Dr. D. (bis 31.7.); Salvato, Dr. M.; Saglia, Dr. R.; Schuecker, Dr. P.; Thomas, Dr. D. (bis 28.2.); Wilman, Dr. D.; Zibetti, Dr. S.;

Gäste

Hill, G. (1.-31.8.); Mendes de Oliveira, Prof. Dr. C. (15.-20.6.);

Doktoranden / Diplomanden

(Betreuer in Klammern)

Brimioulle, F. (bis 31.4., Thomas); De Lorenzi, Dipl.-Phys. F. (seit 1.10., Gerhard); Goranova, Dipl.-Phys. Y. (Bender); Hultzsch, Dipl.-Phys. P. (Pauldrach); Köhler, R. (bis 31.8., Schuecker); Koppenhöfer, Dipl.-Phys. J. (Saglia); Nieves, Dipl.-Phys. L. (Bender); Nowak, Dipl.-Phys. N. (Saglia); Pannella, Dipl.-Phys. M. (Bender); Riffeser, Dipl.-Phys. A. (Bender); Siddiki, Dipl.-Phys. A. (seit 1.10., Gerhard); Snigula, Dipl.-Phys. J. (Bender); Walch, Dipl.-Phys. S. (Burkert)

Lieb, W.; Müller, Dipl.-Ing. (FH) S.; Oberauer, F.; Reiss, P.; Rothermel, Dr. H.; Rupprecht, T.; Schneider, M.; Schrey, F.; Steffes, B.; Tarantik, Dipl.-Ing. K.; Yaroshenko, V.; Waldleben, H. (bis 30.4.)

Mechanik

Kettenring, Dipl.-Ing. G. (Leitung Mechanik)

Adebar, F. (bis 31.8.); Bayer, R.; Brara, A.; Brandstetter, J.; Budau, B.; Czempiel, S.; Deuschle, G.; Deysenroth, C.; Dietrich, G.; Dittrich,

Dipl.-Ing. (FH) K.; Eibl, J.; Feldmeier, P.; Gahl, J.; Goldbrunner, A.; Haug, Dipl.-Ing. (FH) M.; Huber, F.-X.; Huber, N.; Huber, S.; Huber, Dipl.-Ing. H.; Kestler, H.J.; Mayr, R.; Mayr-Ihbe, R.; Mican, Dipl.Ing. B. (seit 1.9.); Plangger, M. Rohé, C.; Sandmair, R.; Schnell, P.; Schunn, W.; Soller, F.; Straube, P.; Thiel, Dipl.-Ing. M.; Wilnhammer, N. (bis 31.1.); Wölfli, K. (bis 1.5.); Zaglauer, Dipl.-Ing. (FH) W.

Auszubildende

Arzt, S.; Bibracher, M. (seit 1.9.); Blasi, T.; El-Masry, J.; Hartwig, J.; Liebhardt, J.; Schindelmeier, M. (seit 1.9.); Schneider, A.

6.1.3 Sonstige Zentrale Bereiche / Services

Datenverarbeitung / Computing

DV-Ausschuß

Bauer, Dipl.-Phys. O.H. (Vorsitzender)
Bohnet, Dipl.-Phys. A.; Brinkmann, Dr. W.; Burwitz, Dr. V. (seit 1.8.); Collmar, Dr. W.; Haberl, Dr. F. (Stellvertreter); Jamitzky, Dr. F.; Leistner, G. (seit 1.7.); Lutz, Dr. D.; Müller, Dipl.-Ing. (FH) S.; Ott, Dr. T.; Vaith, Dipl-Phys. H. (bis 30.6.)

Zentrale DV-Gruppe

Bauer, Dipl.-Phys. O.H. (Leitung)
Baumgartner, H. (Netzwerk, Systemsupport); Bohnet, Dipl.-Phys. A. (Systemsupport optische und interpretative Astronomie); Collmar, Dr. W. (GRO, INTEGRAL, IMPF); Kleiser, A. (Druckerbetreuung); Klose, L. (Netzwerk, Systemsupport); Oberauer, A. (Software, PC Betreuung); Ott, Dr. T. (Systemsupport Infrarot); Paul, J. (Röntgen, Datenschutzbeauftragter); Post, Ch. (Netzwerk, Systemsupport – PC u. Unix); Sigl, Dipl.-Ing. (FH) R. (Netzwerkmanagement); Steinle, Dr. H. (Datenbanken, Archivsysteme, WWW); Vaith, Dipl.-Phys. H. (Cluster, bis 30.6.); Voges, M. (Programmierung); Wieprecht, Dipl.-Ing. E. (Herschel-PACS); Wiezorek, Dipl.-Ing. (FH) E. (Herschel-PACS)

Schülerpraktikum (Haupt- und Realschulen)

Blau, J. (14.-18.3.05); Bruckmeier, L. (6.-10.6.); Fischer, L. (21.-24.3.); Huber, D. (25.-29.4.); Karaduman, M. (18.-22.4.); Sauter, I. (14.-18.2.); Schneider, P. (13.6.-8.7.); Stimmelmayer, T. (29.3.-1.4.); Thiess, H. (16.-20.2.); Vach, M. (11.-15.7.); Wieschke, G. (9.5.-13.5.)

Hochschulpraktikum

Ibele, P. (21.2.-18.3.); Ihle, D. (20.6.-29.7.); Stäbler, D. (1.9.-12.10.); Zabel, J. (4.-29.7.)

Publikationsunterstützung

Predehl, Dr. P. (Leitung)
Hauner, R.; Karing, W.; Mayr-Ihbe, R.; Mory, B.

Bibliothek

Chmielewski, E. (Leitung)
Abele, M. (bis 31.3.); Hardt, C. (seit 1.5.); Schurkus, R.; Toivonen, T. (bis 30.9.)

Verwaltung und Allgemeine Dienste (VAD)

Ihle, M. (Leitung VAD)
Sekretariat: Kliem, V.
Apold, G.; Arturo, A.; Bauernfeind, M.; Bitzer, U.; Blaschek, M.; Brielmair, Ch.; Cziasto, U.; Doll, E.; Ertl, M.; Gleixner, W.; Goldbrunner, S.; Grasemann, M.; Gschnell, H.-P.; Inhofer, I.; Jäkel, T.; Keil, M.; Kestler, L.; Kürzinger, T.; Kus, H.; Lochner, C. (seit 1.9.); Nagy, A.; Neun, A.; Peischl, M.; Preisler, C.; Reither, A.; Rochner, R. (seit 1.4.); Rossa, E.; Sandtner, P.; Scheiner, B.; Schneider, D.; Seeger, Dipl.-Ökonom, G.; Steinle, R.; Strecker, R.; Thiess, L.; Vogt, J.

6.1.4 Projekt-Gruppen / Science Project Teams (Projektleiter unterstrichen / Project Managers underlined)

Physik des Erdnahen Weltraums

ACE / SEPICA
Klecker, Zanker-Smith.

CLUSTER / CIS
Klecker, Marghitu, Paschmann, Pitout, Scholer.

CLUSTER / Datenzentrum
Georgescu, Klecker, Leistner, Volwerk.

CLUSTER / EDI
Fürster, Georgescu, Haaland, Paschmann, Treumann, Vaith.

Double Star

Georgescu, Haaland, Klecker, Paschmann, Pitout.

ROSETTA-Lander
Haerendel (IUB), Thiel.

SAMPEX / HILT
Klecker, Scholer.

SOHO / CELIAS
Klecker, Scholer, Zanker-Smith.

STEREO / PLASTIC
Klecker, Zanker-Smith.

Infrarot- und Sub-mm-Astronomie

Deputies to the Director of the Group
Lutz, Tacconi.

Extragalaktische Beobachtungen

Baker, Cresci, Dasyra, Förster-Schreiber, Gilbert,
Lehnert, Nesvadba, Tacconi, Valiante.

GaAs-Detektoren

Jakob, Katterloher.

Galaktisches Zentrum

Abuter, Eisenhauer, Genzel, Gillessen, Maness,
Martins, Ott, Paumard, Trippe.

Galaxienkerne

Contursi, Dasyra, Davies, Friedrich S., Genzel,
Gilbert, Lutz, Müller-Sanches, Netzer, Schweitzer,
Sturm, Tacconi, Verma.

Galaxien bei hoher Rotverschiebung

Abuter, Bouché, Cresci, Eisenhauer, Förster-Schreiber, Genzel, Gobat, Lehnert, Lutz, Nesvadba, Sturm, Tacconi, Valiante, Verma, Viehhauser.

GRAVITY

Abuter, Eisenhauer, Gillessen, Haug, Hofmann,
Ihle S., Kellner, Paumard, Rabien, Thiel.

Herschel-PACS

Barl, Bauer, Berg v., Bickert, Cesarsky, Contursi,
Eibl, Feuchtgruber, Friedl, Geis, Hartinger, Igl,
Jakob, Katterloher, Kleiser, Kornberg, Krombach,
Lutz, Müller T., Osterhage, Poglitsch, Schmid,
Schubert, Seidenschwang, Sturm, Thiel, Wetzstein,
Wieprecht, Wierzorek, Wildgruber, Willnhammer, Yaroshenko.

ISO Spektrometer

Bauer, Feuchtgruber, Lutz, Müller T., Sturm,
Verma, Wieprecht.

KMOS

Davies, Förster-Schreiber, Hofmann, Lehnert.

LBT, Lucifer

Eisenhauer, Gemperlein, Gillessen, Hofmann,
Lederer, Lehnert, Straube.

LBT IFU

Eisenhauer, Haug, Müller-Sanchez.

PARSEC

Davies, Kellner, Ott, Rabien, Huber S.

PRIMA testbed

Abuter, Eisenhauer, Haug, Kellner, Rabien, Thiel.

Sofia-FIFI-LS

Fumi, Geis, Höhle, Klein, Oberauer, Poglitsch,
Raab, Schweitzer, Viehhauser.

Röntgen-Astronomie

Astrogrid-D
Kim, Voges.

CAST
Bräuninger, Strüder.

Chandra

Aschenbach, Burkert, Burwitz, Hartner, Predehl,
Trümper.

GAVO

Adorf, Kim, Lemson, Voges.

ROSAT

Boese, Gruber, Haberl, Voges.

eROSITA

Andritschke, Aschenbach, Bornemann, Briel, Burkert, Friedrich, Hasinger, Hengmuth, Heusmann, Hippmann, Hirschinger, Huber, Kettenring, Kink, Lange, Meidinger, Müller, Pfeffermann, Predehl, Strüder, Trümper, Wölfl.

SDSS

Böhringer, Boller, Gallo, Hasinger, Huber M., König, Voges.

SIMBOL-X

Briel, Häcker, Hasinger, Herrmann, Hippmann, Huber, Pietsch, Strüder, Treis, Zhang.

Skinakas Observatorium

Bauer, Hasinger, Lieb.

SWIFT

Freyberg, Greiner, Hartner, Hasinger, Strong,
Voges.

XEUS

Aschenbach, Boller, Bräuninger, Braig, Burkert, Friedrich, Hasinger, Meidinger, Schaller, Strüder, Trümper, Vongehr.

XEUS-WFI

Andritschke, Häcker, Herrmann, Meidinger, Mießner, Schopper, Strüder, Treis.

XMM-Newton

Aschenbach, Bohnet, Boller, Bornemann, Briel, Brunner, Burkert, Dennerl, Freyberg, Gallo, Gruber, Haberl, Hartner, Hengmuth, Hippmann, Hirschinger, Huber, Kettenring, Kink, Lange, Meidinger, Müller, Pfeffermann, Pietsch, Predehl, Strüder, Trümper.

Gamma-Astronomie

COMPTEL

Collmar, Diehl, Kretschmer, Schönfelder, Schlarb, Strong.

EGRET

Kanbach, Mayer-Häßelwander.

Gamma-Ray Bursts

Clemens, Greiner, Huber B., Kanbach, Krauss, Krühler, Küpcü-Yoldas, Primak, Rau, Stein, Steiner, Thöne, Willis, Yoldas.

GLAST

Diehl, Kanbach, Kienlin v., Lichti, Mayer-Häßelwander, Schönfelder, Strong.

GROND

Bornemann, Clemens, Fueger, Greiner, Hasin-

ger, Huber H., Mayer-Haßelwander, Schrey, Szokoly, Thoene, Wölfle, Yoldas, Zaglauer.

INTEGRAL

Diehl, Kienlin v., Kretschmar, Kretschmer, Lerusse, Lichti, Pottschmidt, Rau, Schönfelder, Strong, Wunderer.

Jet-Quellen

Ajello, Bottacini, Collmar, Greiner, Kanbach, Pottschmidt, Sala, Willis, Zhang.

MEGA

Andritschke, Kanbach, Schönfelder, Schrey, Zoglauer.

Nukleare Astrophysik

Ciemniak, Diehl, Halloin, Kienlin, Kretschmar, Kretschmer, Lang, Lichti, Mertz, Strong.

OPTIMA

Kanbach, Schrey, Steinle H., Stefanescu.

Relativistische Teilchenbeschleuniger

Ajello, Collmar, Diehl, Duscha, Kanbach, Mühlbacher, Orlando, Slowikowska, Stefanescu, Strong.

Theorie

Adaptive Elektrode

Annaratone, Chauduri, Huber, Morfill, Steffes, Thomas.

Diamant-Labor

Dose, Jakob, Morfill, Rothermel, Shimizu, Thomas.

3-D-Diagnostik

Antonova, Chauduri.

Hochenergie Astrophysik,

Arevalo, Braglia, Böhringer, Brinkmann, Faßbender, Pierini, Pratt, Santos, Simionescu, Zhang, Zimer.

GEC-Labor

Knappe, Konopka, Morfill, Samsonov, Sütterlin, Thomas, Rubin-Zuzic.

Hochfeld-Labor

Deysenroth, Konopka, Kretschmer, Morfill, Schwabe, Steffes, Tarantik, Tichmann.

IMPF

Annaratone, Hagl, Höfner, Huber, Ivlev, Konopka,

Morfill, Rothermel, Sütterlin, Tarantik, Thoma, Thomas, Rubin-Zuzic.

Nichtlineare Dynamik, Komplexitätsanalyse
Aschenbrenner, Böhm, Bunk, Jamitzky, Monetti, Müller, Pompl, Räth, Scheingraber.

Paramagnet-Labor

Huber, Knappe, Morfill, Samsonov, Steffes, Zhdanov.

Plasmaphysik

Scholer, Sidorenko, Treumann.

Plasma Torch

Bunk, Morfill, Sato, Shimizu, Steffes.

PK-3 Plus

Annaratone, Bigelmayr, Hagl, Huber, Ivlev, Konopka, Morfill, Rothermel, Stöcker, Sütterlin, Tarantik, Thomas, Rubin-Zuzic.

PK-4

Deysenroth, Fink, Höfner, Kretschmer, Morfill, Ratynskaia, Tarantik, Thoma.

PKE-Nefedov

Annaratone, Hagl, Huber, Ivlev, Khrapak, Klumov, Konopka, Kretschmer, Mokler, Morfill, Rothermel, Samsonov, Sütterlin, Thomas, Zhdanov, Rubin-Zuzic.

Praktikumsversuch

Kretschmer, Morfill, Rothermel, Thoma.

Streifenelektrode

Annaratone, Deysenroth, Höfner, Konopka, Morfill, Steffes.

Optische und interpretative Astronomie

ASTRO-WISE

Bender, Neeser, Saglia.

Galaxiendynamik

Gerhard.

KMOS

Bender, Saglia.

MUNICS

Bender, Hopp, Maraston, Salvato.

OmegaCAM

Bender, Hopp.

Stellare Populationen und Galaxienentstehung

Bender, Hopp, Maraston, Pierini, Saglia, Thomas.

6.2 Wissenschaftliche Kollaborationen in Projekten / Scientific Collaborations in Projects

Argentinien

Observatorio Astronomico Felix Aguilar (OAFA), Universität San Juan, and Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), CONICET, Buenos

Aires: H-alpha Solar Telescope for Argentina (HASTA).

Australien

Australian National University: Galaxienentstehung

Melbourne University: Astro-Plasmaphysik.

Swinburne University of Technology, Victoria: Millisecond Pulsars.

Belgien

CSL Liège, Katholieke Universiteit Leuven: Herschel-PACS.

Europäische Kommission, Joint Research Centre (JRC-IRMM), Geel: Entwicklung von großflächigen Röntgenfiltern für eROSITA.

Université Catholique Louvain: INTEGRAL-Spektrometer SPI; Herschel-PACS.

Brasilien

Universidad de São Paulo: Galaxienentstehung.

Chile

Universidad de Concepcion: Röntgen-Doppelsternsysteme.

Universidad Católica Santiago: Röntgen-Doppelsternsysteme.

China

Institute for High-Energy Physics (IHEP), Peking: AGN und unidentifizierte Gammaquellen von COMPTEL und INTEGRAL.

University of Hongkong: Strahlungsmechanismen von Pulsaren vom Röntgen- bis zum Gamma-Bereich.

Deutschland

Astrophysikalisches Institut Potsdam: eROSITA; XMM-Newton; GAVO; OPTIMA, GROND.

Christian-Albrechts-Universität, Kiel: IMPF; komplexe Plasmen; STEREO.

DLR Berlin: SOFIA.

DLR-Köln Porz: Plasmakristall-Experiment; Rosetta Lander (ROLAND); PKE-Nefedov.

European Southern Observatory (ESO), Garching: KMOS Multiobjekt-Spektrograph für VLT; SINFONI abbildendes Spektrometer für VLT; PARSEC für die VLT Laser Guide Star Facility; ISO (extragalaktisches Programm); ROSAT (MIDAS); Galaxienentstehung; ASTRO-WISE; OmegaCAM.

Fraunhofer Institut für Festkörpertechnologie, München: XEUS; eROSITA.

Fraunhofer Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme, Duisburg: Mikroelektronik-entwicklungen; CAMEX 64B; JFET-CMOS Prozessor; XEUS; eROSITA.

Hamburger Sternwarte, Bergedorf: Identifizierung von Quellen aus der ROSAT-Himmelsdurchmusterung.

International University Bremen: Astro-Plasmaphysik.

Institut für Festkörperphysik und Werkstoffforschung, Dresden: Entwicklung weichmagnetischer Werkstoffe.

Institut für Astronomie und Astrophysik Tübingen (IAAT): XMM-Newton; eROSITA.

Klinik für Dermatologie, Allergologie und Umweltmedizin, Krankenhaus München Schwabing: Plasmamedizin.

Landessternwarte Heidelberg-Königstuhl: Nahinfrarotspektrograph LUCIFER für LBT; Galaxienentstehung.

Ludwig-Maximilians-Universität, München: OmegaCAM; ASTRO-WISE; KMOS.

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau: Experiment CELIAS auf SOHO; Experiment CIS auf CLUSTER; Rosetta Lander (ROLAND); Multi-Ionen-Plasmatheorie.

Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg: IR-Kamera CONICA für das VLT1; PARSEC; Herschel-PACS; SDSS.

Max-Planck-Institut für Astrophysik, Garching: GAVO; SDSS; OPTIMA.

Max-Planck-Institut für Physik, Werner Heisenberg Institut, München: Entwicklung von CCDs; Aktive Pixeldetektoren (APS); JFET-Elektronik und Driftdetektoren für den Röntgenbereich; CAST.

Thüringer Landessternwarte Tautenburg: GROND; Gamma-Ray Bursts.

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und Meteorologie: Hybridcode-Simulationen; Mirror-Moden.

Technische Universität Darmstadt: CAST.

Universität Bochum: komplexe Plasmen.

Universität Bonn: Test von Pixeldetektoren für XEUS; OmegaCAM; ASTRO-WISE.

Universität der Bundeswehr München: Venus Express.

Universität Greifswald: komplexe Plasmen.

Universität Köln: Sharp 1; Galaktisches Zentrum.

Universitätssternwarte Göttingen: OmegaCAM.

Universität Siegen: Compton Camera

Frankreich

CEA, Saclay: INTEGRAL-Spektrometer SPI; Herschel-PACS; CAST; SIMBOL-X.

Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (UPS), Toulouse: Gamma-Burst-Auswertung ULYSSES; INTEGRAL-Spektrometer SPI; MEGA-Ballon; CIS/Cluster; Double Star.

Centre d'Etudes des Environnements Terrestres et Planétaires (CNRS), St Maur des Fossés: FAST-Auroraphysik; IMPF.

GREMI-Lab, Orleans: komplexe Plasmen; Plasma-kristall-Experiment auf ISS.

IGRP Marseille: Herschel-PACS.

Observatoire de Meudon: ASTRO-WISE.

Université d'Orléans CNRS: PKE-Nefedov.

Griechenland

University of Crete and Foundation for Research and Technology Hellas (FORTH), Heraklion: Ausbau und Betrieb der Skinakas Sternwarte; Untersuchung wind-akkretierender Röntgendoppelsternsysteme; Entwicklung und Einsatz des OPTIMA Photometers; optische Identifikation und Monitoring von Röntgen-AGN.

Großbritannien

BRUNEL University: XEUS.

Imperial College London: POE.

John Moores University, Liverpool: Himmelsdurchmusterung Galaxienhaufen.

Rutherford Appleton Laboratory, Council for the Central Laboratory of the Research Councils: SIS-Junctions; komplexe Plasmen; Rosetta Lander (ROLAND); JSOC für CLUSTER.

University of Birmingham: INTEGRAL-Spektrometer SPI; XMM-Newton.

University of Bristol: KMOS.

University of Durham: KMOS.

University of Edinburgh: KMOS.

University of Leicester: XMM-Newton-Datenanalyse; XEUS; Swift.

University of Wales, Cardiff: Filter für Herschel-PACS und SOFIA.

University Oxford: komplexe Plasmen; IMPF.

University of Sheffield: Astro-Plasmaphysik.

Israel

Ber Sheva University: Astro-Plasmaphysik.

School of Physics and Astronomy, Wise Observatory, Tel Aviv: Aktive Galaxien; Interstellares Medium; ISO extragalaktisches Programm.

Weizmann Institut, Rehovot: komplexe Plasmen; Galaktisches Zentrum.

Italien

Brera Astronomical Observatory: Jet-X; Himmelsdurchmusterung Galaxienhaufen; XEUS.

IASF Bologna: MEGA-Ballon.

IFCAI-CNR Palermo: BeppoSAX und XMM-Newton Beobachtungen von Neutronensternen und Pulsaren.

INAF Trieste: Gamma-Ray Bursts.

INFR Frascati: SIDDHARTA

Istituto di Fisica Cosmica e Tecnologia, Mailand: INTEGRAL-Spektrometer SPI.

Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario (CNR), Frascati: ESIC; Herschel-PACS; CLUSTER/CIS.

OAA/LENS Firenze: Herschel-PACS.

OAP Padua: Herschel-PACS; OmegaCAM.

Osservatorio Astrofisico di Arcetri, Florenz: Hardpoints für den LBT-Primärspiegel.

Osservatorio di Capodimonte, Napoli: OmegaCAM; ASTRO-WISE.

Politecnico di Milano: rauscharme Elektronik; Röntgendetektorentwicklung.

Universität Neapel: komplexe Plasmen.

Japan

Tokio Institute of Technology (TITECH), Ookayama: ASCA/XMM-Newton Beobachtungen von AGN.

Institute of Space and Astronautical Science, Yoshinodai: Suzaku; Astro-F Solar System Observations; Astro-Plasmaphysik.

Kyushu University: IMPF.

Tohoku University: komplexe Plasmen; IMPF.

University of Tokyo: Astro-F Solar System Observations; Astro-Plasmaphysik.

Kroatien

Ministry of Science and Technology, Zagreb: CAST.

Niederlande

ESTEC, Noordwijk: XMM-Newton-TS-Spiegelkalibrierung; CCD Entwicklung; Radiation Performance Instrument; HST 2002 – 3D Instrumente auf HASTA; INTEGRAL; COMPTEL.

SRON, Utrecht: COMPTEL; Chandra-LETG.

Sterrewacht Leiden: SPIFFI/SINFONI; ASTRO-WISE; OmegaCAM.

TU Delft: Reflexionsmessungen an schwarzen Farben.

University Eindhoven: komplexe Plasmen; IMPF.

University of Groningen, Kapteyn Institute: Rekonstruktion der DichteVerteilung im Universum; OmegaCAM; ASTRO-WISE.

Norwegen

Universität Trømsø: komplexe Plasmen; IMPF.

Österreich

Institut für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Graz: CIS; EDI auf CLUSTER; geomagn. Schweiß.

Universität und TU Wien: Herschel-PACS.

Portugal

Universität Lissabon: komplexe Plasmen.

Russland

Institute for High Energy Densities of the Russian Academy of Science, Moscow: Plasma-Kristall-Experiment (PKE); IMPF.

Institute Physics of Earth, Moscow: Plasmaphysik; Astro-Plasmaphysik.

Space Research Institute (IKI) of the Russian Academy of Science, Moscow: Kalibration des Experiments JET-X, eROSITA.

IHED Moscow: PKE-Nefedov; PK-3 Plus; PK-4.

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow: nukleare Astrophysik und Gamma-Ray Bursts.

Schweiz

CERN, Geneva: CAST.

International Space Science Institute, Bern: Plasmaphysik; Astro-Plasmaphysik.

Observatoire de Genève Sauverny, Geneva: ISDC.

Universität Bern: SOHO/CELIAS; STEREO/-PLASTIC.

Spanien

Instituto de Astrofisica de Canarias (IAC), Laguna: Herschel-PACS.

Universität Valencia, Department de Astronomia, Valencia: INTEGRAL-Spektrometer SPI.

Universidad de Zaragoza: CAST.

Taiwan

National Central University, Chungli: IMPF.

Türkei

Bogazici University, Istanbul: IMPF; CAST.

USA

Brookhaven National Laboratory: strahlenharte JFET-Elektronik; strahlenharte Detektoren.

California Inst. of Technology, Pasadena: SAMPEX; ACE; X-ray Survey.

Clemson University: Gamma-Ray Bursts; Nuclear Astrophysics.

Dartmouth College, Hanover, NH: Weltraum-Plasmaphysik.

Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia; Penn State University, University Park; Princeton University Observatory, Princeton; University of Michigan, Ann Arbor; University of Washington, Seattle: Identifizierung von Quellen aus der ROSAT-Himmelsdurchmusterung durch den Sloan Digital Sky Survey (SDSS).

Institute for Astronomy, Hawaii, Honolulu: Galaxienentstehung.

Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley: Herstellung der Ge:Ga Detektorelemente für Herschel-PACS und SOFIA; Charakterisierung von GaAs-Detektormaterial.

Marshall Space Flight Center, Huntsville: GLAST Gamma-Ray Burst Monitor; XMM-Newton and Chandra Beobachtungen von Neutronensternen, Pulsaren und Supernovaüberresten.

NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD: ROSAT; SAMPEX; INTEGRAL-Spektrometer SPI; ACE; STEREO; SWIFT.

Naval Postgraduate School, Monterey: Modellierung der Halbleitereigenschaften von Galliumarsenidmaterial für Infrarotdetektoren.

Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland: CAST.

Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge: Chandra-LETGS; Röntgen-Doppelsterne, M31.

Space Telescope Science Institute, Baltimore: Galaxienentstehung.

University of Arizona, Tucson: kosmische Strahlung; SOHO/CELIAS; Planetenentstehung; LBT.

University of California, Berkeley: MPG/UCB-Kollaboration; Fern-Infrarot-Detektoren; Galliumarsenid-Zentrifuge; Polarlichtbeobachtungen; FAST; INTEGRAL-Spektrometer SPI; CLUSTER/CIS.

University of California, San Diego: CLUSTER/EDI; INTEGRAL-Spektrometer SPI; IMPF.

University of Colorado, Boulder: SAMPEX.

University of Hawaii: ROSAT north ecliptic pole survey.

University of Iowa, Iowa City: komplexe Plasmen; CLUSTER/EDI; IMPF; PKE-Nefedov.

University of Illinois at Urbana-Champaign: FIFI-LS.

University of Maryland, College Park, MD: SAMPEX; SOHO; ACE.

University of New Hampshire, Durham: SEPICA/ACE; COMPTEL; CLUSTER; SOHO; FAST; STEREO.

University of Pittsburgh: Galaxienentstehung.

University of Southern California, Los Angeles: SEM/CELIAS-Experiment auf SOHO.

University of Texas, Austin: Galaxienentstehung.

University of Toledo: Galaxienentstehung.

University of Washington, Seattle: CLUSTER; CIS.

University Space Research Association, Moffett Field: SOFIA.

6.3 Multinationale Zusammenarbeit / Multinational Collaborations

ASPI, The International Wave Consortium: CNR-IFSI Frascati, Italy; LPCE/CNRS Orleans, France; Dept. of Automatic Control and Systems University of Sheffield, UK.

ASTRO-WISE: LMU München, Universität Bonn, Germany; Sterrewacht Leiden, University of Groningen, The Netherlands; Osservatorio di Capodimonte, Napoli, Italy; Observatoire de Meudon, Paris.

CAST: CERN Geneva Switzerland; TU Darmstadt, MPI für Physik (WHI) München, Germany; Universidad de Zaragoza, Spain; Bogazici University Istanbul, Turkey; Ministry of Science and Technology Zagreb, Croatia; CEA/Saclay DAPNIA/SED, France; Pacific Northwest National Laboratory, Richland, USA.

CDFS, The Chandra Deep Field South: ESO Garching, Astrophysikalisches Institut Potsdam, Germany; IAP Paris, France; Osservatorio Astronomico Trieste; Instituto Nazionale di Fisica Nucleare Trieste, Italy; Associated Universities Washington, Johns Hopkins University Baltimore, Space Telescope Science Institute Baltimore, USA; Center for Astrophysics Hefei, China.

CDS – Coronal Diagnostic Spectrometer for the Solar and Heliospheric Observatory: Rutherford Appleton Laboratory Chilton, Mullard Space Science Laboratory London, University College London, Oxford University, UK; LPSP Verrières-le-Buisson, Nice Observatory, France; Oslo University, Norway; ETH Zürich, Switzerland; GSFC Greenbelt, NRL Washington, HCO Cambridge, Stanford University, USA; Padova University, Turin University, Italy; MPAe Lindau, Germany.

CELIAS – Experiment for SOHO: MPS Katlenburg-Lindau, TU Braunschweig, Germany; Universität Bern, Switzerland; IKI Moskow, Russia; University of Maryland College Park, University of New Hampshire Durham, University of Southern California Los Angeles, USA.

Chandra: Marshall Space Flight Center Huntsville, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Smithsonian Astrophysical Observatory Cambridge, USA; Space Research Institute Utrecht, The Netherlands; Universität Hamburg, Germany.

CIS-Experiment for CLUSTER: MPS Katlenburg-Lindau Germany; Universität Bern, Switzerland; CESR Toulouse, France; IFSI-CRR Frascati, Italy; Universität Heraklion, Greece; Lockheed Palo Alto Res. Lab., Space Science Lab., Univ. of California Berkeley, Univ. of New Hampshire Durham, Univ. of Washington Seattle, USA.

DOUBLE STAR: MPS Katlenburg-Lindau, Germany; IFSI-CRR Frascati, Italy; CESR Toulouse, France; Space Science Lab., University of Cali-

fornia, Berkeley, University of New Hampshire, Durham NH, USA.

EDI-Experiment for CLUSTER: University of New Hampshire Durham, University of California San Diego, USA.

eROSITA: ESA, Universität Tübingen, IKI Moskau, AIP Potsdam.

ESO-Key-Projekt (Rotverschiebungsdurchmusterung von ROSAT-Galaxienhaufen am Südhimmel): ESO Garching, Universität Münster, Germany; University Milano, University Bologna, Italy; Royal Observatory Edinburgh, Durham University, Cambridge University, UK; NRL Washington, USA.

EURO3D Research Training Network for promoting 3D spectroscopy in Europe: Astrophysikalisches Institut Potsdam, ESO Garching, Germany; Institute of Astronomy Cambridge, University of Durham, UK; Sterrewacht Leiden, The Netherlands; CRAL Observatoire de Lyon, Laboratoire d'Astrophysique Marseille, Observatoire de Paris section de Meudon, France; IFCTR-CNR Milano, Italy; IAC La Laguna, Spain.

FAST: SSL-UCB Berkeley, USA; CETP St.Maur, France.

GLAST – Gamma-Ray Burst Monitor: Marshall Space Flight Center Huntsville, University of Huntsville, USA.

GLAST – Gamma-Ray Large Area Space Telescope: Stanford University Palo Alto, Naval Research Laboratory Washington DC, Sonoma State University Rohnert Park, Lockheed Martin Corporation Palo Alto, University of California Santa Cruz, University of Chicago, University of Maryland Greenbelt, NASA Ames Research Center Moffett Field, NASA Goddard Space Flight Center for High Energy Astrophysics Greenbelt, Boston University, University of Utah Salt Lake City, University of Washington Seattle, SLAC Particle Astrophysics Group Palo Alto, USA; ICTP and INFN Trieste, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Trieste, Italy; University of Tokyo, Japan; CEA Saclay, France.

Herschel – PACS (Photodetector Array Camera and Spectrometer): CSL Liège, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium; MPIA Heidelberg, Universität Jena, Germany; OAA/LENS Firenze, IFSI Roma, OAP Padova, Italy; IAC La Laguna, Spain; Universität und TU Wien, Austria; IGRAP Marseilles, CEA Saclay, France.

IMPF – International Microgravity Plasma Facility / IMPACT – International Microgravity Plasma, Aerosol and Cosmic Dust Twin Laboratory: Oxford University, UK; Université d'Orléans CNRS, France; Institute for High Energy Densities Moscow, Russia; University of Iowa, USA.; University

of Tromsø, Norway; National Central University Chungli, Taiwan; Eindhoven University of Technology, The Netherlands; University of California, San Diego, USA.; Tohoku University, Kyushu University, Japan; Christian-Albrechts-Universität Kiel, Germany.

INTAS – Cooperation of Western and Eastern European Scientist: France, Germany, Norway, Russia.

ISDC – INTEGRAL Science Data Centre: Observatoire de Geneva Sauverny, Switzerland; Service d'Astro-physique Centre d'Etudes de Saclay, France; Rutherford Appleton Laboratory Oxon Dept. of Physics University Southampton, UK; Institut für Astronomie und Astrophysik Tübingen, Germany; Danish Space Research Institute Lyngby, Denmark; University College Dublin, Ireland; Istituto di Fisica Milano, Istituto die Astrofisica Spatiale Frascati, Italy; N. Copernicus Astronomical Center Warsaw, Poland; Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences Moscow, Russia; Laboratory for High Energy Astrophysics GSFC Greenbelt, USA.

INTEGRAL-Spectrometer SPI: Centre d'Etude Spatiale des Rayonnements (CESR) Toulouse, CEA Saclay Gif-sur-Yvette, France; Institute de Physique Nucléaire Université de Louvain, Belgium; Istituto di Fisica Cosmica e Tecnologia del CNR Milano, Italy; University de Valencia Burjasot, Spain; University of Birmingham, UK; NASA/GSFC Greenbelt, University of California Berkeley, University of California, San Diego, USA.

ISO-SWS Software und Kalibration: SRON Groningen, The Netherlands; KU Leuven, Belgium; ESA Villafranca Spain.

KMOS Study for a VLT multi-IFU near-infrared spectrograph: Universitätssternwarte München, Germany; University of Durham, ATC Edinburgh, University of Oxford, Bristol University, UK.

LBT, Large Binocular Telescope Projekt: MPIA Heidelberg, MPIfR Bonn, Landessternwarte Heidelberg Königstuhl, Astrophysikalisches Institut Potsdam, Germany; University of Arizona Tucson, USA; Osservatorio Astrofisico di Arcetri Firenze, Italy.

Lockman Hole, optical/NIR identifications: Astrophysikalisches Institut Potsdam, ESO Garching, Germany; Istituto di Radioastronomia del CNR Bologna, Italien; Associated Universities Washington, California Institute of Technology Pasadena, Institute for Astronomy Honolulu, Princeton University Observatory, Pennsylvania State University University Park, USA; Subaru Telescope NAO Hilo, Japan.

OmegaCAM: ESO Garching, LMU München, Universität Bonn, Universitätssternwarte Göttingen, Germany; Sterrewacht Leiden, University of

Groningen, The Netherlands; Osservatorio di Capodimonte, Napoli, OAP Padua, Italy.

Plasmakristall-Experiment PKE-Nefedov: IHED Moscow, Russia; University of Iowa Iowa City, USA; DLR-Köln, Germany; Université d'Orléans CNRS, France.

PK-3 Plus (Plasmakristall-Experiment): IHED Moscow, Russia.

PK-4 (Plasmakristall-Experiment): IHED Moscow, Russia.

Plasmaphysik, Astro-Plasmaphysik: International Space Science Institute Bern, Switzerland; Institute Physics of Earth Moscow, Russia; University of Sheffield, UK.

PLASTIC-Experiment für STEREO: University of New Hampshire Durham, NASA/GSFC Greenbelt, USA; Universität Bern, Switzerland; Universität Kiel, Germany.

POE: Imperial College London, Institute for Astronomy Edinburgh, UK; MPIA Heidelberg, Germany; IAP Paris, France; Leiden Observatory, The Netherlands; Padova Observatory, Italy; IAC La Laguna, Spain.

SDSS (Sloan Digital Sky Survey): Univ. of Washington, Seattle, Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, IL, Univ. of Michigan, Ann Arbor MI, Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, PA, Penn State Univ., University Park PA, Princeton Univ. Observatory, Princeton, NJ, The Institute of Advanced Study Princeton, NJ, Space Telescope Science Institute, Baltimore, MD, Johns Hopkins Univ. Baltimore, MD, USA.

SIMBOL-X: Osservatorio Astronomico di Brera, Italy; CEA Saclay, France.

SWIFT: NASA/GSFC Greenbelt, Penn State University, USA; University of Leicester, Mullard Space Science Laboratory London, UK; Osservatorio Astronomico Brera, Italy.

XEUS: University of Leicester, UK; SRON Utrecht, The Netherlands; Institut für Astronomie und Astrophysik Tübingen, Germany; CESR Toulouse, France; Institute of Space and Astronautical Science (ISAS), Japan.

XMM-Newton / SSC: Astrophysikalisches Institut Potsdam, Germany; SAP Saclay, CDS Strasbourg, CESR Toulouse, France; University of Leicester, Institute of Astronomy Cambridge, MSSL London, UK.

XMM-Newton / TS: ESTEC Noordwijk, The Netherlands.

XMM-Newton: SAP Saclay, IAS Orsay, CESR Toulouse, France; University of Leicester, University Birmingham, UK; CNR Mailand-Palermo-Bologna-Frascati, Osservatorio Astronomico Mailand, Italy; Institut für Astronomie und Astrophysik Tübingen, Germany

6.4 Zusammenarbeit mit Firmen / Industrial Collaborations

- ADTEC Plasma Technology Co. Ltd., Hiroshima: Entwicklung eines Niedertemperatur-Plasma-Gerätes zur in-vivo Sterilisation für Medizinanwendungen.
- Albedo GmbH, Neubiberg: Beratung bei der Entwicklung der Elektronik für das Antikoinzidenzsystem des INTEGRAL-Spektrometers SPI; Soft- und Hardware Entwicklung für PKE-Nevedov und PK-3 Plus.
- ASTEQ GmbH, Kelkheim: Fertigung von Detektorarrays aus gedrücktem Ge:Ga und Bearbeitung von Detektorproben aus Galliumarsenid.
- BASF Coatings AG, Münster: Untersuchung der Streueigenschaften von Mikropartikeln.
- Berliner Glas, Berlin: Politur des GROND-M3 Spiegelrohlings.
- Bonerz engineering, Weiler-Simmerberg: Platinumentwicklung, Elektronikentwicklung.
- Buchberger GmbH, Tuchenbach: Fertigung Strukturteile für PANTER-Manipulatoren und OPTIMA; FIFI-LS; Strukturteile CAST und SWIFT.
- Cryovac Tieftemperaturtechnik, Troisdorf: Konstruktion und Bau des Testkryostaten für Herschel-PACS.
- Astrium, Friedrichshafen: Bau des Antikoinzidenzsystems für das INTEGRAL-Spektrometer SPI.
- Drollinger, Birkenfeld: Vergoldung von Detektorteilen für FIFI-LS.
- ECM, Moosinning: Fertigung des GROND-M3 Spiegelrohlings.
- ESS, Landsberg: Wartung der Elektroinstallation; Ergänzung der Ansteuerungseinheit für das Vakuumpumpensystem; Fertigung von elektrischen Ansteuerungen für die Testanlagen PANTER, CALIFA und PUMA.
- FEE, Idar-Oberstein: Züchtung von VAG-Rohlingen für GROND-Linsen.
- Guido Lex Werkzeugbau GmbH, Miesbach: Strukturteile für FIFI-LS.
- Hans Englett OHG, Berlin: Fertigung von Frontplatten und Meßvorrichtungen.
- ESL GmbH, Berlin: Fertigung von Leiterplatten.
- Feinmechanische Werkstatt Steingroß, Berlin: Konstruktion und mechanische Fertigung; Meßvorrichtungen.
- Feinwerkoptik Zünd AG, Buchs, Schweiz: Prismen für Himmelsspinne von SPIFFI/SINFONI.
- Freyer GmbH, Tuningen: Fertigung von Strukturteilen für LBT-Hardpoints; LUCIFER; FIFI-LS; PANTER.
- GEWO, Wörth/Hörlkofen: Strukturteile für FIFI-LS.
- IMEC, Leuven, Belgium: Herstellung von kryogenen Ausleseelektronik-Schaltkreisen in neuer CMOS Technologie für IR-Detektoren auf Herschel-PACS; FIFI-LS.
- Infraserv, Eching: Vakuumtechnische Einrichtungen.
- Ingenieurbüro Buttler, Essen: Front-End Elektronikentwicklung für XEUS und eROSITA.
- Ingenieurbüro Dohnalek, München: Entwurf FIFI-LS und Unterstützung beim Entwurf gedrückter Ge:Ga-Arrays.
- Ingenieurbüro pfma, Haar-Salmdorf: Design und Konstruktion von GROND-Komponenten.
- Ingenieurbüro Steinbach, Jena: Design, Konstruktion und Fertigung von GROND-M3-Kippspiegel-Einheit.
- Ingenieurbüro Weisz, München: Design und Konstruktion für SPIFFI/SINFONI; LUCIFER; KMOS und PACS Testoptik; FIFI-LS; XEUS-Spiegeltechnologie.
- Jena Optronik GmbH, Jena: Phase B Studie für den GLAST Burst Monitor.
- Kayser-Threde GmbH, München: Hauptkontraktor für Herschel-PACS; Halbleiter-Detektoren Gamma-Astronomie; Plasmakristall-Experiment auf der Internationalen Raumstation; IMPF/IMPACT; eROSITA.
- Klocke Nanotechnik, Aachen: Fertigung von Antriebseinheiten für den KMOS Kippspiegel.
- Korth GmbH, Altenholz: Fertigung GROND-Linsen.
- Kugler GmbH, Salem: Spiegel für OPTIMA.
- Labor für Mikrozerspanung, Universität Bremen: Herstellung der Spiegel für SPIFFI/SINFONI; Metalloptik für FIFI-LS.
- Laser Zentrum Hannover e.V., Hannover: Entwicklung einer breitbandigen Antireflexbeschichtung für die Linsenoptik von SPIFFI; Beschichtung alter GROND-Linsen und Strahlteiler.
- microconnect h. schiffner, Allensbach: Bonden von Detektoren für MEGA.
- Norden & Neidhardt, Zenthen: Hard- und Software-Entwicklung; Leiterplattenentflechtung und -entwurf.
- Pantolsky GmbH, Neuried: Betreuung der Testanlage PANTER.
- PNSensor, München: Entwicklung und Fertigung von Halbleiterdetektoren.
- Pribil D., Unterhaching: Fertigung von Strukturteilen für OPTIMA; SPIFFI; LUCIFER.

RAMS-CON Management Consultants, Assling: Sicherheitsanalyse SPIFFI.

Sagem, Paris: Fertigung von Filtern für Omega-CAM.

SCHOTT GLAS, Mainz: Machbarkeitsstudie zur Spiegelfertigung; XEUS.

Siemens AG, München: Fertigung von Masken für pn-CCDs.

Stöhr, Königsbrunn: Entwicklung und Fertigung des Testkryostaten für LUCIFER und KMOS.

Swiss Optik AG, Heerbrugg, Schweiz: Politur der Linsen von SPIFFI.

Tafelmaier Dünnschichttechnik, Rosenheim: Be- schichtung von optischen Komponenten für GROND.

Technotron, Lindau: Entwicklung und Fertigung der Platten Layouts für eROSITA; Fertigung Koinzidenzplatine MEGA.

Thomas Markl GmbH, Deisenhofen: Fertigung von Strukturteilen für PACS und FIFI-LS.

Wacker Siltronik, Burghausen: Herstellung von Epitaxieschichten auf hochohmigem FZ-Silizium mit geringer metallischer Verunreinigung für eROSITA.

Zeiss, Oberkochen: Politur der Spiegel für SPIFFI; Entwicklung einer Methode zur Qualifizierung von EUV-Kollektoren.

Zumtobel, Dornbirn, Österreich: Gittertestteile für FIFI-LS.

6.5 Aktivitäten im Wissenstransfer / Activities in Transfer of Know-How

Durch unsere vielen Kooperationen mit anderen Forschungseinrichtungen und der Industrie ergibt sich ein natürlicher Wissenstransfer. Dies gilt auch bei der Vergabe von Aufträgen an die Industrie. Im Gegensatz dazu sind im Folgenden industriefinanzierte Forschungscooperationen bzw. Beratungstätigkeiten sowie erteilte Patente und vergebene Lizenzen aufgeführt.

A) Industriefinanzierte Forschungscooperationen / Research cooperations financed by industry

Dr. Johannes Heidenhain-Stiftung, Traunreut: Technologische Entwicklung auf dem Gebiet der Röntgenoptik und Röntgenspektroskopie; Absolutkalibrierung eines Röntgen-CCD Systems.

Knoll AG, Ludwigshafen: Analysen von Langzeit-kardiogrammen.

Linos AG / Rodenstock Präzisionsoptik, München: Melanomerkennung.

MAHLE GmbH, Stuttgart: Bildanalyse zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung.

OHB-System GmbH, Bremen: Voruntersuchung für einen flexiblen S/W Simulator für Kleinsatelliten.

PROTEOSYS AG, Mainz: Datenanalyse in Biotechnologie.

PTS – Papiertechnische Stiftung, Heidenau/München: Entwicklung von Maßen für die Formation von Papier.

The many cooperations with industry and other research groups automatically lead to a transfer of scientific know-how; this holds also if orders are given to industry. In contrast, we list in the following those cooperations which are financed by industry as well as patents and licenses

Linos AG / Rodenstock Präzisionsoptik, München: Melanomerkennung.

B 2) Lizenzverhandlungen / licensing agreements pending

Kayser-Threde GmbH, München: komplexe Plasmen.

C) Kooperationen mit Universitäten (vertraglich) / Cooperation with Universities (contracts)

Anästhesiologie / anaesthesiology:

Klinik für Anästhesiologie, Klinikum Rechts der Isar, TU München.

Rastersonden-Mikroskopie:

Institut für Kristallographie und Angewandte Mineralogie, Ludwig-Maximilians-Universität, München.

Röntgendiagnostik / radio diagnostics:

Institut für med. Statistik und Epidemiologie, TU München; Institut für Röntgendiagnostik, TU München.

B 1) Lizenzen / licenses

Ganimed AG, Freiburg: EKG-Analysen.

Knoll AG, Ludwigshafen: Pharmakologie.

D) Patente / Patents

Verfahren und Einrichtung zur Raumfilterung (D, Eu, USA, J); Pat. 700 544.

Verfahren und Vorrichtung zur Mustererfassung (D, Eu, USA, J); Pat. 825 543.	Silicon Strip Detector (USA, Pat.No.: VS6,184,562 B1).
Teilchenmanipulierung (D, Eu, USA, Japan, Russia); Pat.-Anm. 197 13 637.0.	Controlled Drift Detector, EP Appl. No. 988 300 89.3.
Melanomerkennung (D); Pat.-Anm. 197 54 909.	Leitungsüberführung (D, Eu) PCT/EP 03/03209.
Streifendetektor (Eu, USA, Japan); Pat.-Anm. PCT/DE 97/01015.	Eintrittsfenster (D) DE 102 60 229.8.
Verfahren und Vorrichtung zur Segmentierung einer Punkteverteilung (D); Anmeldung: # 199 28 231-5.	Halbleiterdetektoren: Patenterteilung Deutschland: DE 10 2004 022 948 Patentanmeldung USA: US 11/127,660

6.6 Statistik / Statistics

Veröffentlichungen / Publications^{*)}		Personal / Personnel	
Referierte Zeitschriften / refereed journals	293 (115)	Stammpersonal / staff total	221
Referierte Proceedings / refereed proc.	21 (6)	davon Wissenschaftler / staff scientists	80
Instrumentelle Veröff. / instrum. papers	30	Drittmittelbeschäftigte / project funding	63
Sonstige Publikationen / other publications	129 (67)	davon Wissenschaftler / project scientists	49
Vorträge / talks	385	Wissenschaftlicher Nachwuchs / scientific assistant (incl. Doktoranden)	62
Poster	66	International Max-Planck-Research School (IMPRS)	9
		Studenten / students (Diplom / diploma)	16
		Auszubildende / apprentices	9
		MPE Mitarbeiter / MPE employees (gesamt / total)	380
		Gastwissenschaftler und Stipendiaten / guest scientists and fellows	28
		Insgesamt / total	<u>408</u>

Veröffentlichungen pro Arbeitsgruppe / Publications per research group^{*)}

Arbeitsgruppe / research group	ref. Veröff./ refereed publ.	ref. Proc./ refereed proc.	instr.Veröff./ instr.publ.	sonst. Veröff./ other publ.	Vorträge/ talks	Poster
Plasma / plasma	37 (3)	1 (0)	0	2 (1)	22 (7)	13
Infrarot / infrared	39 (22)	0	11	24 (12)	78 (50)	8
Röntgen / X-ray	80 (28)	2 (1)	15	49 (29)	152 (92)	16
Gamma / gamma	23 (10)	5 (4)	3	30 (5)	27 (18)	1
Theorie / theory	80 (41)	11 (10)	0	17 (15)	87 (47)	26
Astronomie / astronomy	34 (10)	3 (2)	1	7 (5)	19 (11)	3

^{*)} Die in Klammern angegebenen Zahlen geben die Anzahl der Veröffentlichungen mit einem ersten Autor aus dem MPE an bzw. eingeladene Vorträge. Veröffentlichungen mit Beteiligung aus mehreren Arbeitsgruppen sind bei der Gruppe des führenden Autors gezählt.

^{*)} The numbers in brackets give the number of publications with a first author from MPE or invited talks, respectively. Publications with contributions from more than one research group are classed with the group of the leading author.

